

Олег Репченко

# ПОЛЕВАЯ ФИЗИКА

или

## КАК УСТРОЕН МИР?



*Почему тела обладают массой  
и как ею управлять?*



*Что объединяет все взаимодействия  
и как описать их единым уравнением?*



*Какую роль во всех земных процессах  
играют космические гравитационные поля?*



*Почему на Земле инертные  
и гравитационные массы всех тел совпадают?*



*Насколько велика наша Вселенная  
и есть ли у нее границы?*

Олег Репченко

# ПОЛЕВАЯ ФИЗИКА

или

КАК УСТРОЕН МИР?

*Когда начинает казаться,  
что все открытия в физике уже сделаны,  
на место такой физики  
приходит новая Физика.*

 Галерея  
Москва  
2005

УДК 140.8

ББК 87

P41

P41 Репченко, Олег Николаевич.

Полевая физика или как устроен Мир? / Репченко Олег Николаевич. – М.: Галерея, 2005. – 320 с.

ISBN 5-8137-0150-8

Полевая физика – это физика нового поколения. Современная наука в большей степени носит описательный характер и чаще отвечает на вопросы «Как?», нежели на вопросы «Почему?», относя последние к разряду непознаваемых. В рамках полевой физики впервые на серьезном научном уровне удастся заглянуть за передний край современных представлений. Например, понять причины появления у физических объектов свойств массы и зарядов, выявить внутренние механизмы взаимодействий и влияния полей. А также нащупать способы целенаправленного управления важными физическими характеристиками объектов.

Полевая физика – это книга, подобной которой никогда не было и, наверное, никогда уже не будет. Это серьезное научное издание, в котором формулы, расчеты и научные факты тесно переплетаются с общечеловеческими понятиями, осознанием происхождения и устройства нашего Мира, а также смыслом его существования. В книге обнаруживаются глубинные принципы, заложенные в основание нашего Мира, которые в равной мере можно проследить как в научных представлениях, так и в общечеловеческих вопросах, что неизбежно приводит к синтезу физических и философских понятий.

Полевая физика – это новое мировоззрение, которое невозможно описать в двух словах. Это – путь, который каждый читатель должен пройти сам. Путь, который не оставит ни одного читателя равнодушным. Изначально книга рассчитана на ученых и ведущих специалистов по физике и смежным областям науки. Однако в книге использован наиболее простой язык изложения материала, а также только элементарная математика, что делает данное издание доступным для широкого круга преподавателей, студентов, аспирантов, научных работников, а также для всех людей, имеющих базовые знания по физике.

Официальный сайт Полевой физики в Интернете:

[www.fieldphysics.ru](http://www.fieldphysics.ru)

Дополнительная информация, новости, заказ книг, обратная связь с автором.

ISBN 5-8137-0150-8

© Репченко Олег Николаевич, 2005

© РИК «Галерея», оформление, 2005

Время создания произведения 1990-2005 гг. Все права защищены.

Книга охраняется законом об авторском праве. Воспроизведение всей книги или ее частей в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами возможно только с письменного разрешения автора.

# Содержание

<b>Пролог или виртуальная реальность физического мира</b> .....	5
---	---

## **Глава I. Природа массы и инерция**

1.1. Забавная аналогия или чудеса еще встречаются .....	15
1.2. Мозговой штурм или первое лирическое отступление .....	21
1.3. Предпочтительные системы отсчета или инерция наоборот .....	22
1.4. Природа полевой массы или динамическая инертность .....	27
1.5. Полевая масса – чудеса продолжают .....	31
1.6. Как совершить невозможное или вывод электродинамики из механики .....	34
1.7. Силы инерции и сила Лоренца .....	37
1.8. Сила Кориолиса или магнитная сила .....	45
1.9. Обычные силы инерции или вихревое электрическое поле .....	48
1.10. Центробежная сила или причина релятивистских поправок .....	53
1.11. Неучтенные силы инерции или снова релятивистские поправки .....	56
1.12. Механика, электродинамика и относительность .....	58
1.13. Природа классической массы или да здравствует революция! .....	67

## **Глава II. Полевая среда и природа зарядов**

2.1. Поля математические и физические .....	75
2.2. Полевая среда .....	84
2.3. Полевое взаимодействие .....	88
2.4. Классическое поведение или приближение полевых оболочек .....	90
2.5. Полевое движение или принцип непрерывности полевой среды .....	93
2.6. Принцип близкодействия или волновые возмущения в полевой среде .....	97
2.7. Динамика полевой среды или уравнения Максвелла .....	98
2.8. В поисках магнитных зарядов .....	103
2.9. Природа электрического заряда .....	105
2.10. Гравитационное поле или почему смещается перигелий? .....	108
2.11. Как определить абсолютное движение или принцип относительности Галилея .....	114
2.12. Гравитационные заряды – второе рождение .....	117
2.13. Квантовое поведение или единая полевая среда .....	122
2.14. Механизмы квантовых эффектов и корпускулярно-волновой дуализм .....	128
2.15. Природа неопределенности и неустойчивость .....	133
2.16. Тонкая грань или принцип суперпозиции .....	137
2.17. Материя, поля и процессы .....	141
2.18. Физика элементарных частиц .....	144

### **Глава III. Полевая механика – классическое движение**

3.1. Полевая механика .....	153
3.2. Проблема турбулентности или третий принцип динамики полевой среды.....	157
3.3. Полевое уравнение движения .....	160
3.4. Заряды, массы и силы .....	165
3.5. Напряженность поля, потенциал и научное мышление .....	168
3.6. Классическое движение или пассивная инертность .....	172
3.7. Абсолютное и относительное движение .....	177
3.8. Принцип эквивалентности .....	182
3.9. Является ли эксперимент критерием истины или несколько слов о бритве Оккама.....	190
3.10. Как «взвесить» Галактику? .....	199
3.11. Динамическая инерция и принцип Маха .....	202
3.12. Электромагнитная масса.....	207
3.13. Гравитационное красное смещение и замедление времени.....	210
3.14. Природа флуктуаций.....	213
3.15. «Чудеса в решетке» или знаки Зодиака .....	218
3.16. Полевая физика и классическая механика .....	221

### **Глава IV. Полевая механика – релятивистское движение**

4.1. Переменная добавка к массе или релятивистское движение .....	227
4.2. Релятивистская механика .....	230
4.3. Силы инерции первого и второго рода .....	235
4.4. Силы инерции и релятивистские поправки .....	240
4.5. В чем состоит причина предельной скорости движения частиц? .....	244
4.6. Энергия в полевой физике .....	246
4.7. Иллюзия лоренцева сокращения .....	252
4.8. Связь энергии и импульса .....	253
4.9. Что такое масса покоя или как возникают «тяжелые» частицы? .....	255
4.10. Равно ли $E = mc^2$ ? .....	260
4.11. Дефект масс, скрытая масса или почему $2 \times 2$ не равно 4? .....	262
4.12. Вращение и момент импульса .....	271
4.13. Взаимодействие произвольно движущихся зарядов.....	272
4.14. Полевая сила Лоренца .....	279
4.15. Экспериментальный метод и математический формализм – еще один урок истории .....	282
4.16. Релятивистские поправки и сложение скоростей .....	289
4.17. Принцип относительности или крах инерциальных систем отсчета.....	297
4.18. Полевая физика, эфир и специальная теория относительности .....	303

<b>Приложение. Перечень основных физических величин и обозначений, используемых в книге .....</b>	<b>312</b>
---	------------

# Пролог или виртуальная реальность физического мира

*Когда начинает казаться,  
что все открытия в физике уже сделаны,  
на место такой физики  
приходит новая Физика.  
Олег Репченко*

## ***Что есть реальность?***

Это основной вопрос, на который придется отвечать физике в XXI веке. За прежние столетия ученые накопили большой экспериментальный материал, причем все явления и объекты, наблюдаемые в природе или в лаборатории, всегда а priori воспринимались как реально существующие. Например, более сотни элементарных частиц, зарегистрированных в тех или иных условиях, в том числе и крайне искусственных, безапелляционно считаются реальными частицами. Или миллиарды звезд и миллионы новых галактик, уходящие в бесконечность, непременно воспринимаются как реально существующие небесные тела.

А что если большей части всего этого просто не существует? Например, не существует такой частицы как мюон, которая является копией электрона, с той лишь разницей, что имеет примерно в 200 раз большую массу покоя. И живет малые доли секунды. Не является ли мюон ни чем иным, как электроном, только зарегистрированным в особых физических условиях? Когда его масса по определенным причинам оказывается существенно больше, а время жизни мюона — это тот срок, в течение которого электрон пребывает в этом особом состоянии! Создавая иллюзию, что мы увидели новую частицу.

Подобная логика может быть применена практически ко всем тяжелым частицам с небольшим временем жизни. А они как раз и составляют подавляющее большинство известного на сегодня спектра элементарных частиц! И пока современная система представлений об устройстве Мира не способна пролить свет на природу массы и возникновение материи, мы наблюдаем до неприличия длинный список базовых кирпичиков мироздания. И этот список растет с каждым новым экспериментом, так как любой вновь зарегистрированный объект даже со временем жизни на пределе чувствительности измерительных приборов непременно будет объявлен реальной частицей. А потом мы пытаемся скомбинировать все эти частицы и найти в них хоть какую-то

систему, подгоняя под нас нашу физику. Даже не подозревая, что никакой системы может и не существовать, как и большей части самих частиц!

А являются ли реально существующими все те космические объекты, которые занесены в современные каталоги? Может быть, далекий квазар есть ни что иное, как свет нашего родного Солнца? Только дошедший до нас не напрямую за 8 минут, а миллионы лет бороздивший глубины космоса, многократно отраженный, искаженный и усиленный — виден нам теперь как странный источник света на краю Вселенной! Если причудливые оптические эффекты вроде миражей можно наблюдать даже на Земле, то чего тогда следует ожидать от космоса?

Впрочем, очень большие и очень малые масштабы являются далеко не единственными источниками иллюзий в нашем Мире. Возьмем, например, столь странное совпадение, как равенство инертной и гравитационной массы всех объектов в обычных земных условиях. По всей логике физики эти две величины характеризуют совершенно разные свойства тел, и не могут быть эквивалентны в принципе. Первая определяет инертность объекта, а вторая — его гравитационный заряд, аналог заряда электрического. Ведь электрический заряд не эквивалентен инертной массе! В чем же тогда причина столь удивительного равенства инертной и гравитационной масс даже в очень точных экспериментах?

Ирония состоит в том, что методика постановки всех экспериментов по проверке принципа эквивалентности требует максимального исключения всех внешних воздействий. Доказательство совпадения двух типов масс в таких условиях равносильно доказательству отсутствия в природе электрических полей как таковых, проведенному внутри мощного металлического экрана. Чем сильнее экранирована установка, тем с большей точностью эксперимент докажет отсутствие электрического поля! Нечто подобное происходит и во всех экспериментах по проверке принципа эквивалентности. Можно доказать, что именно внешние влияния изменяют соотношение масс, и чем сильнее внешнее поле, тем сильнее происходит отклонение!

Другим примером иллюзии является еще один принцип, возникший на заре развития физики и сохранившийся до наших дней. Речь идет о принципе относительности. А именно, об искусственном выделении семейства инерциальных систем отсчета среди всех остальных систем, что всегда казалось ученым более чем странным. Требование того, что все уравнения физики должны иметь в инерциальных системах отсчета одинаковый вид, носит скорее эстетический, чем физический характер. К тому же развитие электродинамики, не соответствующей классическому

принципу относительности, должно было бы привести к пересмотру прежних представлений.

И пересмотр произошел. Но в результате него в сегодняшних представлениях сохранились почти все основные гипотезы периода становления классической механики. Принцип относительности и выделенное положение инерциальных систем отсчета, принцип эквивалентности и классическое понятие массы, а также многое другое. Поменялось иное — представление о пространстве и времени, материи и полях. Не исключено, что современные физические представления можно считать истиной в последней инстанции, а самые первые рабочие гипотезы времен становления науки действительно оказались фундаментальными законами природы.

Несколькостораживает другое. Согласно современным научным взглядам, мы живем в Мире, где замедляется время и сокращаются расстояния просто при переходе из одной системы отсчета в другую. Это плата за принцип относительности. Наш Мир является не трехмерным, а многомерным. Он искривлен, может содержать в себе дыры и сингулярности. Это плата за принцип эквивалентности. Может быть, эти физические аксиомы и стоят того, но это не наш Мир!

Современная физика описывает некое «Королевство кривых зеркал». Оно возникло стихийно в результате «Большого взрыва» из одной точки с бесконечной плотностью — сущностью скорее абстрактных, чем физических. В этом «Королевстве» материя рождается из энергии. Понятия полумистического, несущего в себе оттенок некой всемогущей силы. Материя искривляет пространство и время, которые, вообще говоря, представляют собой вспомогательные сущности, созданные человеком как способ описания явлений. Что-то вроде русского или английского языков. А пространство и время, в свою очередь, управляют движением материи.

«Королевство кривых зеркал» становится еще красочнее, если добавить квантовые представления. Теперь уже не хватает даже длинного перечня элементарных частиц, и появляется необходимость изобрести «частицы» виртуальные. Частицы, которые вроде как и не существуют, но мы их придумали, и они стали играть свою роль в физических процессах. У движения отсутствует траектория, нельзя точно определить положение и скорость частиц, все законы носят вероятностный характер, нарушается причинность. Материя дрейфует как волна, волны становятся материей. Частицы рождаются из пустоты, а потом гибнут в аннигиляции. Появляется множество новых зарядов, правил их комбинаций и законов сохранения. Создается впечатление, что мир современных физических представлений просто чья-то нездоровая шутка. А может быть — шутка злая.



Говорят, начало компьютерной эры сильно изменило нашу жизнь. Мы сетуем на то, что люди дни и ночи напролет проводят за компьютерными играми или бродят по глобальной сети. В результате они отрываются от реальности. Мы видим спецэффекты, созданные на компьютерах, которые так легко принять за чистую монету. Смоделировать, а потом показать на большом экране или в трехмерной голографической проекции можно практически все. Даже воссоздать всю чехарду, описанную несколькими строчками выше. И поверить, что это — реальность.

Так что же есть реальность? Быть может, бесконечное звездное небо с миллионами галактик, которое мы видим подняв голову вверх или настроив мощный телескоп, всего лишь красивый спецэффект Творца? А всех этих галактик вообще не существует. Бесконечность — иллюзия. Да и зачем создавать бесконечный космос, если так далеко все равно никто никогда не долетит и не сможет все это «пощупать». Даже свету на это понадобится не один миллиард лет. Разумный программист не стал бы продлевать модель на такие расстояния, а просто «повесил» бы муляж, своеобразный background.

А что же тогда все наши эксперименты? Не более чем замер параметров спецэффектов, которые делают наш Мир красивым и забавным. Но позволяют ли наши эксперименты проникнуть в устройство всего этого механизма? Похоже, что нет. Поэтому вся наша физика носит лишь описательный характер. Мы знаем как протекает явление, но не знаем почему оно так протекает. Мы используем понятия зарядов, массы, силы, материи, но ничего не знаем о природе, стоящей за этими понятиями.

Ричард Фейнман в начале своих известных лекций по физике сравнил наш Мир с гигантскими шахматами, в которые играют боги. А нам же дано лишь наблюдать за их игрой, пытаясь понять правила этой игры. Однако следует признать, что пока люди научились лишь наблюдать, как ходят фигуры, оставаясь далекими от понимания того, почему они так ходят. Например, мы можем собрать подробное описание того, как пешка бьет ферзя, красочно размахивая копьём (ведь боги в своих шахматах могут позволить себе яркие спецэффекты!), но при этом мы не владеем представлениями о том, как пешке удалось это сделать. И почему ферзь позволил себя убить? Возможно, это была глобальная мировая жертва, позволяющая выиграть партию? Часто из таких опытов мы делаем неверные выводы, что пешка сильнее ферзя.

Несколько подобных примеров из физики мы уже упоминали. Заметив в локальных земных экспериментах примерную пропорциональность между инертной и гравитационной массами, мы возводим эту частность в ранг фундаментального физического принципа и распространяем его

на всю Вселенную. При этом мы модифицируем все наши эксперименты так, чтобы никакие внешние факторы не смогли нарушить заветную пропорциональность, и мы убедились бы в ее точности еще больше. Что приводит нас к вере в искривление нашего Мира, согласно основанной на этом принципе теории.

Подобным образом мы создаем веру в выделенное положение инерциальных систем отсчета и распространяем ее на все явления природы, в результате чего искривляем нашу Вселенную еще больше. Потом мы начинаем верить, что существует дуализм волн и частиц, потому что в ряде экспериментов распространение волны создает видимость движения частицы, и наоборот. Мы придумываем антивещество, когда электрон по непонятной нам причине отклоняется в магнитном поле не в ту сторону. Или новую частицу, когда регистрируем тот же электрон в состоянии с большей массой. И таким примерам нет конца.

Получается, что, возведя эксперимент в ранг единственного критерия истины, мы сами стали его заложниками! Заядлый игрок компьютерных игр выглядит неадекватно, если начинает воспринимать буквально все то, что видит на экране, и верить что это — реально. Нечто похожее происходит и с физикой в силу того, что любая видимость протекания процесса в результате эксперимента воспринимается исследователями буквально. Особенно в тех случаях, когда эксперименты косвенные и могут допускать неоднозначную интерпретацию. А также когда закономерности локальных земных экспериментов распространяются на все явления природы в виде фундаментальных физических принципов.

Другими словами, слепая вера в эксперимент в современной физике привела к появлению самых нелепых физических представлений и вере в абсурдные вещи. Забывая при этом, что видимость часто бывает обманчива. Не только в светских вопросах, но и в физических экспериментах.

Так как же отличить реальность от иллюзии? Если даже наш верный слуга — эксперимент — в этом вопросе нам уже не помощник? И это — поворотная точка развития физики и всей науки в целом. По сути, нам следует признать, что описательный период в развитии физики подошел к концу, а прежняя философия и методы исследования уже не могут привести нас к новым результатам. Именно поэтому все чаще можно услышать мнение о том, что все основные открытия в физике уже сделаны, и ожидать новых заметных открытий теперь не приходится.

За несколько веков развития науки накоплено уже достаточное количество экспериментального материала и его дальнейший сбор начинает походить на бессмысленное превышение точности. Как представления Ньютона о пропорциональности двух типов масс, подтвержденные до третьего знака после запятой, не позволили ему пролить свет на приро-

ду ни одной из них, так и современные эксперименты с точностью до двенадцатого знака после запятой не сделали природу массы более понятной. Очевидно, что повышение точности этих экспериментов до двадцатого или тридцатого знака после запятой не прольют свет на природу массы, если не существует, прежде всего, идейных соображений на этот счет. Даже неожиданное наблюдение отклонения от пропорциональности будет, скорее всего, воспринято как нарушение точности эксперимента.

Современная физика достигла больших успехов в тех областях исследований, где возможно четко наблюдать явления и измерять их параметры. Однако современная физическая методология оказалась практически бессильной для изучения тех явлений, где невозможно все разглядеть в микроскоп или телескоп, и требуются какие-то иные способы организации мышления и поиска информации. Речь идет, например, о ядерной физике и физике элементарных частиц, об изучении коллективных явлений в сложных системах большого числа частиц, неравновесных процессах, а также о структуре невидимых физических полей и строении Вселенной.

В этих разделах нельзя понять суть физических процессов даже на описательном уровне, продолжая пользоваться старыми методами увеличения точности экспериментов или модернизации математического аппарата. Первое неизбежно приводит к неадекватному удорожанию оборудования, а второе — к бессмысленному наращиванию сложности расчетов. Более того, ни один из этих путей не позволяет заметно продвинуться в ином измерении развития физики — не вширь — к описанию новых явлений — а вглубь — к раскрытию внутренних механизмов, стоящих за видимым поведением объектов. Движение именно в этом направлении делает физику самой актуальной и интересной наукой, позволяющей научиться отличать иллюзию от реальности. А также найти ответы на вопросы об устройстве нашего Мира, и возможно, даже о смысле его и нашего существования.

\* \* \*

В процессе развития изложенного мировоззрения и возникла полевая физика. Что же это такое?

Прежде всего, полевая физика — это физика. С гипотезами и доказательствами, формулами и расчетами. Физика, разрушающая один из наиболее распространенных стереотипов нашего времени, и показывающая, что все фундаментальные законы природы можно выразить в четырех арифметических действиях, не прибегая к излишним математическим сложностям. Подобно классической механике, полевая физика

сформулирована на языке элементарной математики, доступной даже ученикам старших классов школы, не говоря уже о людях со специальным образованием. Большое внимание уделено наглядному описанию механизмов физических процессов и раскрытию сути понятий, стоящих за расчетными формулами. При этом полевая физика – серьезная научная работа, позволившая шагнуть далеко за передний край современных физических представлений и ориентированная, в первую очередь, на ведущих специалистов.

В терминологии Эйнштейна полевую физику следовало бы считать единой теорией поля. Она обнаруживает глубокую взаимосвязь между электродинамикой, гравитацией и механикой, которую невозможно установить в рамках современных представлений. Пролитывает свет на природу массы и зарядов, взаимодействий и сил. Естественным образом описывает закономерности квантовой механики, выявляя природу возникновения случайностей и дискретных состояний в непрерывной полевой среде. Позволяет понять строение материи – ядра и элементарных частиц. Пожалуй, в современной физике нет ни одного заметного раздела, который не был бы затронут полевой физикой. С другой стороны, более половины результатов полевой физики являются новыми и вообще неизвестными в современной науке.

Однако полевая физика не есть физика в обычном смысле этого слова. Это иное мировоззрение. Иная философия. Иные принципы. Иные приоритеты. Иная вера. Не только в отношении физики как науки, но и в отношении жизни человека вообще, его мировосприятия в целом. Это поиск реальности и борьба с иллюзией. Это ломка старых представлений и шквал новых идей. Это нервное напряжение и сильные эмоции. Ко всему этому надо быть готовым. Наверное, кто-то решит для себя, что благо – в неведении.

Но возможно, главной особенностью полевой физики является следующее обстоятельство. Вся современная наука строится от малого, к большому, от частного – к общему, от локального – к глобальному. Например, традиционная физика начала развиваться от наблюдения и описания самых простых явлений. Потом произошло расширение представлений из области классических явлений в область микромира и к космическим масштабам. От простых механических закономерностей к тепловым, световым, гравитационным, электромагнитным, атомным, квантовым и другим более сложным эффектам. В этом состоит выражение природы человека, который, начиная со своего ближайшего окружения, постепенно расширяет сферу интересов и обобщает свои представления.

Полевая физика имеет совершенно иной вектор мышления. Она появилась исходя из представлений о нашем Мире как о целостном согласо-

ванном механизме. Говоря на языке программирования, речь идет не о подходе пользователя, постепенно осваивающего систему от малого к большому, а о подходе разработчика, изначально задающего структуру и все свойства Системы. Так, полевая физика рассматривает движение и свойства каждого отдельного объекта не как самостоятельного и изолированного, отнесенного к какой-то системе отсчета, а как часть всей остальной Вселенной, как результат влияния всех других объектов физического мира. При таком подходе первостепенное значение приобретает минимальный набор входящих параметров Системы — типов взаимодействий, частиц и констант. А также условия самосогласованного поведения всей Системы и ее граничных условий.

Возвращаясь к шахматам Фейнмана, можно сказать, что полевая физика — это переход от наблюдения за нашим Миром с точки зрения человека к попытке взглянуть на Мир с позиции его Творца. Как следовало бы смоделировать наш Мир, чтобы он приобрел известные нам свойства и знакомый вид? Какие условия и взаимосвязи оказываются при этом необходимыми? Ведь именно они являются фундаментальными физическими принципами. А на их основании уже можно переходить к описанию локальных явлений, благодаря чему становится понятно, как образуются известные нам параметры объектов и взаимодействий — массы, заряды, силы. И какие закономерности действительно являются отражением фундаментальных принципов, а какие — только локальными законами, несправедливо возведенными современной физикой в ранг глобальных принципов.

Полевая физика рассматривает наш Мир, как результат разумного конструирования. Это является тем самым звеном, которое позволяет навести порядок в разрозненном экспериментальном материале и отделить видимое поведение от реального устройства Системы. По сути, вся человеческая наука подсознательно построена на такой своеобразной вере в то, что в основание нашего Мира положен минимальный набор разумных принципов, который управляет всей гаммой наблюдаемых явлений. Прорыв полевой физики связан лишь с осознанием того, что для выявления этих принципов нужно попытаться взглянуть на Систему «сверху», с вершины логики того, кто их заложил. Сохраняя веру в существование разумного начала в нашем Мире, а не стихийности его появления.

Полевая физика не постулирует существование Творца и не опирается на это обстоятельство. А также не имеет никакого отношения к какому-либо религиозному или философскому течению. Напротив, данная книга построена в большей степени по традиционному принципу развития научных представлений — от наиболее знакомых и понятных вещей — к новому пониманию. Упомянутое виденье картины Мира фор-

мируется на страницах книги постепенно, по мере размещения частей физической мозаики в единое целое. Благодаря тому, что каждый раз чудесным образом находится указатель на местоположение следующей потаенной двери, ведущей к новым открытиям. И это само по себе очень захватывающий процесс.

Но как часто бывает, решить сложную задачу можно только заранее зная ответ. Возможно, натолкнуться на правильное решение и найти выход из вековых парадоксов можно и случайно, но шансы этого гораздо меньше, чем когда заранее знаешь, где искать. Важно понимать, что все яркие догадки, положенные в основу полевой физики и преподнесенные в книге в готовом виде, были найдены именно благодаря изложенному выше мировоззрению. Большинство этих догадок до сих пор остается недоступным ортодоксальной науке, потому что, пользуясь современными взглядами на мироздание, прийти к ним практически невозможно. Вот почему, начиная чтение этой книги, следует иметь ввиду представление о нашем Мире как о целостной логичной системе, результате разумного моделирования. И попробовать представить себя рядом с Творцом, который приступает к проектированию нашей Вселенной!

Можно, конечно, поступить упрощенным образом. Переписать в тетрадку все новые формулы полевой физики и отбросить в сторону всю философию, как ненужные более «строительные леса». И это является гарантией того, что более ни одного серьезного шага вперед сделать не удастся. Доказательством может служить тот факт, что современная наука не способна дать ответы на большинство вопросов, решаемых в полевой физике и имеющих на сегодняшний день статус непознаваемых. Формулы и законы являются лишь следствием положенного в основу полевой физики мировоззрения, позволившего получить все значимые результаты.

\* \* \*

И, наконец, последней особенностью данной книги является то обстоятельство, что она суть карта нового материка на глобусе науки, указывающая его местоположение. Первую экспедицию на этот материк мы совершим вместе, следуя этой карте, страница за страницей, глава за главой. Стараясь не сбиться с маршрута, чтобы не запутаться в новых землях, оказавшись там впервые. А в конце путешествия мы поделимся впечатлениями.

Возможно, потом вам захочется еще не раз посетить этот материк самостоятельно. Расширить с помощью него свои представления об устройстве Мира. Внести свой вклад в его изучение. Назвать своим именем но-

вый город или одну из горных вершин на этом материке. Потому что затронутый в полевой физике круг тем, количество новых идей и объем требующих решения задач является достаточным, чтобы обеспечить ученых работой еще как минимум на столетие.

В течение первого путешествия в полевую физику мы не будем далеко отклоняться от основного маршрута. Не станем углубляться в дебри математических расчетов и доказательств. Не станем сильно увлекаться развитием какой-то одной идеи. Не станем прорабатывать все следствия полученных законов и уравнений. Не говоря уже об их применении к широкому кругу прикладных задач. Сейчас нам важно составить первое впечатление о новых землях, набросать основные штрихи их географии и расставить указатели тех мест, где могут скрываться разные интересные вещи. Потом по этим указателям еще не одно поколение талантливых исследователей сможет найти себя и расширить свое понимание устройства Мира.

В этом отношении данная книга есть учебник того, как делать открытия в физике. Где и как искать потаенные двери, ведущие к неизведанным местам. Вот почему более важным в этой книге является даже не тот набор формул, который мы получим, а новое мировоззрение и способ мышления, позволяющие вам продолжить исследования самостоятельно. Или изменить свою жизнь, найдя новые ценности и ориентиры.

А теперь наш корабль отплывает. Открытие нового научного континента начинается.

Добро пожаловать на борт!

# Глава I

## Природа массы и инерция

*Это просто чудо, что чудес не бывает!  
Народная примета*

### ***1.1. Забавная аналогия или чудеса еще встречаются***

Каждого человека охватывает необычайное чувство волнения, когда между совершенно разными вещами вдруг обнаруживается очень тесная взаимосвязь. Например, когда в напряженном детективном романе казалось бы случайные события неожиданно сплетаются в единую цепь. Или в душещипательной мелодраме совершенно чужие люди оказываются близкими родственниками. Множество книг и фильмов посвящено таким трепетным «открытиям».

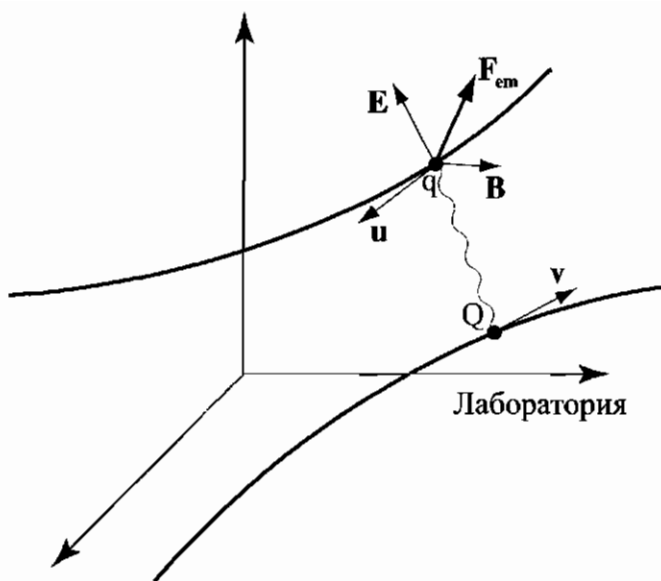
Навряд ли наука об устройстве Мира – физика – должна отставать от лирики по остроте ощущений и запутанности сюжета. Скорее наоборот, должна опережать, задавать тон. История развития человеческого знания помнит целую серию грандиозных открытий, в результате которых совершенно разные на первый взгляд явления природы оказывались тесно связанными гранями некой единой сущности. И каждый такой научный прорыв наделял человечество новыми фантастическими возможностями.

Одним из наиболее ярких объединений в физике стало открытие единой сущности электричества, магнетизма и света в рамках теории электромагнетизма Фарадея-Максвелла, во второй половине XIX века. Каждый из этих трех разделов физики в течение долгого времени существовал и развивался как отдельная область знаний, причем было совсем не очевидно, что все они тесно связаны между собой. Понимание их единой природы послужило основой для значительного развития физики полей, не говоря уже о широком практическом применении электромагнетизма.

Квинтэссенцией классической электродинамики можно считать выражение для силы, действующей на электрический заряд в электромагнитном поле, известной как сила Лоренца. Ее выражение в стандартных обозначениях можно найти в любом учебнике физики:

$$\mathbf{F}_{\text{эм}} = q\mathbf{E} + \frac{q}{c}\mathbf{u} \times \mathbf{B} \quad (1.1.1)$$





**Рисунок 1.1.1.** Частица-источник с зарядом  $Q$ , движущаяся со скоростью  $v$ , создает электромагнитное поле, в котором на исследуемую частицу с зарядом  $q$  действует сила  $F_{em}$

где  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{B}$  – напряженности электрического и магнитного полей,  $q$  и  $\mathbf{u}$  – заряд и скорость исследуемой частицы,  $c$  – константа скорости света (рисунок 1.1.1). Здесь и далее мы будем использовать систему единиц Гаусса, более естественную для теории поля.

В развернутом виде силу Лоренца можно выразить через  $\varphi$  и  $\mathbf{A}$  – скалярный и векторный потенциалы в согласии с известными формулами для потенциалов:

$$\mathbf{E} = -\nabla\varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (1.1.2)$$

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (1.1.3)$$

что приводит силу Лоренца к виду:

$$\mathbf{F}_{em} = -q\nabla\varphi - \frac{q}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \frac{q}{c} \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (1.1.4)$$

По сути, это выражение говорит нам, что в результате движения заряженных частиц к обычной электростатической силе

$$\mathbf{F}_0 = -q\nabla\varphi \quad (1.1.5)$$

добавляются еще два слагаемых, одно из которых определяется производной по времени, а другое — пропорционально скорости движения исследуемой частицы и перпендикулярно ей.

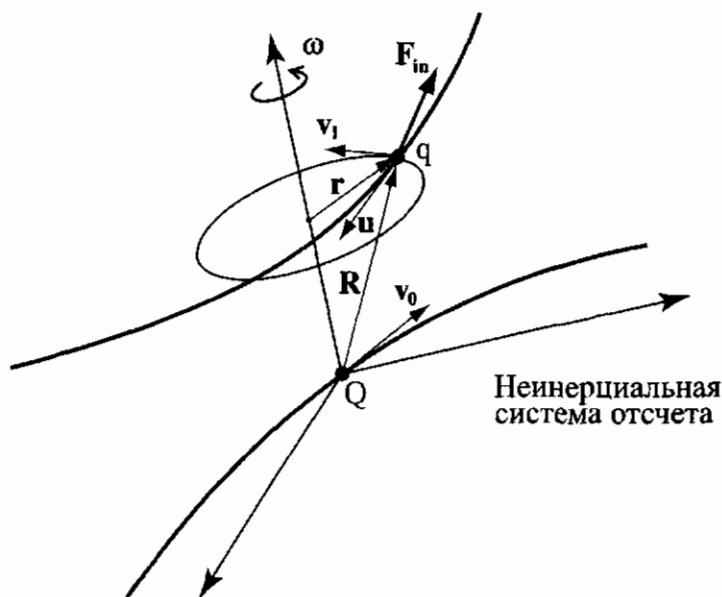
*Примечательно, что еще задолго до появления силы Лоренца похожая структура формулы силы была известна в совершенно иной области физики! А именно в классической механике. Речь идет о движении в неинерциальных системах отсчета.*

Как известно, если в инерциальной системе отсчета на частицу действует обычная сила  $\mathbf{F}_0$ , то при переходе в неинерциальную систему к ней добавляются еще два слагаемых — переносная сила инерции  $\mathbf{F}_p$  и сила Кориолиса  $\mathbf{F}_k$ :

$$\mathbf{F}_{in} = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_p + \mathbf{F}_k \quad (1.1.6)$$

Переносная сила инерции возникает в результате движения подвижной системы отсчета как единого целого относительно неподвижной системы (рисунок 1.1.2). В наиболее простом случае ее можно записать в виде:

$$\mathbf{F}_p = -m \frac{d\mathbf{v}_0}{dt} = -m \frac{\partial \mathbf{v}_0}{dt} \quad (1.1.7)$$



**Рисунок 1.1.2.** Сила электромагнитного взаимодействия оказывается эквивалентной силам инерции, возникающим при неинерциальном движении одного заряда относительно другого.

где  $\mathbf{v}_0 = \mathbf{v}_0(t)$  – скорость поступательного движения подвижной системы отсчета относительно неподвижной системы. Эта скорость является только функцией времени, что позволяет записать полную производную по времени в виде частной производной. Роль других составляющих переносной силы инерции, связанных с наличием вращения, мы рассмотрим чуть позже. Чтобы наглядно проиллюстрировать в этой главе суть новых идей и достичь простоты изложения, нам придется несколько пренебречь математической строгостью и позволить себе некоторые вольности. Должную математическую строгость мы восстановим в следующих главах.

Перейдем теперь к ~~Силе Кориолиса~~ **Силе Кориолиса**. Она действует на тела, движущиеся с некой скоростью  $\mathbf{u}$  относительно подвижной системы, и является следствием различия в характере движения этих тел и самой подвижной системы отсчета. По своей структуре сила Кориолиса полностью аналогична магнитной добавке – она пропорциональна скорости движущегося тела и перпендикулярна ей:

$$\mathbf{F}_k = 2m\mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} \quad (1.1.8)$$

В этой формуле  $m$  – масса рассматриваемого тела,  $\mathbf{u}$  – его скорость относительно подвижной системы отсчета,  $\boldsymbol{\omega}$  – угловая скорость вращения подвижной системы отсчета относительно неподвижной.

Данное выражение для силы Кориолиса можно слегка преобразовать, формально выразив угловую скорость вращения  $\boldsymbol{\omega}$  подвижной системы отсчета через линейную скорость вращения ее точек  $\mathbf{v}_1 = \mathbf{v}_1(\mathbf{r})$ , где  $\mathbf{r}$  – расстояние от оси вращения до произвольной точки подвижной системы. По известной формуле векторного анализа:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2} \nabla \times \mathbf{v}_1 \quad (1.1.9)$$

Написанное выражение имеет смысл обратной операции для обычной формулы линейной скорости:

$$\mathbf{v}_1(\mathbf{r}) = \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{r} \quad (1.1.10)$$

и представляет собой своеобразное «деление» линейной скорости  $\mathbf{v}_1$  на расстояние  $\mathbf{r}$ .

В результате этих преобразований внешнего вида сила Кориолиса запишется так:

$$\mathbf{F}_k = m\mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{v}_1) \quad (1.1.11)$$

Теперь осталось согласовать две скорости в формулах сил инерции. Для этого нужно ввести полную скорость  $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t)$  переносного движения каждой точки подвижной системы, которая равна сумме скоростей поступательного  $\mathbf{v}_0(t)$  и вращательного  $\mathbf{v}_1(\mathbf{r})$  движений:

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{v}_0(t) + \mathbf{v}_1(\mathbf{r}) \quad (1.1.12)$$

В нашем упрощенном примере мы пренебрегли возможностью вращения с переменной угловой скоростью, в результате чего линейная скорость зависит только от расстояния до оси  $\mathbf{r}$  и не зависит от времени  $t$ . Поэтому ее частная производная по времени равна нулю. Благодаря этому в формуле для переносной силы инерции мы можем заменить скорость поступательного движения на полную скорость:

$$\mathbf{F}_p = -m \frac{\partial \mathbf{v}_0}{\partial t} = -m \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} \quad (1.1.13)$$

Аналогично, в формуле силы Кориолиса можно линейную скорость также заменить общей, так как скорость поступательного движения не зависит от расстояния до оси вращения и является общей для всех точек подвижной системы:

$$\mathbf{F}_k = m\mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{v}_1) = m\mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{v}) \quad (1.1.14)$$

Тогда формула для силы в неинерциальной системе отсчета примет вид:

$$\mathbf{F}_m = \mathbf{F}_0 - m \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + m\mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{v}) \quad (1.1.15)$$

Перепишем теперь вместе выражения для силы Лоренца и силы в неинерциальной системе отсчета:

*Сила Лоренца*

$$\mathbf{F}_{em} = \mathbf{F}_0 - \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{q\mathbf{A}}{c} \right) + \mathbf{u} \times \nabla \times \left( \frac{q\mathbf{A}}{c} \right) \quad (1.1.16)$$

*Сила инерции*

$$\mathbf{F}_m = \mathbf{F}_0 - \frac{\partial}{\partial t} (m\mathbf{v}) + \mathbf{u} \times \nabla \times (m\mathbf{v}) \quad (1.1.17)$$

*Таким образом, сила в электромагнитном поле, созданном движущимся со скоростью  $\mathbf{v}$  зарядом, имеет ту же самую структуру, что и сила инерции в неинерциальной системе отсчета, движущейся с такой же скоростью!*

Эти две силы становятся полностью эквивалентными, если положить:

$$\frac{qA}{c} = mv \quad (1.1.18)$$

Векторный потенциал, созданный движущимся со скоростью  $\mathbf{V}$  зарядом-источником, по известной формуле связан со скалярным потенциалом  $\varphi$ :

$$\mathbf{A} = \frac{\varphi \mathbf{V}}{c} \quad (1.1.19)$$

В итоге мы получаем еще одно знакомое для любого физика выражение – связь массы и энергии:

$$m = \frac{q\varphi}{c^2} = \frac{W}{c^2} \quad (1.1.20)$$

где  $W = q\varphi$  – потенциальная энергия взаимодействия источника поля и частицы регистрации.

Мы можем сформулировать полученный результат так:

*Сила электромагнитного взаимодействия движущихся зарядов эквивалентна силе инерции, которая возникла бы при неинерциальном движении одного заряда относительно другого с массой, обусловленной потенциальной энергией их взаимодействия.*

Как уже отмечалось выше, написанные формулы были получены без должной математической строгости, с рядом упрощений, и являются в большей степени иллюстрацией, нежели доказательством. Однако они просто и ясно демонстрируют суть важной физической аналогии, которая, как станет понятно дальше, носит глубокий фундаментальный характер и способна перевернуть все наши сегодняшние представления об устройстве Мира. Она затрагивает важную взаимосвязь механики и природы полей, теории относительности и природы массы, а также все возможные следствия этих основ физической науки.

Некоторые принципиальные вопросы, путь решения которых становится понятным уже сейчас, мы можем сформулировать достаточно четко. Например, в чем причина аналогии между неинерциальным движением и электромагнитным полем? Что нового о природе и свойствах полей она позволяет понять? Является ли электродинамика следствием механики? Можно ли найти классическое решение проблем относительности без отказа от евклидовой геометрии и преобразований Галилея? Какова природа массы, и существуют ли механизмы целенаправленного изменения этого важного физического параметра?

Поиск ответов на эти вопросы обещает быть достойным самого захватывающего романа!

## *1.2. «Мозговой штурм» или первое лирическое отступление*

«Мозговой штурм» является методом генерации новых идей и поиска нестандартных решений. Он просто необходим, особенно в тех случаях, когда путь равномерного развития уже не приводит к качественно новым результатам. В процессе «мозгового штурма» поощряется высказывание любых – пусть даже самых «безумных» идей – без права их критики и необходимости доказательства. Уже после все высказанные идеи анализируются и остаются только те, которые после более тщательного рассмотрения обнаруживают под собой должное обоснование.

Может оказаться, что самая бестолковая на первый взгляд мысль потом находит разумное подтверждение и открывает дверь к принципиально иному пониманию сути вещей. Пониманию, которое невозможно было бы последовательно вывести из предшествующей системы понятий. Благодаря именно таким «безумным» идеям появилось большинство фундаментальных физических открытий, начиная с гелиоцентрической картины Мира и круглой Земли, включая представления о невидимых полях, атомной структуре вещества, планетарной модели атома, элементарных частицах, а также многие другие подобные прорывы.

Все это имеет прямое отношение к написанным в предыдущем разделе формулам и к идеям, которые предполагается озвучить в первой главе. Пока нам придется периодически делать некоторые допущения и опускать детали, потому что именно такой подход позволяет наиболее просто и наглядно перейти к использованию совершенно новых представлений. Подробное, громоздкое, долгое и утомительное изложение строгой теории, отягощенной сложным математическим аппаратом, за которым теряется физический смысл формул, лишает возможности быстро понять суть вещей даже наиболее подготовленного специалиста. Физика уже имеет немало подобных примеров «перегруженных» теорий в виде релятивизма и квантовой механики, а также большинства их современных модификаций, породивших «море» трудночитаемых книг.

Есть и еще одна веская причина, требующая сначала обрисовать идейную сторону новых представлений, а только потом перейти к последовательному выводу формул. Она состоит в желании показать тот путь, который привел к появлению новых идей и к перемене взглядов. Любой значительный прорыв в науке связан с изменением мировоззрения, и крайне важно понимать, благодаря чему это изменение стало возможным, и как оно связано с нашими прежними представлениями.

Поэтому прежде чем переходить к строгому изложению любой научной концепции, и вникать в тонкости и громоздкие расчеты, необходимо наиболее просто – «на пальцах» – понять физический смысл положенных в ее основу руководящих идей, а также конечную цель всех матема-

тических манипуляций. Во избежание повторения логических ошибок мы посвятим всю первую главу нашего повествования своеобразному «мозговому штурму» – постараемся набросать побольше новых идей и их самых неожиданных следствий, а также проследить путь развития новых мыслей.

В этой главе мы будем уделять наибольшее внимание физическому смыслу понятий и природе явлений, не придавая пока существенного значения математической строгости вычислений. По правилам «мозгового штурма» на этом этапе мы должны отвлекаться от критики и ощутить творческий полет мысли, позволяющий по-иному взглянуть на устройство Мира. К построению строгой математической теории мы перейдем позже и докажем все правила и формулы, полученные ранее из идейного понимания общих физических принципов.

### ***1.3. Предпочтительные системы отсчета или инерция наоборот***

Почему сила в электромагнитном поле выглядит похожей на силу в неинерциальной системе отсчета? Пожалуй, сложно было бы сформулировать более очевидный вопрос, ответ на который требуется для дальнейшего развития обозначенных идей.

Чтобы ответить на него начнем с самого простого. Сила электромагнитного взаимодействия, приобретающая ряд дополнительных добавок в случае движения источников, имеет самый простой вид в случае покоящегося источника:

$$\mathbf{F}_{em} = \mathbf{F}_0 = -q\nabla\varphi \quad (1.3.1)$$

Другими словами, система отсчета, связанная с частицей-источником поля, является для данного электромагнитного взаимодействия наиболее предпочтительной! Подобно тому как инерциальная система отсчета является наиболее предпочтительной для описания механического движения из-за отсутствия в ней всех дополнительных сил инерции.

*Система отсчета, связанная с источником поля, является для электромагнетизма своеобразной «инерциальной» системой, потому что в ней отсутствуют все динамические добавки к статической силе. Мы назовем эту систему отсчета системой поля. Таким образом, для данного электромагнитного взаимодействия система поля – своеобразная «инерциальная» система.*

При этом следует отметить важную особенность. Система поля имеет свойства «инерциальной» системы отсчета только для данного электро-

магнитного взаимодействия. Однако она может быть совсем не инерциальной с механической точки зрения! Частица-источник электромагнитного поля может совершать сложные движения относительно лабораторной системы отсчета, связанной, например, с Землей, в результате чего в системе поля будет присутствовать весь набор механических сил инерции. Другими словами, система поля является «инерциальной» для электромагнитного взаимодействия, но неинерциальной для механики!

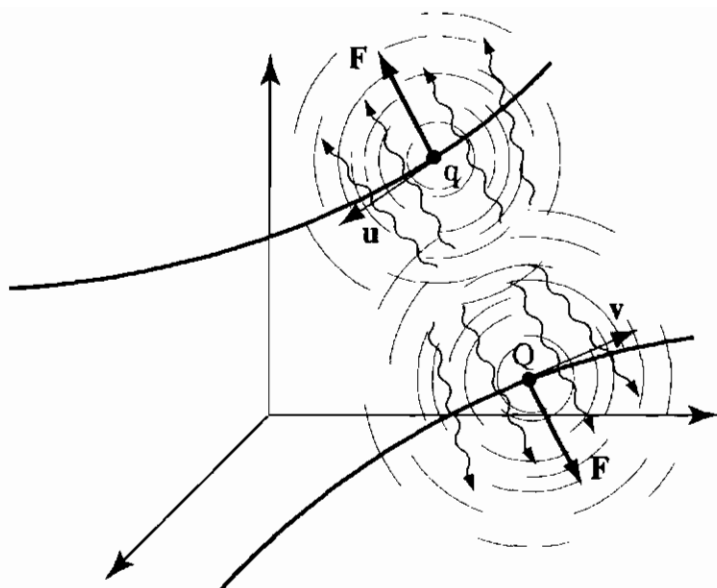
Эта абсурдная с точки зрения традиционной физики картина приобретает совсем иной вид с точки зрения философии физических полей. Согласно представлениям Фарадея—Максвелла, взаимодействие между частицами происходит не через пустоту, а посредством некоей реальной среды — электромагнитного поля. В современном мировоззрении представления об электромагнитном поле как о реальной физической сущности, принимающей непосредственное участие во взаимодействиях, во многом стерлись. После «отмены» эфира представление о полях стало в большей степени ассоциироваться с математическими функциями напряженностей, определяющих силы в конкретной точке.

*Чтобы вернуться от бытующих представлений о поле как о математической функции к начальным представлениям о физическом поле как о реальной физической субстанции, мы будем использовать понятие полевой среды. В процессе обсуждения на страницах этой книги понятие полевой среды приобретет более четкое и определенное значение.*

На простом наглядном уровне мы можем представить полевую среду в виде некоей сферической оболочки, связанной с заряженной частицей. Наличие у заряженной частицы такой полевой оболочки и приводит к возникновению взаимодействий. Благодаря этим оболочкам заряженные частицы «чувствуют» друг друга на расстоянии. Согласно этой философии сами заряженные частицы не взаимодействуют. Взаимодействуют их полевые оболочки, деформируя друг друга и вызывая как следствие изменения в характере движения связанных с оболочками частиц (рисунок 1.3.1). Таким образом, согласно представлениям о полевой среде, именно взаимодействие полевых оболочек приводит к изменению характера движения частиц, которое интерпретируется как действие сил. Силы в этой философии являются вторичными.

Попробуем применить эти представления к решению нашего вопроса о причинах предпочтительного характера системы поля в электромагнитных взаимодействиях. В изложенной философии при взаимодействии двух заряженных частиц сила их взаимодействия определяется движением полевой оболочки одной частицы относительно полевой оболочки другой. Полевая оболочка частицы-источника подобна некоей «платформе», по которой как бы «скользит» частица регистрации и, взаимодействуя с ней, меняет скорость своего движения. Частица-источник и





**Рисунок 1.3.1.** Заряженные частицы «чувствуют» друг друга на расстоянии благодаря своим полевым оболочкам. Взаимные деформации полевых оболочек изменяют характер движения самих частиц, что интерпретируется как действие сил.

ее полевая оболочка играют в этом случае роль своеобразной «механической подставки», по которой как бы «катится» частица регистрации, подобно механическому шару (рисунок 1.3.2).

Пока эта «подставка» покоится, частица регистрации движется наиболее простым образом и никаких дополнительных сил – сил инерции – не возникает. Но если ее привести в движение, то возникает различие в характере движения полевой «подставки» и «движущейся по ней» частицы регистрации. А разница в характере движения приводит к появлению относительных сил инерции – добавок к электростатической силе – полевых сил инерции. Вот почему система отсчета, связанная с источником поля, играет в электродинамике роль инерциальной системы отсчета!

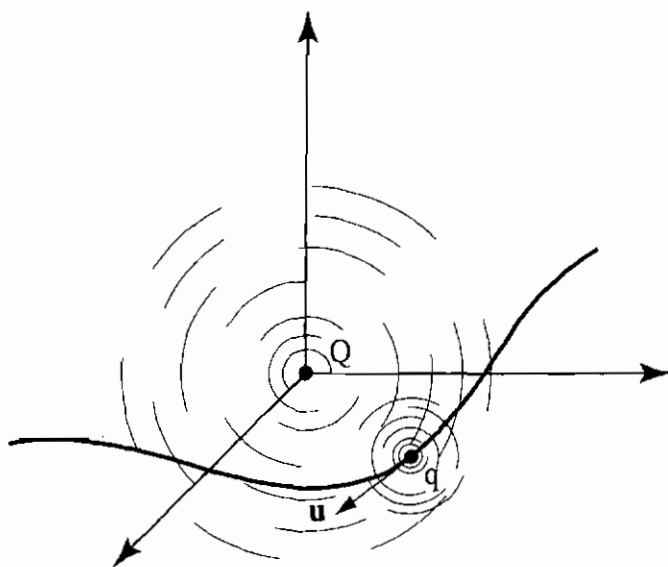
В этом смысле силы инерции универсальны. Их сущность, вообще говоря, не связана даже с конкретным видом взаимодействия и вытекает из чистой кинематики. Независимо от субстанции – твердого тела, жидкости, газа, плазмы или даже полевой среды – различие в характере движения – траекториях – приводит к появлению относительных сил – сил инерции. Применяя понятие инерции к полевой среде, мы могли бы вообще отказаться от термина силы и оперировать соответствующими относительными ускорениями.

Дополнительно следует отметить, что в случае наличия нескольких источников, движущихся различным образом, для каждого парного взаимодействия предпочтительная система отсчета будет своя! Также как предпочтительная система отсчета для электромагнитного взаимодействия может быть неинерциальной механически, и наоборот, инерциальная для механики система отсчета не является предпочтительной для электромагнитного взаимодействия.

Эти представления позволяют нам сформулировать принцип предпочтительной (инерциальной) системы отсчета:

*Для каждого отдельного взаимодействия предпочтительной (инерциальной) системой отсчета, в которой выражение для силы имеет простейшую структуру без дополнительных сил инерции, является система отсчета, связанная с источником поля этого взаимодействия. Эта система отсчета называется системой поля.*

Этот принцип предпочтительных систем отсчета может быть применен даже к самой обычной классической механике. Так, для всех процессов на Земле и в Солнечной системе наиболее интенсивным является взаимодействие с гравитационным полем нашей Галактики, которое мы назовем глобальным взаимодействием. Следовательно, предпочтительной или инерциальной системой отсчета для всех механических явле-



**Рисунок 1.3.2.** Полевая оболочка частицы-источника представляет собой некое подобие «платформы», по которой скользит частица регистрации.

ний будет система отсчета, связанная с центром Галактики, или другими словами, с системой неподвижных звезд. Если же пренебречь движением Солнечной системы и вращением Земли, то с определенной точностью инерциальную систему отсчета можно связать с самой Землей, что и делают физики еще со времен Галилея.

Однако вернемся к взаимодействию двух заряженных частиц. Предпочтительной системой отсчета, в которой электромагнитная сила имеет простейшую структуру, является система поля или система, связанная с частицей-источником. Но сама частица-источник может совершать сложные движения с произвольной скоростью  $v$ , в том числе с ускорением и поворотами относительно лабораторной системы отсчета, связанной с Землей. С точки зрения системы поля эти сложные неинерциальные движения совершает лабораторная система отсчета, двигаясь со скоростью  $-v$ . Получается, что лабораторная система отсчета, инерциальная с механической точки зрения, является неинерциальной с точки зрения данного полевого взаимодействия!

Чтобы формулу для электромагнитной силы – силу Лоренца, имеющую простейший вид в системе поля, записать в лабораторной системе отсчета, необходимо воспользоваться формулами для перехода в неинерциальную систему. В этом случае неинерциальной является лабораторная система отсчета, которая движется со скоростью  $-v$  относительно системы поля. Другими словами, мы получили неинерциальную систему как бы наоборот!

Именно по этой причине в лабораторной системе отсчета в формуле силы Лоренца к обычному электростатическому члену из системы поля добавятся еще два слагаемых – переносная сила инерции, которая суть вихревое электрическое поле, и сила Кориолиса – магнитная сила. То обстоятельство, что инерциальная с механической точки зрения лабораторная система отсчета для электромагнитного взаимодействия становится неинерциальной, мы назовем явлением полевой неинерциальности.

*Явление полевой неинерциальности состоит в том, что инерциальная с механической точки зрения система отсчета (например, лабораторная) является неинерциальной для полевого взаимодействия, если источник поля движется с ускорением по отношению к этой системе отсчета.*

*Доказательством явления полевой неинерциальности является наличие в силе Лоренца двух добавок к обычной электростатической силе, которые имеют структуру, аналогичную классическим силам инерции.*

*Магнитное поле и вихревое электрическое поле не являются самостоятельными физическими полями, а суть силы полевой инерции, возникающие при неравномерном движении зарядов и их электрических полевых оболочек.*

#### ***1.4. Природа полевой массы или динамическая инертность***

Другим немаловажным обстоятельством является то, что сила в электромагнитном поле, действующая на пробную частицу, эквивалентна силам инерции не для полной (классической) массы этой частицы, а только для некой дополнительной (полевой) массы частицы  $\mu$ , равной:

$$\mu = \frac{W}{c^2} \quad (1.4.1)$$

где  $W$  – потенциальная энергия взаимодействия исследуемой частицы с источником поля, а  $c$  – константа скорости света.

С учетом предыдущего раздела мы должны слегка подкорректировать это выражение для массы. Если частица-источник движется со скоростью  $v$ , то лабораторная система отсчета, в которой мы записываем полную силу Лоренца, движется относительно заряда в обратном направлении со скоростью  $-v$ . Поэтому скорости в силах инерции и выражении для векторного потенциала (формулы 1.1.18 и 1.1.19) имеют разный знак, в результате чего в формуле для массы появляется знак минус:

$$\mu = -\frac{W}{c^2} \quad (1.4.2)$$

Мы опустили эту деталь в начале главы, чтобы не усложнять ситуацию, а теперь восстановили справедливость.

***Массу частицы, обусловленную потенциальной энергией взаимодействия с другими частицами, например источником поля, мы будем называть полевой массой.***

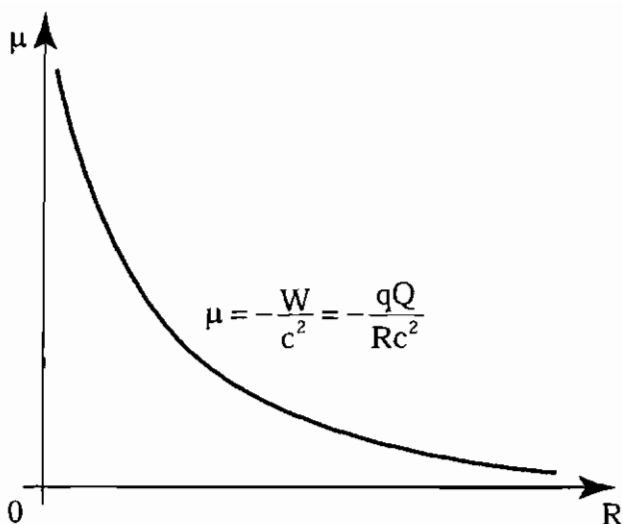
Для определенности в выражении полевой массы можно использовать обычный классический потенциал взаимодействия двух зарядов  $q$  и  $Q$ , находящихся на расстоянии  $R$ :

$$W = \frac{qQ}{R} \quad (1.4.3)$$

В результате чего полевая масса примет вид:

$$\mu = -\frac{qQ}{Rc^2} \quad (1.4.4)$$

Пожалуй, одно только это выражение способно рассказать нам о ключевом физическом понятии – массе – гораздо больше, чем все то, что было известно о нем до этого. Прежде всего, полевая масса не является постоянной. И зависит она даже не от скорости частицы, с чем совре-



**Рисунок 1.4.1.** Полевая масса возрастает по мере сближения объектов и убывает при их удалении.

менная физика уже привыкла как-то мириться, а от ее положения! Чем ближе частица к источнику поля, тем больше полевая добавка к массе (по абсолютной величине), чем дальше от источника поля — тем добавка меньше (рисунок 1.4.1)!

Логика этого явления оказывается в целом понятной. Более того, она может даже стать ключом к пониманию природы массы как таковой! Действительно, согласно написанной выше формуле, чем больше абсолютная величина потенциала и интенсивнее взаимодействие, тем сильнее его влияние на происходящие процессы и тем больше его вклад в массу. Опираясь на наши представления о реальности полевой среды, мы могли бы сказать, что по мере сближения заряженных частиц их полевые оболочки начинают взаимодействовать активнее, образуя некую единую полевую оболочку.

А чем сильнее становится образовывающаяся полевая связь между частицами, тем сложнее ее разорвать. А значит, это требует больше времени! Но именно характерное время протекания процессов и обусловлено массой! Чем массивнее тело, тем дольше оно меняет характер своего движения под действием одних и тех же причин, и наоборот. Это можно проиллюстрировать на примере самого элементарного классического уравнения движения тела с массой  $\mu$  и скоростью  $\mathbf{u}$  под действием силы  $\mathbf{F}$ :

$$\mu \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (1.4.5)$$

Рассматривая массу как характерное время реакции системы на внешнее воздействие, мы можем записать изменение скорости в виде:

$$d\mathbf{u} = \mathbf{F} \cdot d\left(\frac{t}{\mu}\right) \sim \mathbf{F} \cdot d\left(\frac{t}{\tau}\right) \quad (1.4.6)$$

где характерное время реакции системы  $\tau$  пропорционально массе:

$$\tau \sim \mu \quad (1.4.7)$$

Таким образом, масса тела оказывается тем больше, чем дольше время реакции этого тела на внешние воздействия и чем сложнее такому изменению произойти. А изменение скорости каждой частицы при их взаимодействии происходит тем сложнее и дольше, чем сильнее их полевая связь, то есть, чем больше абсолютное значение потенциала или чем ближе частицы друг к другу. Вот почему дополнительная инертность каждой частицы, связанная с их полевым взаимодействием, пропорциональна потенциальной энергии этого взаимодействия!

*Полевая масса является физической величиной, характеризующей темп протекания изменений в системе. Чем сильнее связаны объекты системы посредством полевых взаимодействий, тем дольше протекают изменения, что выражается в увеличении их масс. Величина массы каждого объекта определяется потенциалом взаимодействия этого объекта с другими объектами.*

Похоже, нам все-таки удалось пролить немного света на природу массы. Примечательно, что в классической и современной физике существует ряд примеров, которые приводят к аналогичному взгляду на массу. Одним из таких примеров может служить движение шара в идеальной жидкости, которое рассматривается в любом учебнике механики сплошных сред. Эта аналогия во многом похожа на наши представления о движении заряженной частицы со сферической оболочкой в полевой среде других частиц.

Уравнение движения шара массы  $m$  со скоростью  $\mathbf{u}$  под действием некой силы  $\mathbf{F}$  в пустоте имеет знакомый вид второго закона Ньютона:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (1.4.8)$$

Если же теперь этот шар движется в идеальной жидкости, то в уравнение движения добавляется сила сопротивления со стороны жидкости:

$$m \frac{du}{dt} = F - \frac{2}{3} \pi l^3 \rho \frac{du}{dt} \quad (1.4.9)$$

где  $\rho$  – плотности жидкости,  $l$  – радиус шара. Эту формулу можно свести к движению шара в пустоте:

$$(m + \mu) \frac{du}{dt} = F \quad (1.4.10)$$

если к обычной классической массе добавить так называемую присоединенную массу:

$$\mu = \frac{2}{3} \pi l^3 \rho \quad (1.4.11)$$

Таким образом, сопротивление жидкости свелось к появлению добавки к массе шара! Чем больше плотность жидкости или радиус шара, тем такое сопротивление больше. Или другими словами, интенсивнее взаимодействие шара с жидкостью, а значит, больше и добавка к массе. Этот пример наглядно показывает, как появление среды может сказываться на увеличении инерции тела.

Другой пример мы возьмем из физики твердого тела, а именно, рассмотрим движение электрона в кристалле. Свободный электрон с зарядом  $e$  и обычной массой  $m$  под действием электрического поля  $\mathbf{E}$  двигался бы в согласии с законом Ньютона:

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = \frac{e\mathbf{E}}{m} \quad (1.4.12)$$

Движение электрона в кристалле намного сложнее, однако, его можно свести к аналогичной формуле, если вместо классической массы электрона  $m$  использовать так называемую эффективную массу  $\mu$ , которая определяется выражением:

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\partial^2 E}{\partial p^2} \quad (1.4.13)$$

где энергия электрона в кристалле  $E = E(p)$  рассматривается как функция квазиимпульса  $p$ .

Эффективная масса может очень сильно отличаться от классической массы электрона. Она возникает за счет наличия связей электрона с полем кристаллической решетки и почти полностью соответствует сформулированным выше представлениям о динамической полевой массе. Эффективная масса также является переменной и может быть даже отрицательной!

Эти простые примеры показывают нам, как классические аналогии позволяют проиллюстрировать понятие полевой массы. Массы, обусловленной внешними полевыми взаимодействиями тела и зависящей от их интенсивности, а не являющейся постоянной «врожденной» характеристикой материального тела, как классическая масса. Также эти примеры позволяют на наглядном уровне представить себе механизм «рождения» полевой массы. Впрочем, впереди нам предстоит узнать еще очень много нового о природе массы.

### ***1.5. Полевая масса — чудеса продолжаются***

Составив первое представление о понятии полевой массы и природе ее возникновения, мы можем с большей уверенностью в адекватности наших рассуждений вернуться к формуле массы и рассмотреть другие свойства этого выражения. Перепишем формулу для полевой массы еще раз и обсудим ее особенности:

$$\mu = -\frac{W}{c^2} = -\frac{qQ}{Rc^2} \quad (1.5.1)$$

Во-первых, следует отметить не столько свойство самой массы, сколько важный аспект физических взаимодействий, как таковых. В современной физике считается, что основным и единственным результатом взаимодействий является действие сил на взаимодействующие объекты. Однако как нам стало понятно, действие силы — это только один из результатов взаимодействия. Другим немаловажным аспектом взаимодействия является изменение масс взаимодействующих объектов! Мы назовем этот аспект эффектом двойного действия.

*Эффект двойного действия состоит в том, что физические взаимодействия, с одной стороны, приводят к действию сил, а с другой стороны — к изменению инертности взаимодействующих объектов. Полным результатом взаимодействия является совокупность влияния этих двух факторов.*

Например, в процессе взаимодействия исследуемой частицы и источника поля возникает сила притяжения, которая разгоняет частицу в определенном направлении. Но при этом в процессе взаимодействия появляется еще и полевая добавка к массе, что приводит к увеличению полной массы частицы. В результате частица будет разгоняться медленнее, чем этого требует классическая физика. На рубеже XIX и XX веков этот пример явился одной из причин появления теории относительности и введения формальной зависимости массы от скорости. В четвертой главе мы подробно разберемся в этом вопросе.



Во-вторых, следует особо выделить новый взгляд на массу как на динамическую характеристику объекта. Полевая масса каждой частицы зависит от величины потенциала взаимодействия этой частицы с другими объектами и может изменяться на порядки в процессе движения частиц! Это обстоятельство коренным образом отличается от классических и современных представлений, согласно которым масса – внутренняя «врожденная» характеристика объекта. Полевая масса, напротив, является внешней характеристикой объекта, обусловленной его внешними связями. Например, для изолированной частицы, которая не взаимодействует ни с одним объектом, полевая масса равна нулю!

*Понятие полевой массы позволяет нам сформулировать динамический принцип инерции, согласно которому полевая инертность объекта не является его внутренней «врожденной» характеристикой, а обусловлена характером внешних взаимодействий этого объекта с другими объектами.*

В-третьих, представления о полевой массе налагают более строгие требования на нормировку потенциала. В современной физике скалярный потенциал определен только с точностью до постоянного слагаемого – все потенциалы, отличающиеся на константу, эквивалентны между собой. Понятие полевой массы, напротив, требует обращения потенциала в нуль на бесконечности. Это связано с тем, что на бесконечном удалении все связи между объектами пропадают, и полевая масса должна отсутствовать.

*Условие нормировки потенциала*

$$\varphi(\infty) = 0, W(\infty) = 0 \quad (1.5.2)$$

У полевой инерции есть еще одна интересная особенность. Как уже отмечалось выше, силы полевой инерции действуют не на полные массы частиц, а только на их полевые добавки. Так, обычные механические силы инерции, например на вращающемся диске, для электрона и протона отличались бы на 3 порядка из-за различия в их обычных массах. Полевые же силы инерции для электрона и протона, например магнитная сила, одинаковы по величине, так как эти частицы имеют одинаковые заряды, а следовательно, и одинаковую величину потенциала взаимодействия с одним и тем же полем и одинаковые полевые массы!

При этом электрон и протон получают разные механические ускорения. Это связано с тем, что, несмотря на одинаковые по величине полевые силы инерции, полные массы частиц различны. Поэтому электрон и протон получают под действием одной и той же магнитной силы разные по величине ускорения. Мы можем записать это обстоятельство в виде формулы:

$$\begin{aligned} \text{Полная масса} \times \text{Механическое ускорение} = \\ = \text{Полевая масса} \times \text{Ускорение полевой инерции} \end{aligned} \quad (1.5.3)$$

Правая часть уравнения, представляющая полевую силу инерции, для электрона и протона одинаковая, а механическое ускорение разное за счет разницы в полных массах.

И наконец, полевая масса может иметь разные знаки и быть отрицательной по величине! Подобно эффективной массе электрона в кристалле. Согласно формуле полевой массы она положительна при притяжении и отрицательна при отталкивании. Природа этого явления особенно интересна.

Например, пусть по кругу вращается протон или пучок протонов, создавая магнитное поле. Эта ситуация аналогична вращению механического диска в том же направлении. Если в этом поле начинает движение электрон, для которого полевая масса от взаимодействия с протоном положительна, то направление магнитной силы будет такое же, как у силы Кориолиса для шарика, катящегося по вращающемуся диску. Но если в поле вращающегося протона движется другой протон, полевая масса которого от этого взаимодействия уже отрицательна, то направление магнитной силы становится противоположным силе Кориолиса для катящегося шарика! В этом случае направления силы Кориолиса и магнитной силы были бы одинаковыми, если бы мы приписали шарiku отрицательную массу!

Физический смысл отрицательной массы состоит в том, что ускорение частицы с такой массой не сонаправлено действующей силе, а направлено ей! Используя представления о массе как о характерном времени протекания процесса, мы можем сказать следующее. В полях притяжения полевая добавка к массе положительна, что соответствует увеличению времени реакции объекта на внешние воздействия за счет появления дополнительных полевых связей. В полях отталкивания, наоборот, полевые связи не сдерживают частицу, а способствуют ее выталкиванию из системы. Их действие как бы ускоряет процесс изменения характера движения частицы, что выражается в уменьшении характерного времени таких изменений — уменьшении полной массы.

Впрочем, в этом случае можно пойти по пути сохранения привычной положительной массы, а частице приписать заряд другого знака. С точки зрения математики это равноценная замена. Именно так и поступают с электронами в кристалле, когда их масса становится отрицательной. Их заменяют квазичастицами с положительным зарядом под названием «дырки».

Другой похожий пример мы можем найти в современной физике элементарных частиц. При высоких энергиях возникают частицы со свой-

ствами, симметричными свойствам обычных частиц. Например, положительный электрон или отрицательный протон, которые отклоняются в магнитном поле в противоположную сторону, нежели обычные частицы. Такие объекты получили в современной физике название античастиц. Однако поведение таких частиц вполне может быть связано вовсе не с изменением знака их зарядов, а с изменением знака их масс!

В сильных полях на ускорителях, когда наблюдается рождение античастиц, величины полевых масс, в отличие от обычных условий, становятся очень большими и могут превышать по величине классические массы частиц. И если полевая масса частицы в таких условиях окажется отрицательной, то и полная масса частицы также изменит свой знак! В результате реакция этой частицы на внешние воздействия за счет другого знака массы окажется противоположной реакции обычных частиц, имитируя «рождение» античастицы с противоположным знаком заряда. Получается, что никакой «антиматерии» может вовсе и не существовать, а все дело в динамической природе полевой массы, величина которой может быть как положительной, так и отрицательной!

Хотя следует заметить, что современная физика недолюбливает отрицательную массу. В то время как изменение знака заряда частицы является с точки зрения традиционных представлений более привычным. Впрочем, этой темой мы пока всерьез заняться не готовы, поэтому имеет смысл вернуться к более «земным» вопросам, а именно к силам инерции.

### ***1.6. Как совершить невозможное или вывод электродинамики из механики***

Невозможное остается таковым, пока кто-нибудь этого не сделал. Так, многие вещи в науке, казавшиеся невозможными нашим предшественникам, являются простыми и очевидными для нас. Впрочем, каждая подобная победа дается очень нелегко.

На рубеже XIX и XX веков устоялось представление, что электродинамика является самостоятельной областью науки и описать ее в рамках наиболее простых и наглядных механистических представлений невозможно. Тому было много различных причин, как существенных, так и нет. С высоты сегодняшних представлений мы могли бы сказать, что основной причиной неудач в выявлении тесных аналогий между электродинамикой и механикой стало недостаточное понимание природы физических полей и природы массы.

Однако если смотреть не с философской, а с сугубо практической позиции, то основным камнем преткновения послужила проблема отно-

сительности. Классическая механика подчинялась принципу относительности Галилея, и ее формулы зависели только от относительных величин, а электродинамика — нет. Одна из ключевых сил электродинамики — магнитная сила — определялась абсолютной скоростью частицы и зависела от выбора системы отсчета. Обстоятельство совершенно недопустимое для точной науки.

Формальным решением этой дилеммы явилась специальная теория относительности, позволившая хоть как-то примирить электродинамику с механикой. Хотя это примирение и состоялось ценой замены преобразований Галилея преобразованиями Лоренца и уходом от интуитивно понятных и простых представлений. Но другого решения на тот момент все равно не было.

Мы можем позволить себе смотреть на эту проблему немного свысока, потому что изложенные в предыдущих разделах представления существенно меняют дело. Во-первых, идея предпочтительных систем отсчета позволяет нам рассматривать дополнительные слагаемые в силе Лоренца, и в том числе магнитную силу, не как слагаемые непонятного свойства, а как хорошо известные из механики силы инерции. А силы инерции, как известно, являются индивидуальными для каждой системы отсчета, повторяя особенности движения данной системы. Поэтому в одной системе отсчета магнитная сила (сила Кориолиса) может появиться, а в другой — исчезнуть! При этом требование сохранения единого выражения для силы при переходе к неинерциальным системам отсчета вообще теряет смысл!

Во-вторых, полный набор механических сил инерции является инвариантным в том смысле, что он сохраняет однозначные соотношения между относительными характеристиками системы при переходе из одной системы отсчета в другую и не допускает никакого произвола в их определении. Причем эта инвариантность существует в рамках обычных преобразований Галилея. В той или иной системе отсчета скорости движения частиц, конечно же, зависят от скорости самой системы, но относительная скорость их движения, как и относительные расстояния, остаются неизменными независимо от выбора системы отсчета. Более того, эта инвариантность полного набора классических сил инерции выполняется не только для узкого класса инерциальных систем, как преобразования Лоренца, а для любой произвольной системы отсчета и любого движения, в том числе вращений!

В-третьих, наши новые представления о полевой инертности создают интересную и важную взаимосвязь между зарядом и массой. А эта связь — основное недостающее звено, без которого невозможен переход от формул механики к формулам электромагнетизма.

Другими словами, развитые выше представления позволяют нам сделать простой логический шаг и напрямую получить выражение для силы Лоренца из выражения сил инерции! Для этого нам потребуется осуществить переход из системы поля, в которой присутствует только электростатическая сила, в лабораторную систему отсчета, которая, с точки зрения данного полевого взаимодействия, является неинерциальной. А значит, в лабораторной системе отсчета к электростатической силе следует добавить весь набор сил инерции, используя в качестве массы частицы ее полевую массу. Именно так решается нерешаемая задача по выводу электродинамики из механики!

*Электромагнитную силу Лоренца можно напрямую получить из механических сил инерции. Для этого надо перейти из системы отсчета, в которой источник поля покоится и сила имеет только электростатическую компоненту, в лабораторную систему отсчета, неинерциальную для электромагнетизма, используя в качестве массы в выражениях для сил инерции полевую массу.*

Эта простая, с идейной точки зрения, задача не так то проста в реализации. Люди, знакомые с выводом формул для электромагнитных полей через запаздывающие потенциалы, понимают всю громоздкость предстоящих вычислений. В большинстве книг по электродинамике даже не пытаются получить эти формулы в явном виде. Авторы вполне довольствуются написанием запаздывающих потенциалов Лиенара-Вихерта и выражений для полей через потенциалы. Современная электродинамика вообще уходит от описания взаимодействия частиц напрямую, которое можно было бы представить в виде единого выражения для влияния одного заряда на другой посредством поля, а вместо этого выстраивает длинную цепочку промежуточных величин.

Как мы уже догадались, первопричиной этих громоздких формул является сложное движение в неинерциальной системе отсчета. Однако это не единственная причина. Для получения конечного выражения силы Лоренца нам еще не хватает учета ряда обстоятельств, например, эффекта запаздывания для распространения возмущений в полевой среде. В классической механике изменение скоростей движения и вращения системы считается моментально передающимся во все ее точки. В полевой среде скорость распространения возмущений конечна, что дополнительно искажает и усложняет полевые силы инерции. Помимо этого, нам еще только предстоит получить правила комбинации различных составляющих масс частиц, а также научиться учитывать влияние разных компонент полевой среды в рамках одного уравнения движения.

Таким образом, несмотря на наличие концептуального решения задачи о выводе электродинамики из механики, мы пока еще не готовы реализовать его полностью. Впрочем, если все было бы так просто, то эту за-

дачу, наверное, уже давно бы решили. Поэтому, следуя духу первой главы, мы по-прежнему попытаемся максимально упростить математику, чтобы показать основные шаги реализации указанного решения и наиболее существенные результаты. К окончательному решению этой задачи мы придем позднее — во второй половине четвертой главы.

А пока нам придется пренебречь учетом эффектов запаздывания. Как и некоторыми другими деталями. Мы также не будем стремиться получить силу Лоренца в конечном виде. Ведь в нашей философии это должно быть не упрощенное выражение, записанное через напряженности полей, а конечное описание полевого воздействия заряда на заряд. Зато нам сейчас под силу наиболее наглядно увидеть механизм действия всех полевых сил инерции и понять, как каждая сила инерции отвечает за соответствующую электрическую или магнитную добавку. Хотя еще забавнее осознать роль каждой полевой силы инерции в современной научной парадигме. Впрочем, пора уже от слов переходить к реальным действиям.

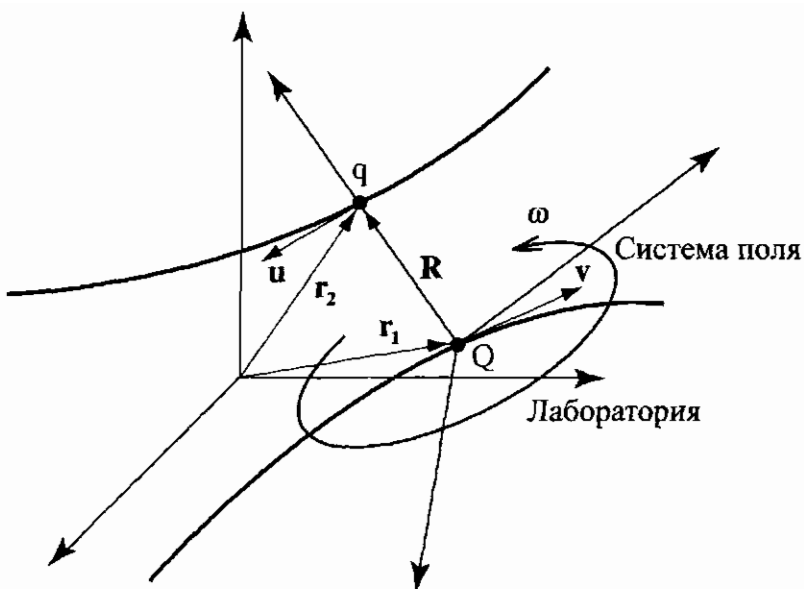
### *1.7. Силы инерции и сила Лоренца*

Этот раздел относится к разряду нудных, хотя и необходимых. Поэтому если в данный момент нет никакого желания погружаться в расчеты, можно его пропустить и сразу перейти к следующему разделу, посвященному гораздо более интересному разбору результатов. Итоговая формула, полученная в конце этого раздела, будет заново воспроизведена в начале следующего.

А теперь, покончив с формальностями, мы полностью готовы предаться вычислениям. Начнем с того, что конечную формулу нам надо получить в лабораторной системе отсчета, связанной с Землей. Именно в этой системе работают экспериментаторы, и именно она, с определенными натяжками, может считаться инерциальной в классическом смысле этого слова.

Пусть в подобной лабораторной системе произвольным образом движутся две заряженные частицы (рисунок 1.7.1). Одну из них мы будем считать источником поля и припишем ей заряд  $Q$  и скорость  $\mathbf{v}$ , а другую — частицей регистрации, или пробной частицей с зарядом  $q$  и скоростью  $\mathbf{u}$ . Местоположения этих частиц будем обозначать векторами  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$ . Теперь нам надо установить с какой силой частица-источник действует на частицу регистрации или, другими словами, какое ускорение в результате приобретает частица регистрации.

Для решения этой задачи нам следует перейти в систему отсчета, связанную с частицей-источником, которую мы назвали системой поля.



**Рисунок 1.7.1.** Система поля, связанная с двумя взаимодействующими зарядами, движется неинерциально относительно лаборатории. Однако с точки зрения данного полевого взаимодействия неинерциальной является именно лабораторная система, испытывающая сложное движение по отношению к системе поля.

Как уже отмечалось, у этой системы есть свое важное преимущество, но и важный недостаток. Преимущество состоит в том, что в системе поля сила электромагнитного взаимодействия имеет самый простой вид – присутствует только электростатическая компонента. Причем скорость частицы регистрации в этой системе равна:

$$\mathbf{v} = \mathbf{u} - \mathbf{v} \quad (1.7.1)$$

а ее местоположение определяется вектором  $\mathbf{R}$  :

$$\mathbf{R} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1 \quad (1.7.2)$$

В итоге уравнение движения в системе поля запишется в виде:

$$M \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F}_0(\mathbf{R}) = \frac{qQR}{R^3} \quad (1.7.3)$$

где  $M$  – полная масса частицы регистрации. Мы будем пока отталкиваться от предположения, что она складывается из суммы классической массы  $m$  и полевой массы  $\mu$ .

Написанное уравнение выражает собой основную суть принципа относительности, а именно независимость протекания процесса от выбора лабораторной системы отсчета. Все величины в формуле являются относительными, не зависящими от значений в лабораторной системе, а значит и от ее выбора. Более того, обе частицы эквивалентны – частицу-источник можно рассматривать как частицу регистрации и наоборот.

При таком подходе начало координат системы поля является определенным, а ориентация осей – произвольной. Произвол пропадает, если мы посмотрим на взаимодействующие частицы как на единое целое. Если невзаимодействующие частицы мы могли представить двумя точками со сферическими полевыми оболочками, то совокупную полевою оболочку взаимодействующих частиц следовало бы представлять в виде единого объекта, имеющего форму гантели. Соответственно, по линии, соединяющей взаимодействующие частицы, и следует направить ось системы поля.

Это означает, что, по мере движения частиц, система поля все время поворачивается относительно лабораторной системы отсчета. Угол поворота определяется соотношением относительной скорости движения частиц  $\mathbf{u}$  и расстоянием  $\mathbf{R}$  между ними. Полную скорость движения частицы регистрации  $\mathbf{v} = \mathbf{u} - \mathbf{v}$  можно разложить на поступательную скорость движения  $\mathbf{v}_0$  вдоль линии, соединяющей частицы, и линейную скорость вращения  $\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}$ :

$$\mathbf{v} = \mathbf{u} - \mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R} \quad (1.7.4)$$

Угловую скорость несложно вычислить, умножив векторно это выражение на  $\mathbf{R}$  и учитывая, что вектор  $\mathbf{v}_0$  сонаправлен с  $\mathbf{R}$ , то есть  $\mathbf{v}_0 \times \mathbf{R} = 0$ , а вектор  $\boldsymbol{\omega}$  ортогонален  $\mathbf{R}$ , то есть  $\boldsymbol{\omega} \cdot \mathbf{R} = 0$ . В результате, угловая скорость вращения системы поля определяется выражением:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\mathbf{R} \times (\mathbf{u} - \mathbf{v})}{R^2} \quad (1.7.5)$$

При этом скорость поступательного движения частицы регистрации относительно такой вращающейся системы равна:

$$\mathbf{v}_0 = \mathbf{u} - \mathbf{v} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R} \quad (1.7.6)$$

Теперь мы готовы вернуться назад в лабораторную систему отсчета. И здесь нам придется вспомнить про важный недостаток системы поля. Он состоит в том, что система поля совершает относительно лабораторной системы сложное неинерциальное движение. Хотя из системы поля все



выглядит иначе – этим недостатком, связанным со сложным движением, обладает как раз лабораторная система отсчета! Вот она – истинная суть принципа относительности! Это лабораторная система отсчета, во-первых, вращается в обратную сторону относительно неподвижной системы поля со скоростью  $\mathbf{\Omega} = -\boldsymbol{\omega}$ , а во-вторых, движется поступательно.

Теперь нам надо связать ускорение частицы регистрации в системе поля и в лабораторной системе отсчета. Для этого надо продифференцировать соотношение скоростей (1.7.6). В этой формуле  $\mathbf{v}_0$  как раз представляет скорость частицы регистрации в системе поля, а  $\mathbf{u}$  – в лабораторной системе.

Однако это не столь простая операция, как кажется. Во вращающейся системе отсчета полная производная по времени состоит из частной производной по времени и пространственной производной, связанной с вращением системы и приводящей к векторному умножению дифференцируемой величины на угловую скорость. Например:

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = \frac{\partial\mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{\Omega} \times \mathbf{u} = \frac{\partial\mathbf{u}}{\partial t} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{u} \quad (1.7.7)$$

где мы сразу заменили скорость вращения лабораторной системы  $\mathbf{\Omega}$  на  $-\boldsymbol{\omega}$ . Это правило дифференцирования справедливо для правой части соотношения скоростей (1.7.6), которое состоит из величин подвижной лабораторной системы отсчета. В левой части находится скорость частицы в «покоящейся» системе поля, поэтому при дифференцировании этой величины пространственная производная не возникает.

Дифференцирование соотношения скоростей (1.7.6) приводит к следующему выражению, с учетом автоматической замены  $\mathbf{\Omega}$  на  $-\boldsymbol{\omega}$ :

$$\frac{\partial\mathbf{v}_0}{\partial t} = \frac{\partial\mathbf{u}}{\partial t} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{u} - \frac{\partial\mathbf{v}}{\partial t} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{v} - \frac{\partial\boldsymbol{\omega}}{\partial t} \times \mathbf{R} - \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{u} - \mathbf{v} - \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.7.8)$$

Величина в левой части полученного соотношения:

$$\mathbf{a}_0 = \frac{\partial\mathbf{v}_0}{\partial t} \quad (1.7.9)$$

есть не что иное, как ускорение частицы регистрации относительно системы поля. То самое, которое представляет собой электростатическую силу. Первое слагаемое в правой части соотношения (1.7.8):

$$\mathbf{a} = \frac{\partial\mathbf{u}}{\partial t} \quad (1.7.10)$$

есть ускорение частицы регистрации в лабораторной системе отсчета. То самое, которое и должно определяться действием всего остального набора сил.

Таким образом, система сил инерции приобретает вполне знакомый из классической механики вид:

$$\mathbf{a}_0 = \mathbf{a} - \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} - \frac{\partial \boldsymbol{\omega}}{\partial t} \times \mathbf{R} - 2\boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{u} - \mathbf{v}) + \boldsymbol{\omega} \times (\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.7.11)$$

Здесь есть и обычные силы инерции, связанные с изменением линейной и угловой скоростей, и сила Кориолиса, и центробежная сила. Теперь, убедившись, что мы на правильном пути, начнем приводить полученную формулу для силы к известному виду силы Лоренца. Сначала вернемся чуть назад, и в третьем слагаемом формулы (1.7.11) внесем  $\mathbf{R}$  обратно под знак частной производной. Учитывая, что:

$$\frac{\partial(\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} = \frac{\partial \boldsymbol{\omega}}{\partial t} \times \mathbf{R} + \boldsymbol{\omega} \times \frac{\partial \mathbf{R}}{\partial t} = \frac{\partial \boldsymbol{\omega}}{\partial t} \times \mathbf{R} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{u} - \mathbf{v}) \quad (1.7.12)$$

наша формула примет вид:

$$\mathbf{a}_0 = \mathbf{a} - \frac{\partial(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} + \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} + \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.7.13)$$

Мы также заменили порядок в векторном произведении в остатке силы Кориолиса и знак перед ним. В итоге ускорение в лабораторной системе равно:

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_0 + \frac{\partial(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} - \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} - \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.7.14)$$

В этом выражении в правой части слагаемое  $\mathbf{a}_0$  выражает собой электростатическую силу. Если бы система поля покоилась относительно лаборатории, то мы получили бы  $\mathbf{a} = \mathbf{a}_0$ . Все остальные слагаемые в правой части – полевые силы инерции.

Таким образом, мы почти довели до конца реализацию первой части идеи о получении силы Лоренца в лабораторной системе отсчета путем перехода из системы поля. Теперь нам предстоит воплотить вторую часть идеи, связанную с использованием полевой массы, и перейти от ускорений к силам.

Этот шаг связан с некоторой сложностью, вызванной классическими представлениями об инерциальных системах отсчета. С одной стороны, есть основная классическая масса частицы  $m$ , которая движется инерциально в лабораторной системе отсчета. С другой стороны, эта же ча-

стица имеет полевую массу  $\mu$ , обусловленную электрическим взаимодействием, для которой инерциальной является система поля. В итоге попытка записать уравнение движения в любой из систем отсчета приводит к необходимости учитывать те или иные силы инерции!

Например, в системе поля простой вид имеет электромагнитная сила, но вообще говоря, в этой системе отсчета мы должны были бы записать обычные механические силы инерции, связанные с неравномерным движением классической массы  $m$ . В лабораторной системе отсчета механических сил инерции нет, зато появляются силы инерции полевого характера. Они связаны с тем, что эта система отсчета непредпочтительна для электромагнитного взаимодействия, и возникают силы инерции для полевой массы  $\mu$ . И нам надо учесть оба этих обстоятельства сразу!

Исходя из логических соображений, мы можем написать симметричную формулу для обеих сил инерции. В левой части уравнения движения будет стоять ускорение частицы регистрации в данной системе отсчета, умноженное на полную массу, которую мы записали как сумму классической и полевой масс. В правой части – статическая сила, присутствующая в любой системе отсчета, плюс силы инерции для данной системы, определяемые той частью массы, для которой они возникают:

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_m(m) + \mathbf{F}_m(\mu) \quad (1.7.15)$$

Посмотрим сначала, как эта формула работает для системы поля, где надо учитывать более знакомые классические силы инерции. Сразу же следует отметить, что в силу малости полевой добавки к массе можно считать  $m + \mu \approx m$ . Полевые силы инерции, определяемые полевой массой  $\mu$  в этой системе отсутствуют, электромагнитная сила имеет только одну электростатическую составляющую  $\mathbf{F}_0$ . А выражение  $\mathbf{F}_m(m)$  описывает весь набор хорошо знакомых классических сил инерции, определяемых классической массой  $m$  при условии, что система поля движется неинерциально относительно лаборатории.

Поняв принцип работы этого выражения, применим его к написанию силы Лоренца в лабораторной системе отсчета. Классические силы инерции в этой системе отсутствуют. Зато к обычной электростатической силе  $\mathbf{F}_0$  добавляются все полевые силы инерции, определяемые полевой массой  $\mu$ :

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_m(\mu) = \mathbf{F}_0 + \mu \frac{\partial(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} - \mu \cdot \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} - \mu \cdot \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.7.16)$$

Это выражение можно получить и из более формальных соображений. Если полная масса частицы регистрации равна  $m + \mu$ , то в системе поля обычное классическое уравнение движения запишется в виде:

$$(m + \mu) \cdot \mathbf{a}_0 = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_{in}(m) \quad (1.7.17)$$

Умножая формулу связи ускорений (1.7.14) на  $\mu$ , мы получим соотношение:

$$\mu \mathbf{a} = \mu \mathbf{a}_0 + \mathbf{F}_{in}(\mu) \quad (1.7.18)$$

Аналогичная связь ускорений существует и для обычной инерции массы  $m$ , только знак сил инерции обратный – они возникают не при переходе из системы поля в лабораторную систему, а наоборот:

$$m \mathbf{a}_0 = m \mathbf{a} + \mathbf{F}_{in}(m) \quad (1.7.19)$$

Исключая из этих трех соотношений  $\mathbf{a}_0$  и  $\mathbf{F}_{in}(m)$ , мы получаем для лабораторной системы:

$$m \mathbf{a} + \mu \mathbf{a} = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_{in}(\mu) \quad (1.7.20)$$

что полностью соответствует написанной выше формуле (1.7.16). Впрочем, пока нам важно уловить только суть подхода, а впоследствии мы строго выведем это правило комбинации сил инерции из формул динамики полевой среды.

Разобравшись с уравнением движения пробной частицы, мы совсем близко подошли к желаемой цели. Чтобы в полученном нами выражении (1.7.16):

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}_0 + \mu \frac{\partial(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} - \mu \cdot \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} - \mu \cdot \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.7.21)$$

стала легко узнаваться сила Лоренца, нужно заменить полевую массу  $\mu$ , обусловленную взаимодействием двух заряженных частиц, ее выражением:

$$\mu = -\frac{q\phi}{c^2} \quad (1.7.22)$$

где  $q$  – заряд частицы регистрации,  $\phi$  – потенциал, созданный частицей-источником,  $c$  – константа скорости света. Вместо электростатической силы также подставим ее значение согласно формуле Кулона:

$$\mathbf{F}_0 = -q\nabla\phi \quad (1.7.23)$$

В результате мы получаем долгожданную формулу:

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -q \nabla \varphi - \frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varphi(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{c} \right) + \\ + \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \frac{\boldsymbol{\varphi} \boldsymbol{\omega}}{c} + \frac{q}{c} \boldsymbol{\omega} \times \left( \frac{\varphi(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{c} \right) \quad (1.7.24)$$

Как мы и подозревали заранее, она оказалась далекой от идеала, и над ней надо еще работать и работать.

Однако многое уже становится ясно. Прделанная работа оказалась не напрасной, и это служит подтверждением правильности выбранного нами пути. Так первое слагаемое в правой части, разумеется, есть обычная электростатическая сила. Во втором слагаемом просматривается вихревое электрическое поле:

$$\mathbf{E}_r = - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (1.7.25)$$

если положить:

$$\mathbf{A} = \frac{\varphi(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{c} \quad (1.7.26)$$

Третье слагаемое по своей структуре суть магнитная сила:

$$\mathbf{F}_m = \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \mathbf{B} \quad (1.7.27)$$

где вектор магнитной индукции  $\mathbf{B}$  выражается через угловую скорость:

$$\mathbf{B} = \frac{\boldsymbol{\varphi} \boldsymbol{\omega}}{c} \quad (1.7.28)$$

Вот почему у магнитного поля так много общего с вращением!

Однако сразу же бросается в глаза и ряд проблем. Во-первых, четвертое слагаемое в правой части выражения (1.7.24) — центробежная сила — никак не вписывается в классическую электродинамику. Кажется, что его там просто нет! Во-вторых, все величины в полученной силе Лоренца являются относительными и не зависят от выбора лабораторной системы отсчета. Это свойство полученная формула унаследовала от механики, в то время как обычная сила Лоренца из электродинамики зависит не от относительной, а от абсолютной скорости исследуемой частицы.

Чтобы сделать электромагнетизм независимым от выбора системы отсчета и привести силу Лоренца в соответствие с принципом относитель-

ности, пришлось отказаться от преобразований Галилея и заменить их более сложными преобразованиями Лоренца. Так и возникла специальная теория относительности. Однако как мы уже начали понимать, этот шаг не является неизбежным. Дополнение силы Лоренца «потерянными» слагаемыми — неучтенными классической электродинамикой полевыми силами инерции — позволяет остаться в рамках преобразований Галилея и сохранить многие представления классической физики, не прибегая к философии теории относительности.

Впрочем, эту тему мы обсудим несколько позже. А пока нам важно понять, как каждая сила инерции превращается в соответствующую электрическую или магнитную составляющую, и какую роль она играет в современной электродинамике.

### 1.8. Сила Кориолиса или магнитная сила

Мы получили прямое выражение для силы, действующей на один заряд в поле другого заряда, записанное в лабораторной системе отсчета. Важным обстоятельством является то, что формула учитывает абсолютно произвольное движение обоих зарядов. Она состоит из обычной электростатической силы  $\mathbf{F}_0$  и ряда сил инерции и по своей сути является аналогом силы Лоренца:

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}_0 + \mu \frac{\partial(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} - \mu \cdot \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} - \mu \cdot \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.8.1)$$

В этой формуле  $m$  и  $\mu$  — классическая и полевая массы исследуемой частицы,  $\mathbf{u}$  — ее скорость в лабораторной системе,  $\mathbf{v}$  — скорость частицы-источника,  $\mathbf{R}$  — расстояние между частицами. Угловая скорость  $\boldsymbol{\omega}$  вращения системы поля, связанной с источником, относительно лаборатории выражается через другие величины по формуле:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\mathbf{R} \times (\mathbf{u} - \mathbf{v})}{R^2} = \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{R^2} - \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{v}}{R^2} = \boldsymbol{\omega}_u - \boldsymbol{\omega}_v \quad (1.8.2)$$

в которой мы разбили угловую скорость на две части. Так  $\boldsymbol{\omega}_u$  зависит только от скорости частицы регистрации, а  $\boldsymbol{\omega}_v$  — от скорости источника.

После замены полевой массы  $\mu$  ее значением:

$$\mu = -\frac{q\varphi}{c^2} \quad (1.8.3)$$

где  $q$  – заряд исследуемой частицы, а  $\varphi$  – потенциал, созданный частицей-источником, выражение для силы приобретает более близкий к силе Лоренца вид:

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -q \nabla \varphi - \frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varphi(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{c} \right) + \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \frac{\boldsymbol{\omega}}{c} + \frac{q}{c} \boldsymbol{\omega} \times \left( \frac{\varphi(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{c} \right) \quad (1.8.4)$$

Сейчас мы не будем стремиться привести эту формулу к известному виду силы Лоренца. Начнем с малого и будем по очереди «вынимать» из написанной формулы понятные нам слагаемые, а потом посмотрим, какой смысл несут в себе остальные члены.

Начнем с наиболее очевидной составляющей – силы Кориолиса. В написанных выше формулах она имеет вид:

$$\mathbf{F}_k = -\mu \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} = \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \frac{\boldsymbol{\omega}}{c} = \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \mathbf{V} \quad (1.8.5)$$

По своей структуре сила Кориолиса аналогична магнитной силе – пропорциональна скорости частицы регистрации и перпендикулярна ей. Более того, после замены полевой массы ее выражением, аналогия становится полной! Вектор магнитного поля определяется условием:

$$\mathbf{V} = \frac{\boldsymbol{\omega}}{c} \quad (1.8.6)$$

Подставим теперь в эту формулу значение угловой скорости, причем возьмем пока только ту ее часть  $\boldsymbol{\omega} = -\boldsymbol{\omega}_v$ , которая определяется скоростью движения источника. Также заменим величину потенциала  $\varphi$ , созданного точечным источником с зарядом  $Q$  на расстоянии  $R$ , его значением  $\varphi = Q/R$ . В результате мы получаем известное выражение для магнитного поля, созданного движущимся зарядом:

$$\mathbf{V} = \frac{\boldsymbol{\omega}}{c} = \frac{1}{c} \frac{Q}{R} \left( -\frac{\mathbf{R} \times \mathbf{v}}{R^2} \right) = \frac{Q}{c} \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{R}}{R^3} \quad (1.8.7)$$

Если же речь идет об однообразном движении множества источников, например тока в проводнике, то мы приходим к сумме:

$$\mathbf{V} = \sum_k \mathbf{V}_k = \sum_k \frac{Q_k}{c} \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{R}_k}{R_k^3} \quad (1.8.8)$$

или переходя к непрерывному распределению заряда  $dQ = \rho dV$  с объемной плотностью  $\rho$  и интегралу:

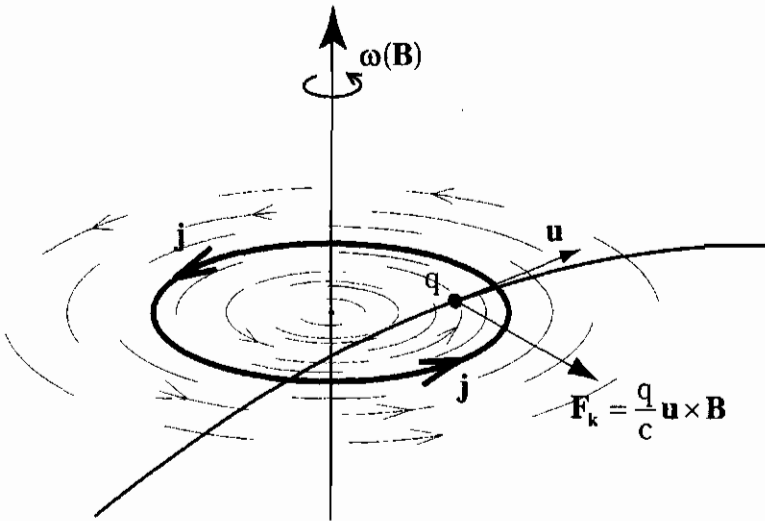
$$\mathbf{B} = \frac{1}{c} \int_V \frac{\mathbf{j} \times \mathbf{R}}{R^3} dV \quad (1.8.9)$$

где  $\mathbf{j} = \rho \mathbf{v}$  – вектор плотности тока.

Мы получили формулу Био-Савара для выражения магнитного поля, исходя исключительно из механистических соображений! Из обычных сил инерции!

*Вектор магнитного поля имеет физический смысл угловой скорости вращения полевой среды и отличается от нее коэффициентами. Магнитное поле не является фундаментальным физическим полем, а суть полевая сила Кориолиса.*

Механизм действия полевой силы Кориолиса достаточно прост (рисунок 1.8.1). Как известно кольцо с током создает магнитное поле благодаря движению электронов по кольцу. Пользуясь представлениями о полевой среде, мы понимаем, что вместе с электронами по кругу циркулируют и их полевые оболочки. Поведение полевой среды внутри кольца с током подобно вращению воды в воронке. Вектор магнитного по-



**Рисунок 1.8.1.** Магнитное поле связано с действием силы Кориолиса в полевой среде, обусловленной ее вращением.



ля с точностью до коэффициентов как раз и описывает угловую скорость вращения поля. Дополнительную сложность вносит только уменьшение плотности полевой среды с расстоянием до кольца, что выражается в зависимости полевой массы от расстояния как  $1/R$ . В результате этого вектор магнитного поля не является одинаковым для всех точек среды, как например, угловая скорость вращающегося диска. Тем не менее, опуская эту деталь, можно подытожить, что динамика полевой среды в кольце с током аналогична динамике вращающегося диска.

Разумеется, что когда в полевую среду попадает пробная частица, ее движение определяется динамикой этой среды. Поэтому заряженная частица внутри кольца с током будет вести себя так же, как шарик на вращающемся диске. Если такой шарик катится относительно диска с некоторой скоростью, то из-за разницы в характере движения шарика и диска появляется сила Кориолиса, которая «сносит» шарик в сторону. Полевая сила Кориолиса, которая действует перпендикулярно скорости заряженной частицы, была обнаружена экспериментально уже несколько веков назад и известна под названием магнитной силы!

При размышлении над этим вопросом становится понятно, что единственной причиной появления в физике векторного произведения служит вращение. Именно при введении вектора угловой скорости появляется необходимость операции векторного произведения, и все прочие случаи использования этой операции являются следствием вращения. Появление векторного произведения в магнитной силе также очень похоже на эффект вращения. Магнитное поле создается циркулирующей тока по замкнутому контуру, а под действием магнитного поля частицы движутся по кругу. Существует даже теорема Лармора, согласно которой движение частиц в постоянном магнитном поле полностью аналогично движению во вращающейся системе отсчета! Именно аналогия вращательного движения и движения в магнитном поле является наиболее простым примером, позволяющим понять истинную природу электромагнитных сил.

### ***1.9. Обычные силы инерции или вихревое электрическое поле***

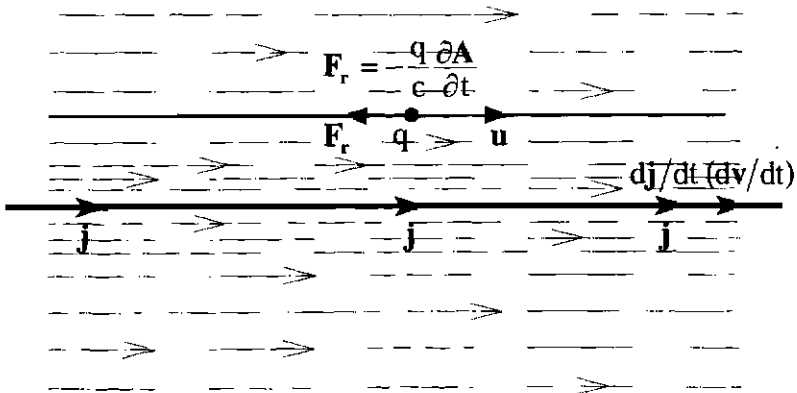
Обратимся теперь ко второму слагаемому начальной формулы (1.8.1), которое представляет собой обычную силу инерции, связанную с изменением поступательной скорости или скорости вращения:

$$\mathbf{F}_r = \mu \frac{\partial(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})}{\partial t} = -\frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\boldsymbol{\varphi} \mathbf{v}}{c} \right) - \frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\boldsymbol{\varphi} \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}}{c} \right) \quad (1.9.1)$$

Первая часть этой силы представляет собой самую простую силу инерции, связанную с изменением скорости поступательного движения. Ее механический пример очевиден – при ускорении или замедлении движущейся тележки лежащий на ней брусок смещается назад или вперед.

Полевое воплощение этой силы также легко продемонстрировать (рисунок 1.9.1). Изменение напряжения на концах провода в концепции полевой среды означает ускорение или замедление единой полевой оболочки проводника, которая и приводит в движение электроны. Для электронов такие перемены аналогичны изменению скорости тележки в механике. При замедлении полевой оболочки, то есть при выключении тока, электроны по инерции пытаются продолжить движение и как бы воссоздать исчезающий ток. При ускорении полевой оболочки, или при включении тока, все происходит с точностью наоборот, потому что в этом случае электроны сопротивляются возникновению движения. Это явление носит название самоиндукции и также известно в физике уже очень много лет!

Правило Ленца, согласно которому ЭДС индукции всегда противоположна изменению величины тока, является ни чем иным, как продолжением принципа о силах инерции, которые всегда препятствуют изменению характера движения объектов!



**Рисунок 1.9.1.** Часть вихревого электрического поля связана с действием обычной силы инерции в полевой среде, обусловленной переменной скоростью ее движения.

Величина силы электромагнитной индукции получается из величины силы инерции:

$$\mathbf{F}_r = -\frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varphi \mathbf{v}}{c} \right) = -\frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q \mathbf{v}}{Rc} \right) = q \mathbf{E}_r \quad (1.9.2)$$

где  $\mathbf{E}_r$  представляет собой некое эффективное электрическое поле, численно равное действию силы инерции. Вычисление ротора от обеих частей этого выражения дает:

$$\nabla \times \mathbf{E}_r = -\frac{1}{c} \nabla \times \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varphi \mathbf{v}}{c} \right) = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q}{c} \nabla \times \frac{\mathbf{v}}{R} \right) \quad (1.9.3)$$

Операция ротора берется по координатам точки регистрации, следовательно,  $\mathbf{v}$  при этом считается постоянной. В результате:

$$\nabla \times \mathbf{E}_r = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q}{c} \left( \nabla \frac{1}{R} \right) \times \mathbf{v} \right) = -\frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q}{c} \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{R}}{R^3} \right) \quad (1.9.4)$$

В этой формуле мы узнаем выражение для вихревого электрического поля:

$$\nabla \times \mathbf{E}_r = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.9.5)$$

где  $\mathbf{B}$  по-прежнему:

$$\mathbf{B} = \frac{Q}{c} \frac{\mathbf{v} \times \mathbf{R}}{R^3} \quad (1.9.6)$$

Второе слагаемое в обычной силе инерции имеет аналогичную суть. Различие состоит лишь в том, что вместо линейной скорости мы рассматриваем угловую. Возьмем опять лишь ту часть угловой скорости  $\boldsymbol{\omega} = -\boldsymbol{\omega}_v$ , которая зависит от скорости источника

$$\mathbf{F}_r = -\frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varphi \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}}{c} \right) = \frac{q}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\varphi \boldsymbol{\omega}_v \times \mathbf{R}}{c} \right) = q \mathbf{E}_r \quad (1.9.7)$$

Выражение для ротора эффективного поля  $\mathbf{E}_r$ :

$$\nabla \times \mathbf{E}_r = \frac{1}{c} \nabla \times \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q}{c} \frac{\boldsymbol{\omega}_v \times \mathbf{R}}{R} \right) = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{Q}{c} \nabla \times \left( \frac{\boldsymbol{\omega}_v \times \mathbf{R}}{R} \right) \right) \quad (1.9.8)$$

Ротор векторного произведения по известной формуле анализа равен:

$$\nabla \times \left( \frac{\boldsymbol{\omega}_v \times \mathbf{R}}{R} \right) = \boldsymbol{\omega}_v \left( \nabla \cdot \frac{\mathbf{R}}{R} \right) - (\boldsymbol{\omega}_v \nabla) \left( \frac{\mathbf{R}}{R} \right) \quad (1.9.9)$$

учитывая, что производные берутся по координатам точки регистрации при постоянной  $\boldsymbol{\omega}_v$ .

Первое слагаемое в правой части этой формулы:

$$\nabla \cdot \frac{\mathbf{R}}{R} = \mathbf{R} \cdot \left( -\frac{\mathbf{R}}{R^3} \right) + 3 \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \quad (1.9.10)$$

Второе слагаемое в правой части выражения (1.9.9) равно нулю, так как вектор  $\boldsymbol{\omega}_v$  ортогонален  $\mathbf{R}$ , а данное слагаемое представляет собой производную от одного из этих векторов по направлению второго.

Таким образом:

$$\nabla \times \left( \frac{\boldsymbol{\omega}_v \times \mathbf{R}}{R} \right) = \frac{2\boldsymbol{\omega}_v}{R} \quad (1.9.11)$$

и

$$\nabla \times \mathbf{E}_r = \frac{1}{c} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{2Q\boldsymbol{\omega}_v}{Rc} \right) = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (1.9.12)$$

где

$$\mathbf{B} = -\frac{2Q\boldsymbol{\omega}_v}{Rc} \quad (1.9.13)$$

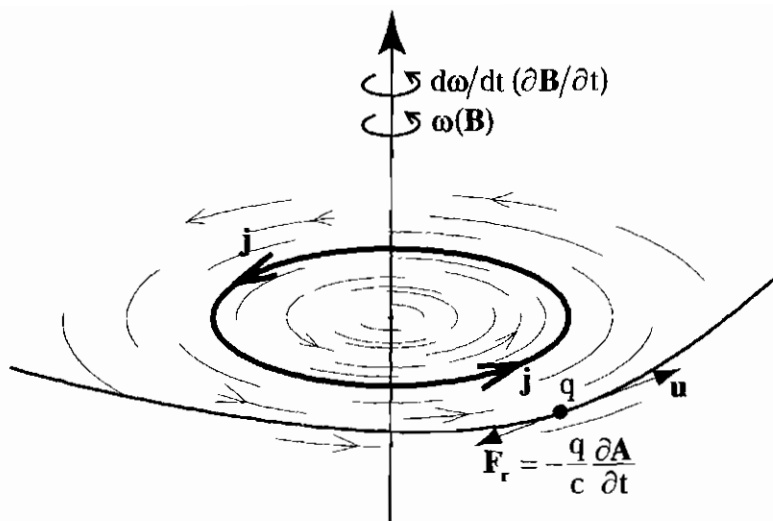
Мы снова получили знакомую формулу для вихревого электрического поля! Наиболее интересным оказывается выражение для вектора  $\mathbf{B}$ . Его следует немного преобразовать:

$$\mathbf{B} = -\frac{2Q\boldsymbol{\omega}_v}{Rc} = \left( -\frac{qQ}{Rc^2} \right) \left( \frac{2\boldsymbol{\omega}_v c}{q} \right) = \frac{2\mu_s \boldsymbol{\omega}_v}{q} \quad (1.9.14)$$

или

$$\boldsymbol{\omega}_v = \frac{q\mathbf{B}}{2\mu_s} \quad (1.9.15)$$

Это значение угловой скорости уже давно было отмечено физиками как особенное. Оно носит название частоты Лармора и обладает тем примечательным свойством, что поведение частиц в магнитном поле с напря-



**Рисунок 1.9.2.** Другая часть вихревого электрического поля связана с действием обычной силы инерции в полевой среде, обусловленной переменной скоростью ее вращения.

женностью  $\mathbf{B}$  полностью аналогично их поведению в системе отсчета, вращающейся с указанной частотой! Теперь нам до конца понятно почему, ведь само магнитное поле как раз и есть сила инерции в полевой среде, вращающейся с этой скоростью!

Механизм действия данной силы инерции наиболее прост (рисунок 1.9.2). Пусть магнитное поле создается петлей с током. Полевая среда внутри этого кольца, как уже отмечалось выше, будет подобна воде, вращающейся в воронке, или же крутящемуся диску. Изменение угловой скорости вращения полевой среды может быть вызвано, например, изменением тока в кольце.

В этом случае на любую пробную частицу будет действовать тангенциально направленная сила инерции. Она подобна тем силам, которые возникают при изменении угловой скорости вращения диска. На все тела, находящиеся на диске, по касательной к окружности действует сила по направлению движения, если диск тормозит, и против направления движения, если диск разгоняется. Вот почему при изменении тока в кольце возникает сила, которая стремится вращать пробную частицу по окружности, и циркуляция этой силы по замкнутому контуру отлична от нуля! Если в эту полевую среду мы поместим другое кольцо, то при изменении угловой скорости вращения полевой среды – величины маг-

нитного поля — во втором кольце появится ЭДС и пойдет ток. Природа этого тока очень похожа на природу вращения вязкой жидкости вблизи от крутящегося диска.

*Вихревое электрическое поле не является фундаментальным физическим полем. Его природа состоит в действии обычных сил инерции, связанных с изменением скорости движения или скорости вращения полевой среды.*

### **1.10. Центробежная сила или причина релятивистских поправок**

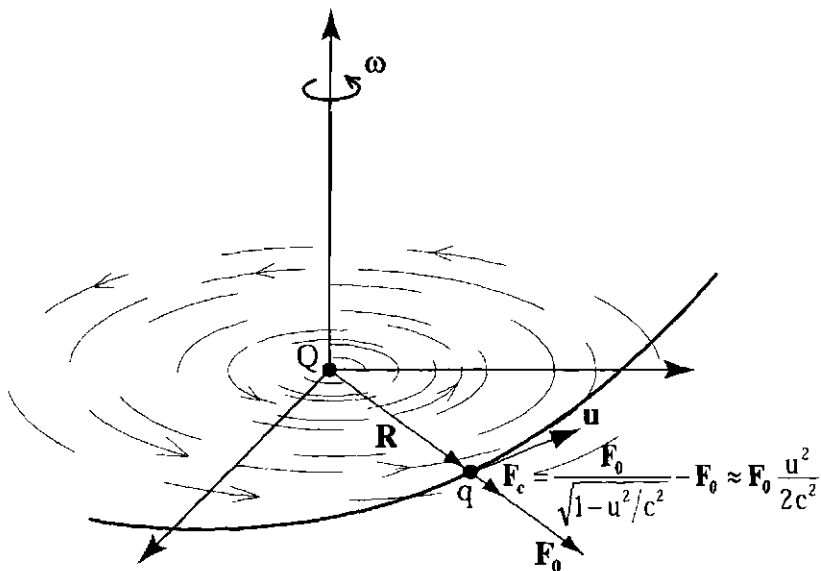
Рассмотрение обычных сил инерции и силы Кориолиса уже позволило нам объяснить природу всех известных поправок в обычной силе Лоренца. Мы нашли вихревое электрическое поле и магнитное поле. Казалось бы, другие поправки больше уже не нужны. Они просто не вписываются в обычную силу Лоренца! Однако это не так.

С подобным казусом мы столкнулись еще в самом начале этой главы, проводя аналогию сил инерции и электромагнитных сил. Сразу нашлась пара для обычной силы инерции и силы Кориолиса. Слагаемое с производной от угловой скорости мы вполне законно опустили, сославшись на равномерное вращение. И только центробежная сила пропала из красивой аналогии совершенно необоснованно. Что уже само по себе служит прямым намеком на ее особую роль в современной электродинамике! И теперь мы готовы понять эту роль.

Рассмотрим знакомое нам вращение механического диска. Как известно, центробежная сила действует перпендикулярно к оси вращения и направлена по радиусу. Эта сила связана с тем, что любой объект на вращающемся диске пытается сохранить свою линейную скорость и из-за вращения диска как бы выталкивается в сторону.

При движении одной заряженной частицы относительно другой соединяющая их полевая среда поворачивается (рисунок 1.10.1). В результате этого поворота возникает полевая центробежная сила, также направленная по радиусу вращения или по линии, соединяющей частицы. А именно по линии, соединяющей заряженные частицы, уже действует обычная электростатическая сила!

Вот почему центробежная сила осталась незамеченной в классической электродинамике. Направление ее действия всегда совпадает с кулоновской компонентой и просто теряется на ее фоне! Это обстоятельство привело к тому, что центробежная сила не была оформлена в классической электродинамике в виде самостоятельного поля или силы, и до



**Рисунок 1.10.1.** Релятивистские поправки к кулоновскому взаимодействию вызваны наличием центробежных сил в полевой среде.

сих пор воспринимается лишь как искажение или поправка к электростатическому слагаемому!

Математически это выглядит так. В нашей формуле силы Лоренца (1.8.1) центробежное слагаемое имеет вид:

$$\mathbf{F}_c = -\mu \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) \quad (1.10.1)$$

А как известно из механики, центробежную силу можно представить в виде градиента от квадрата линейной скорости вращения, а именно:

$$\mu \boldsymbol{\omega} \times (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) = -\frac{1}{2} \nabla (\mu (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})^2) \quad (1.10.2)$$

помня, что дифференцирование ведется по координатам частицы регистрации, и вектора  $\mathbf{v}$  и  $\boldsymbol{\omega}$  при этом считаются постоянными.

Выразив теперь полевую массу через потенциал, мы получим:

$$\mathbf{F}_c = \frac{1}{2} \nabla (\mu (\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})^2) = -\frac{1}{2} q \nabla \left( \varphi \frac{(\mathbf{v} + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R})^2}{c^2} \right) \quad (1.10.3)$$

Это поистине удивительное обстоятельство. Полевая центробежная сила имеет структуру обычной электростатической силы:

$$\mathbf{F}_0 = -q\nabla\varphi \quad (1.10.4)$$

и просто «растворяется» в ней! Она то усиливает кулоновскую силу, то ослабляет ее. При этом возникает ощущение, что с обычной электродинамикой что-то не так. Но разубить этот гордиев узел напрямую, решением «в лоб», эмпирически, путем уточнения экспериментов, или математически, путем усложнения формализма, никак не получается. Выделить центробежную компоненту на фоне обычной кулоновской силы стало возможно только благодаря целостному пониманию системы электромагнитных добавок!

Примечательно, что величина поправки к электростатической силе за счет центробежной силы имеет знакомый порядок – отношение квадрата скорости частицы к квадрату скорости света. Это же порядок релятивистских поправок! Оставив для простоты в центробежной силе только первую часть со скоростью частицы-источника  $V$ , мы можем записать электростатическое слагаемое вместе с центробежной поправкой в виде:

$$\mathbf{F}_{0+c} = -q\nabla\varphi - q\nabla\left(\frac{\Phi v^2}{2c^2}\right) = -q\nabla\left(\varphi\left(1 + \frac{v^2}{2c^2}\right)\right) \quad (1.10.5)$$

Поправочный коэффициент при  $\varphi$  очень напоминает разложение известного релятивистского множителя (здесь мы для наглядности воспользовались приближенным выражением, хотя если учесть все нужные члены в нашей силе Лоренца, то соответствие будет точным):

$$\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \quad (1.10.6)$$

Говоря о том, что при движении заряда к обычной электростатической силе добавляются только две поправки – вихревое электрическое поле и магнитная сила – мы временно опустили еще одно обстоятельство. Согласно современным представлениям, при движении заряда сама электростатическая сила также должна измениться на величину релятивистского множителя, или другими словами, потенциал следует преобразовать по формуле:

$$\varphi' = \frac{\varphi}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \quad (1.10.7)$$

Вот где в классической силе Лоренца присутствует центробежная сила! Она не оформлена в виде самостоятельной силы или отдельного слага-



мого, но она есть! И это один из существенных недочетов электродинамики. Потеря центробежной силы привела к неполноте всей электромагнитной системы. Это послужило поводом к появлению формального решения проблемы – теории относительности и преобразований Лоренца. Решению искусственному, позволяющему согласовать формулы, но не открывающему понимание природы вещей. Теперь мы готовы расставить все на свои места.

*Полевая центробежная сила имеет структуру электростатической силы. Ее действие сводится к искажению кулоновского взаимодействия. Величина искажения имеет порядок релятивистских поправок. Поэтому потеря центробежной силы в классической электродинамике приводит к необходимости использования релятивистских преобразований для согласования формул.*

### **1.11. Неучтенные силы инерции или снова релятивистские поправки**

Центробежная сила – не единственный источник релятивистских поправок. Вычисляя магнитную силу из силы Кориолиса (и не только), мы использовали неполную формулу для угловой скорости вращения системы поля:

$$\omega_v = \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{v}}{R^2} \quad (1.11.1)$$

вместо

$$\omega = \frac{\mathbf{R} \times (\mathbf{u} - \mathbf{v})}{R^2} = \omega_u - \omega_v \quad (1.11.2)$$

то есть фактически пренебрегли движением частицы регистрации. Однако в общем случае это не так, и неучтенная добавка равна:

$$\mathbf{F} = -\mu \mathbf{u} \times \omega_u = -\mu \mathbf{u} \times \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{R^2} \quad (1.11.3)$$

Или с учетом формулы полевой массы и изменением порядка векторного произведения:

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= -\mu \mathbf{u} \times \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{R^2} = -\frac{qQ}{c^2} \mathbf{u} \times \frac{\mathbf{u} \times \mathbf{R}}{R^3} = \\ &= \frac{qQ}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{u} \times \nabla \frac{1}{R}) = \frac{q}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{u} \times \nabla \varphi) \end{aligned} \quad (1.11.4)$$

в результате чего мы вновь вернулись от расстояния  $R$  к потенциалу  $\varphi$ . Преобразуем эту формулу, раскрыв двойное векторное произведение:

$$\mathbf{F} = \frac{q}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{u} \times \nabla\varphi) = \frac{q}{c^2} \mathbf{u}(\mathbf{u}\nabla\varphi) - q\nabla\varphi \frac{u^2}{c^2} \quad (1.11.5)$$

Второе слагаемое является еще одной релятивистской поправкой к обычной электростатической силе:

$$\mathbf{F} = -q\nabla\varphi \frac{u^2}{c^2} \quad (1.11.6)$$

Только если центробежная сила вносит поправку, связанную со скоростью движения источника  $\mathbf{V}$ , то эта – со скоростью движения частицы регистрации  $\mathbf{u}$ .

Первое слагаемое более интересно. Оно не вписывается в систему известных электромагнитных сил и кажется для них внешним:

$$(m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}_{\text{others}} + \frac{q}{c^2} \mathbf{u}(\mathbf{u}\nabla\varphi) \quad (1.11.7)$$

где  $\mathbf{F}_{\text{others}}$  описывает все остальные рассмотренные нами слагаемые.

Однако оно является интересной поправкой к левой части уравнения движения. Если мы введем вместо суммы классической и полевой массы некую общую массу, как формальную функцию скорости частицы регистрации

$$M(\mathbf{u}) = m + \mu \quad (1.11.8)$$

то ее производная будет иметь вид:

$$\frac{dM(\mathbf{u})}{dt} = \frac{d\mu}{dt} = \mathbf{u}\nabla\mu = -\frac{q}{c^2} \mathbf{u}\nabla\varphi \quad (1.11.9)$$

Вообще говоря, производная  $d\mu/dt$  несколько сложнее. В силу того, что  $\mu$  есть функция относительного расстояния  $R$ , производная зависит еще и от скорости источника  $\mathbf{V}$ . А также из-за неинерциальности лабораторной системы отсчета она включает в себя дополнительные члены, собирая из нашей формулы силы Лоренца еще не рассмотренные слагаемые. Однако это не меняет сути, поэтому мы для простоты учли только основное слагаемое в производной полевой массы.

В результате с помощью лишней добавки к силе левая часть уравнения движения приобретает вид:

$$M(u) \frac{d\mathbf{u}}{dt} - \frac{q}{c^2} \mathbf{u} (\mathbf{u} \nabla \varphi) = M(u) \frac{d\mathbf{u}}{dt} + \mathbf{u} \frac{dM(u)}{dt} = \frac{d}{dt} (M(u)\mathbf{u}) = \mathbf{F}_{\text{others}} \quad (1.11.10)$$

И здесь мы вновь видим образование релятивистских формул. Классическое уравнение движения:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (1.11.11)$$

свелось к релятивистскому:

$$\frac{d}{dt} (M(u)\mathbf{u}) = \mathbf{F} \quad (1.11.12)$$

а обычная постоянная масса заменилась на переменную массу, формально зависящую от скорости.

Это произошло из-за учета дополнительных сил инерции, связанных с тем, что вращение полевой среды происходит не только за счет движения частицы-источника, но и за счет движения частицы регистрации. Однако в философии классической теории поля действие сил должно быть обусловлено только внешними причинами – движением источников. Поэтому силы инерции, связанные с движением частицы регистрации нашли такое причудливое воплощение в виде роста массы со скоростью.

*Другой причиной возникновения релятивистских поправок является некорректная логика классической теории поля, согласно которой напряженность поля определяется исключительно влиянием источника и никак не зависит от частицы регистрации. На самом деле, на динамику полевой среды в равной степени влияет не только источник поля, но и сама частица регистрации. Учет этого влияния, в рамках современных представлений выражается в использовании формальной зависимости массы частицы регистрации от скорости ее движения.*

## 1.12. Механика, электродинамика и относительность

Достаточно поупражнявшись с вычислениями, мы готовы теперь осмыслить полученные результаты. И с их помощью начать формирование фундамента нового физического мировоззрения, которое мы будем называть полевой физикой. Похоже, что указанная в начале этой главы аналогия сил инерции и электромагнитной силы действительно имеет место. По крайней мере, нам теперь стало понятно ее происхождение. Даже удалось «вытащить на свет» и «пощупать» действие всех полевых

сил инерции. Наша формула для полевой массы вроде бы тоже неплохо работает. Все это — хорошая база для дальнейшего развития новых представлений.

Хотя главное даже не в этом. В процессе манипуляций с силами инерции мы неожиданно обнаружили ряд принципиальных проблем в фундаментальных основах современных физических представлений. Постараемся сформулировать их суть.

Прежде всего, становится понятно, что сила Лоренца в известном виде является неполной. В ней потеряна как минимум центробежная сила инерции. В этом и состоит нестыковка классической электродинамики и классической механики, послужившая поводом к появлению представлений специальной теории относительности на рубеже XIX–XX веков. Результатом неполноты силы Лоренца является ее зависимость от выбора системы отсчета и несоответствие требованию выражения законов природы только через относительные величины.

Роль релятивистских преобразований состоит в приведении обычной силы Лоренца к скорректированной, которую мы получили в этой главе из сил инерции. В результате вместо логически правильной последовательности, состоящей из полной силы Лоренца, не зависящей от выбора системы отсчета, и обычных преобразований Галилея в современной физике реализован искусственный и логически некорректный вариант неполной силы Лоренца, зависящей от выбора системы отсчета и преобразований Лоренца, формально спасающих ситуацию. Мы можем сформулировать это так:

#### *Современная физика*

- *Неполная сила Лоренца как результат обобщения опытных данных*
- *Зависимость неполной силы Лоренца от выбора системы отсчета, проблема абсолютных скоростей*
- *Преобразования Лоренца, призванные математически согласовать систему*

#### *Полевая физика*

- *Полная сила Лоренца, выведенная через силы инерции на основании представлений о реальности полевой среды и фундаментальной связи электродинамики с механикой*
- *Независимость полной силы Лоренца от выбора системы отсчета*
- *Преобразования Галилея, не требующие отказа от классических представлений о пространстве и времени*

Окончательно мы разберемся с этим вопросом в четвертой главе, когда точным образом сможем получить полевое уравнение движения для произвольно движущихся частиц. Впрочем, неполнота силы Лоренца и введение релятивистских поправок являются не единственным и далеко

не самым важным недочетом современных физических представлений. Написав силу Лоренца на основании сил инерции, мы получили много новых слагаемых, которые, на первый взгляд, не вписываются в известную электродинамику. В первую очередь это члены, которые определяются скоростью движения частицы регистрации  $\mathbf{u}$  (вспомним, что выводя знакомые нам электромагнитные силы, мы использовали, как правило, только члены, зависящие от скорости частицы-источника  $\mathbf{v}$ ).

С чем это связано? В нашей идеологии полная сила Лоренца зависит только от относительных скоростей, как и сами силы инерции. А это в свою очередь результат представления о реальности полевой среды, динамика которой в равной степени определяется как движением источника, так и движением частицы регистрации. Это более чем очевидно, особенно если речь идет о взаимодействии двух тождественных частиц, например двух электронов. В этом случае система полностью симметрична, и нелепо утверждать, что поле определяется только одной частицей и никак не зависит от наличия и движения второй.

Однако это обстоятельство полностью разбивает современные представления о полях, построенные на математическом подходе. Считается, что частица регистрации никак не влияет на поле или что ее влияние пренебрежимо мало. Этот вывод необходим для математической операции разделения переменных. В правой части уравнения движения должно стоять влияние поля, зависящее только от источников, а в левой – ускорение и масса частицы регистрации, принадлежащие только ей:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{v}) \quad (1.12.1)$$

В такой философии исчезают все физические механизмы процесса, исчезает полевая среда. Влияние источников заменяется математической функцией, которая в данной точке пространства имеет определенное значение и описывает действие поля на любую пробную частицу. Эта величина не зависит от того, есть ли вообще частица регистрации в данной точке или нет, что это за частица и как она движется.

Как нам теперь становится понятно, такой математический подход к описанию поля является в корне неверным. Сам факт появления частицы регистрации меняет структуру полевой среды и ее динамику. Не говоря уже о движении частицы регистрации. В зависимости от характера ее движения влияние поля на эту частицу будет иным. Другими словами, мы должны записать уравнение движения в виде:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) \quad (1.12.2)$$

где влияние поля, стоящее в правой части, в равной степени определяется как источником, так и частицей регистрации. И разделение переменных, вообще говоря, невозможно, особенно когда речь идет о взаимодействии нескольких частиц.

Современная электродинамика смогла продвинуться в развитии этого вопроса совсем недалеко. В электромагнитную систему была включена только одна дополнительная компонента – магнитная сила, определяемая не только источниками, но и скоростью движения частицы регистрации:

$$\mathbf{F}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = q\mathbf{E}(\mathbf{v}) + \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \mathbf{B}(\mathbf{v}) \quad (1.12.3)$$

Влияние магнитной силы было слишком заметным, по сравнению, например, с ролью центробежной силы, скрытой за кулоновским взаимодействием. Однако даже магнитная сила не смогла привести к концептуальному пересмотру взглядов на поле. В итоге ряд слагаемых в правой части уравнения движения, зависящих, в том числе, от характера движения частицы регистрации, оказался потерянным и отсутствует в современной силе Лоренца. Как уже отмечалось, было найдено формальное математическое решение в виде теории относительности, которое позволило согласовать цифры и привело к замораживанию этой проблемы вплоть до наших дней.

Позднее ученые столкнулись с похожей спецификой поля, в том числе и в квантовых явлениях. В экспериментах с элементарными частицами влияние частицы регистрации на состояние полевой среды еще более значимо, чем в классических опытах, когда взаимодействуют большие группы частиц, например электрические токи или магниты. В квантовой механике это обстоятельство появилось в виде зависимости протекания явления от факта наблюдения. Другими словами, в области микромира даже больше, чем в классической электродинамике, стало понятно, что наличие или отсутствие частицы регистрации кардинально меняет ситуацию, а значит, сама частица регистрации существенным образом определяет поле. Хотя данное обстоятельство привело лишь к усложнению математического формализма квантовой теории по сравнению с классической физикой, но не послужило поводом к пересмотру базовых принципов.

Еще одним немаловажным аспектом проблемы является неадекватный характер иерархии электромагнитных величин в современных представлениях. Так, конечная сила – сила Лоренца – имеет при любых обстоятельствах очень простой вид и определяется двумя векторами – напряженностями электрического и магнитного полей. При усложнении процессов происходит не появление дополнительных слагаемых в фор-

муле силы, как в силах инерции, а усложнение выражений для самих полей. Таким способом достигается только видимая искусственная простота уравнения движения. Полученная же нами сила Лоренца более громоздкая, зато она представляет собой все добавки в окончательном виде. И выражает не просто действие поля на частицу, когда поведение самого поля требует еще отдельного рассмотрения, а непосредственно действие одной частицы на другую.

В классической электродинамике вектора напряженностей полей в свою очередь выражаются через потенциалы. Эти формулы тоже достаточно просты, хотя ряд добавок возникает уже на этом уровне. Далее потенциалы выражаются через источники и расстояния. Именно здесь спрятаны все релятивистские поправки и все дополнительные сложности. Таким образом, современная электродинамика имеет три уровня иерархии электромагнитных величин, причем при усложнении движения все отражается сначала в потенциалах, потом в выражениях для полей, хотя конечная формула силы призвана сохранять неизменный вид.

Развитый нами подход к построению электромагнитной силы более естественный и наглядный. Он аналогичен классической механике. При равномерном прямолинейном движении системы есть только статическая сила. При прямолинейном ускорении возникает дополнительное слагаемое. При появлении вращения — центробежная сила. Если скорость вращения переменна, то появляется еще один член с соответствующей производной. А если и частица регистрации движется, то возникает сила Кориолиса.

В этом случае каждая отдельная сила предельно проста. А общая сила собирается из набора нужных компонент при усложнении движения. Чем сложнее движение — тем больше слагаемых. Причем требование сохранения во всех случаях одного и того же внешнего вида конечной силы отсутствует! Напротив, каждая система отсчета уникальна в силу своего уникального движения, и уравнение движения в каждой системе отсчета является отражением характера ее движения. Только в равномерно движущихся — инерциальных системах отсчета — уравнения движения кажутся совпадающими. Хотя, как мы докажем после, это лишь частность, а не общее правило. Но во всех случаях, в любой системе отсчета, сохраняется единый алгоритм построения конечной силы. И это является основным физическим инвариантом!

В полевой физике электромагнитная сила строится аналогичным образом (иначе и быть не могло, ведь электромагнитная сила и есть сила инерции!). Это более простой и наглядный путь. Отсутствуют абстрактные преобразования внутренних величин, подобно преобразованиям Лоренца, а каждое слагаемое играет понятную физическую роль. Существует только одна базовая величина — скалярный потенциал. В боль-

шинстве случаев он имеет один и тот же простой вид  $\varphi = Q/R$  и входит в качестве основы во все силы инерции. А далее сила Лоренца собирается из нужного набора компонент в зависимости от характера движения частиц. Есть только один уровень иерархии величин. А векторный потенциал и напряженности полей являются в этой философии излишними!

Изложенное понимание бросает серьезную тень еще на один фундаментальный принцип классической и современной физики – принцип относительности. Вообще говоря, в современных представлениях под этим принципом понимаются два совершенно разных аспекта. Первый аспект можно сформулировать как независимость протекания процесса от выбора системы отсчета, и как следствие, выражение уравнений движения только через относительные величины, например, относительные расстояния и относительные скорости.

В этом смысле с принципом относительности сложно спорить. Любая система отсчета – это лишь способ описания явления, который никак не может влиять на само явление. Полевая физика полностью поддерживает эти представления. Чего нельзя сказать о самой теории относительности, в которой переход из одной системы отсчета в другую меняет свойства физических объектов и процессов, например, длины или промежутки времени.

Странно выглядит другой аспект принципа относительности, который можно сформулировать как требование сохранения единого внешнего вида уравнения движения во всех инерциальных системах отсчета. Во-первых, само выделение особого класса инерциальных систем отсчета казалось физикам искусственным еще со времен Ньютона. Чем хуже в глобальном мировом масштабе все остальные системы? Во-вторых, требование сохранения единого вида уравнения движения носит скорее эстетический, чем физический характер. В этом и состоит принципиальная разница между первым и вторым аспектами принципа относительности. Независимость природы протекания процесса от способа его наблюдения не означает единую видимость протекания процесса для всех наблюдателей!

Крылатая фраза «Все относительно!» подчеркивает тот факт, что одно и то же явление или объект, неизменные по своей сути, выглядят по-разному для различных наблюдателей. Один и тот же человек или его поступки воспринимаются различными людьми по-разному. Другими словами, относительной является только видимость того, что само по себе остается тем же самым независимо от наблюдателей!

Забавно, что самая относительная теория в физике как раз не поддерживает этот факт. В нее заложена совсем иная суть. А именно то, что види-



мость различий означает реальность их существования. Так в одной системе отсчета объект может казаться короче, чем в другой. Согласно теории относительности мы должны считать, что объект реально имеет разную длину в разных системах, а не разную видимость этой длины. Или время реально имеет разный темп течения для разных наблюдателей. Это является одной из причин, по которой логика теории относительности подвергается постоянной критике вплоть до наших дней. Просто теория относительности неверно трактует понятие относительности!

Абсурдность требования, состоящего в неизменности внешнего вида уравнения движения в разных инерциальных системах отсчета, можно показать еще на одном примере. Внешний вид — результат выбранного способа описания, выбранного языка. Так, одна и та же фраза на русском языке может состоять из трех слов, на английском — из десяти, или наоборот. И состоять из разных букв. Первый аспект принципа относительности требовал бы сохранения смысла фразы при переводе с одного языка на другой, и это понятно. Второй аспект — единого написания фразы на разных языках, что является довольно сомнительным.

Конечно, есть интернациональные слова и можно найти ряд фраз, которые по-русски и по-английски будут записываться одинаково. Это и есть класс инерциальных систем отсчета. Но эти системы скорее частность и исключение из правил, но никак не само правило! Гораздо более широкий класс неинерциальных систем отсчета, в которых уравнение движения складывается из нужного набора компонент и не сохраняет единый вид, является тому подтверждением. Именно алгоритм построения уравнения движения в нужной системе отсчета, в который заложено наше понимание природы вещей, должен быть инвариантным и подходящим как для инерциальной, так и для любой неинерциальной системы отсчета. Он суть логика составления фраз из отдельных слов.

*Независимость природы протекания процесса от способа его наблюдения не означает единую видимость протекания процесса для всех наблюдателей. В разных системах отсчета описание протекания процесса может выглядеть по-разному, то есть описываться разными уравнениями с разным набором слагаемых.*

*Требование сохранения единого вида уравнений физики во всех инерциальных системах отсчета является искусственным. Инвариантным является только алгоритм составления уравнения движения, позволяющий написать правильную формулу в любой системе отсчета.*

Физика накопила множество способов описания движения — своеобразных языков. Поэтому даже в рамках одной системы отсчета одно и то же движение может быть описано по-разному. Например, движение планеты по эллипсу в декартовых координатах  $(x, y)$  есть сумма квадратов:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1.12.4)$$

где  $a$  и  $b$  – полуоси эллипса. А в полярных координатах  $(\rho, \theta)$  это же движение – обратный косинус:

$$\rho = \frac{p}{1 + \varepsilon \cdot \cos\theta} \quad (1.12.5)$$

где  $p$  и  $\varepsilon$  – параметр и эксцентриситет эллипса. Форма записи законов движения разная, и важно лишь то, что две эти формулы описывают одну и ту же кривую! Это смысл выражений, который инвариантен.

В заключение этой темы следует отметить еще одно забавное обстоятельство. Согласно первому закону Ньютона всегда можно указать инерциальную систему отсчета, в которой объект движется без сил инерции. А мы случайно доказали, что нет!

Рассматривая движение частицы регистрации в поле частицы-источника, которая сама испытывает сложное движение относительно лаборатории, мы увидели следующее. В системе частицы-источника электрическая сила имеет простой вид, без инерционных добавок, зато в этой системе следует учитывать механические силы инерции. В лабораторной системе нет механической инерции, зато возникают полевые силы инерции. В некоей промежуточной системе отсчета вообще будут присутствовать и одни силы инерции и другие. Несложно убедиться, что в этой задаче вообще нельзя так выбрать систему отсчета, чтобы избавиться от всех сил инерции сразу!

Почему это происходит? Потому что в нашем примере имеет место двухкомпонентное взаимодействие. Есть предпочтительная система отсчета для механики – лабораторная. И есть предпочтительная система для электродинамики – система частицы-источника. Модель инерциальной системы отсчета работает только тогда, когда есть одна предпочтительная система, или однокомпонентное взаимодействие. Или несколько предпочтительных систем отсчета совпадают друг с другом. Это частный случай, составляющий предмет классической механики.

***Во всех случаях, когда существует более одной предпочтительной системы отсчета, и они неравномерно движутся друг относительно друга, инерциальной системы отсчета вообще не существует! В любой системе отсчета присутствуют те или иные силы инерции.***

С подобными казусами нередко можно столкнуться и в классической физике. Например, давно известна следующая ситуация: две заря-

женные частицы, движущиеся перпендикулярно друг другу. В этой задаче нарушается баланс силы действия и противодействия, не сохраняется импульс. Причина заключается как раз в том, что в этом случае тоже имеет место двухкомпонентная полевая среда, и инерциальной системы отсчета в принципе нет! Дисбаланс возникает из-за некорректного учета всех сил инерции. Обычное же решение состоит в том, что электромагнитному полю приписывается импульс. Величина этого импульса как раз и соответствует неучтенным силам инерции!

Несложно догадаться, что это обстоятельство — еще один источник релятивистских поправок. Начинает казаться, что они просто всемогущи! На самом же деле все обстоит намного проще. Говоря языком программирования, классическая физика — своеобразная «Операционная система» Мира — имеет множество логических «дыр» (за что ее сложно упрекать — ведь это только черновик наших представлений об устройстве Мира). А специальная теория относительности — универсальная «заплатка». Эта «заплатка» не призвана устранить сами «дыры». Таким сложным и неблагодарным занятием мы решили заняться в рамках полевой физики. Цель «заплатки» — сделать из того, что есть, то — что надо, не вникая при этом в детали.

И теория относительности с успехом исполнила эту роль! Все формулы стали согласовываться друг с другом и с экспериментом. Вот почему выстраивая полевую физику, мы еще не раз встретим до боли знакомые преобразования. А тот факт, что такая универсальная «заплатка» оказалась столь простой — всего лишь заменой преобразований Галилея преобразованиями Лоренца — настоящее чудо! Впрочем, это чудо спасает только в случае равномерного прямолинейного движения. А при равноускоренном движении все становится гораздо сложнее и требует перехода к общей теории относительности, неевклидовой геометрии, тензорному исчислению и прочим «ужасам» современной физики и математики.

Как мы увидим по мере движения вперед, чтобы на самом деле исправить все «проколы» в логике классической физики, необходимо сделать более десятка принципиальных открытий. Некоторые из них мы уже сделали в этой главе. Большинство нам еще предстоит сделать. Поэтому столь длительная живучесть «заплатки» в виде теории относительности становится вполне понятной. С позиций большинства «пользователей» гораздо проще воспользоваться ею, чем дожидаться написания новой «Операционной системы». Или, не дай бог, писать ее самому!

### ***1.13. Природа классической массы или да здравствует революция!***

В этой главе мы уже наговорили достаточно, чтобы попасть на костер инквизиции. Перевернули с ног на голову всю электродинамику. (Хотя скорее наоборот, поставили на ноги...) Осквернили столь священное понятие, как масса, сделав его динамическим. (Зато, какие открылись возможности!) Разломали такую древнюю реликвию, как принцип относительности и понятие об инерциальных системах отсчета. (Хотя еще до нас это место в физике многим казалось темным...) И вообще набросали немало камней в «огород» всех современных научных представлений. Так «нахулиганить» не посмел бы даже великий Галилей! Конечно, она вертится, но надо же и меру знать! Похоже, что наказание просто неминуемо.

Впрочем, пока об этом лучше не думать. Ведь мы на пути к новому континенту знаний! И наше путешествие только начинается! Старый мир остался позади. С его давлением и границами. Догмами, предрассудками и заблуждениями. Вокруг только стихия — океан и ветер, солнце и звезды, брызги волн, скрип мачты, крики чаек. Необыкновенное чувство свободы! И полета мысли. Ведь мы уже достаточно отплыли от берега, чтобы все это ощутить. Здесь мы наедине с собой, наедине с природой. И мы хотим лучше понять и то и другое.

Есть ощущение, что это путешествие изменит нас. Ведь новый материк — не игрушка. Новые явления, новые знания, новые возможности, новые опасности. И океан — не шутка, и стихия — не ручная. Все это не проходит бесследно. Какими мы вернемся? Что нас ждет дома? Как нас встретят? И нужны ли мы будем там, когда вернемся? А сможем ли вообще пройти этот путь? И следовало ли уплывать?

Теперь уже поздно думать об этом. А потому и не нужно. У нас есть возможность совершить в своей жизни что-то особенное. Что-то понять. Чего-то достичь. Познать себя, познать Мир, найти ответы на многие вопросы, о которых наши предшественники могли только мечтать. Возможно, стать лучше. Или сделать лучше Мир вокруг нас. Ради этого стоит идти навстречу трудностям, стоит нести риск. Это лучше, чем помереть от разгула, пьянки, болезней или скуки. Это лучше, чем разменять свою жизнь на суету.

Какая разница, как нас встретят, когда мы вернемся? Важно то, что сейчас мы свободны, мы на пути к новому Миру! Поэтому мы обрубали канаты на нашем корабле, когда пустились в этот путь. А теперь нам надо обрубить канаты, удерживающие наш разум в рамках ортодоксальных стереотипов. И мы готовы это сделать. Благодаря следующему обстоятельству.

Рассмотрение движения заряженных частиц привело нас к понятию полевой инертности. При наличии некоего взаимодействия, например кулоновского (или гравитационного), к обычной классической массе частицы  $m$  добавляется некая поправка  $\mu$ . Если мы опишем взаимодействие частицы с внешним полем потенциальной энергией  $W$ , то величина этой поправки равна:

$$\mu = -\frac{W}{c^2} \quad (1.13.1)$$

Природа полевой инертности состоит в том, что дополнительное взаимодействие приводит к возникновению полевой связи между заряженными частицами. Это затрудняет изменение характера движения каждой частицы. Больше время, необходимое на изменение их скорости, как раз и отражается в увеличении инертности — росте массы.

Такой взгляд на массу соответствует даже нашему интуитивному представлению об инертности. Например, мы говорим, что молодой человек «легок на подъем», потому что его ничего не связывает. Он может легко сменить работу или род деятельности. За день принять решение уехать в другой город или даже другую страну. Но по мере появления в его жизни различных связей он становится более инертным. Появляются семья и дети. Идет карьерный рост, становятся важными его репутация и статус. Возникают традиции и стереотипы мышления.

Чем больше связывающих обстоятельств, тем сложнее человеку что-то изменить в своей жизни. Можно сказать, что его инертность растет. Впрочем, она может снова уменьшиться, если пропадут какие-то связывающие обстоятельства. Вырастут дети и перестанут нуждаться в ежедневной заботе. Финансовое положение позволит больше не ходить на работу. Или рухнут прежние стереотипы, и появится тяга к новым знаниям и свершениям. Тогда человек сможет легче предпринимать какие-то изменения в своей жизни. Начать путешествовать, увлечься новым хобби или посвятить себя какому-то значимому делу. Как всегда бывает, многое зависит от самого человека.

Кажется, что все хорошо в нашем новом понятии массы. Но оно поднимает один закономерный вопрос. Является ли природа обычной классической массы такой же, как и природа полевой массы? Или существует два принципиально разных типа масс — неизменная «врожденная» классическая масса  $m$  и динамическая полевая масса  $\mu$ ?

Если классическая масса имеет такую же природу, как и полевая масса, то какое взаимодействие обуславливает ее наличие? Что это за потенциал  $W$ , который определял бы классические массы всех тел? И ответ на этот вопрос чрезвычайно прост, как и все гениальное! Чтобы его найти, надо

отвлечься от нашего привычного локального восприятия Мира, и сидя на свежем воздухе под ночным небом, поднять голову вверх, к звездам.

Там находится ответ на вопрос о природе классической массы тел. Земля, Солнечная система и все окружающие нас объекты находятся в сильнейшем гравитационном поле. Поле, которое по интенсивности превышает все локальные гравитационные поля, созданные Землей или Солнцем, а также все иные локальные земные взаимодействия. Поле, которое мы не ощущаем благодаря тому, что Земля и Солнечная система движутся в нем как единое целое. Это гравитационное поле нашей Галактики. Совокупное гравитационное поле всех объектов во Вселенной. Мы назовем взаимодействие с этим полем глобальным взаимодействием.

Что все это означает? Лишь то, что пути назад теперь уже точно нет. Мы говорим не о малых полевых добавках к массе, величинах второго порядка, которые, возможно, что-то там поправляют в электродинамике или теории относительности. Мы говорим о том, что вся известная нам масса имеет динамическую полевую природу. неизменной классической массы просто не существует!

Со времен Ньютона сформировалось представление, что каждое материальное тело обладает внутренней «врожденной» характеристикой – массой. Мерой количества материи, содержащейся в нем. Теория относительности добавила к этому представлению довесок к массе тела в виде вложенной в тело энергии. Но масса по-прежнему осталась внутренним свойством каждого объекта. Как классическая, так и современная физика может взять в рассмотрение изолированный объект и приписать ему некую массу  $m$ , зависящую только от самого объекта.

В полевой физике масса не является внутренним свойством каждого тела. Масса может появиться только у пары взаимодействующих тел. Отдельная изолированная частица вообще не обладает массой! Ее масса возникает только тогда, когда появляется вторая частица, и они начинают взаимодействовать. В результате такого взаимодействия каждая частица приобретает определенную массу.

Любое тело, которое мы берем в руки, обладает массой только благодаря тому, что существует вся остальная Вселенная! Мы сами существуем в том виде, в котором себя знаем, только потому, что мы – часть Вселенной. Каждая частица нашего собственного тела имеет нужную массу только потому, что наша Вселенная имеет нужный размер, количество вещества и его конфигурацию! Ведь если бы вещества в Мире было бы больше или оно находилось бы ближе друг к другу и к нам, то все массы тел на Земле тоже были бы намного больше. Или, соответственно, намного меньше, если все было бы наоборот.

Масса золотого слитка по мере приближения к центру Галактики заметно возрастает! А на ее окраине – падает. Причем не на малую долю процента, а в разы, на целые порядки. В тысячи, миллионы раз! У нас золото имеет известную массу только потому, что все объекты в космосе находятся на своих местах. Причем они не стоят на одном месте, а совершают нужное циклическое движение, поддерживающее динамическое равновесие системы. А Земля находится на отведенном ей месте, где становится возможным образование сложных структур материи и даже жизни. Разумной жизни, способной рассуждать обо всем этом. Разумной жизни, которой придется сильно постараться, чтобы после всего этого спасти свою теорию эволюции.

Наше понимание природы массы обнаруживает глубокую взаимосвязь всех объектов во Вселенной. Воистину потрясающая гармония столь масштабной Системы! Каждая песчинка есть часть Вселенной и несет на себе ее отпечаток. И влияет своим существованием на все другие объекты. В полевой физике просто не существует понятия изолированного объекта. Как его не существует и в природе. Изолированное тело, наделенное «врожденными» характеристиками вроде массы – еще одна иллюзия современной физики, призывающая изучать несуществующее.

*Природа классической массы является динамической, полностью аналогичной природе полевой массы. Она состоит в том, что каждый объект на Земле и в космосе участвует во взаимодействии с коллективным гравитационным полем Вселенной, которое вносит основной вклад в инертность объекта.*

*Взаимодействие всех объектов с гравитационным полем Вселенной мы назовем глобальным взаимодействием.*

Понимание природы массы сразу же дает ответы на целую серию вопросов, относимых современной наукой к классу непознаваемых. Например, почему массы всех окружающих нас объектов положительны и мы не встречаем в повседневной жизни объектов с отрицательной массой? Ответ очевиден, если записать формулу для классической массы любого тела:

$$m = -\frac{W_g}{c^2} \quad (1.13.2)$$

где величина  $W_g$  обозначает потенциальную энергию взаимодействия данного тела с гравитационным полем Вселенной.

Как известно, силы гравитации являются силами притяжения. А потенциальная энергия притягивающихся объектов всегда отрицательна:

$$W_g < 0 \quad (1.13.3)$$

А следовательно, масса любого классического объекта положительна!

$$m > 0 \quad (1.13.4)$$

А может ли масса стать отрицательной? Судя по нашей логике – да, если добавка к обычной массе, вызванная неким локальным взаимодействием, например электрическим, будет отрицательна и больше по величине, чем классическая масса! На языке современной физики это означает, что энергия локального взаимодействия должна превысить энергию массы покоя. Такие условия реализуемы на современных ускорителях элементарных частиц, причем именно за этим порогом энергии начинается крайне странное и интересное поведение, о чем мы уже упоминали.

А почему создается впечатление, что все привычные нам тела имеют как бы неизменную «врожденную» массу, которую можно трактовать как меру количества материи? Ответ на этот вопрос также очевиден. Масштабы Земли и даже Солнечной системы столь малы по сравнению с масштабами Вселенной, что потенциал глобального взаимодействия  $\Phi_g$  в окрестности Земли с хорошей точностью можно считать постоянным. А значит, является постоянной и потенциальная энергия  $(W_g)_k$  взаимодействия с глобальным полем каждого отдельного  $k$ -ого тела:

$$\begin{aligned} \text{Для любого } k\text{-ого тела } (W_g)_k = \text{const} \\ \text{(в пределах Солнечной системы)} \end{aligned} \quad (1.13.5)$$

Вот почему несмотря на то, что масса имеет динамическую природу, во всех земных явлениях она ведет себя как постоянная величина! Создается иллюзия, что это неизменное «врожденное» свойство самого материального объекта, а не результат внешнего влияния. Массы всех тел на Земле постепенно менялись бы, если бы Солнечная система испытывала падение к скоплению гравитирующих объектов, например, к центру нашей Галактики, или же, напротив, удалялась бы от них. Вот как тесно происходящее на Земле зависит от динамики всей остальной Вселенной! Этот интереснейший вопрос мы подробно обсудим в последней главе, когда начнем лучше понимать полевую физику и приобретем необходимые навыки в полевой механике.

А в завершение этой темы следует отметить еще одно немаловажное обстоятельство. Не потому, что изложенных здесь идей кажется мало. Скорее наоборот. Просто без него картина будет не совсем полной. Речь идет вот о чем.



Во всех написанных выше формулах и в выражении для динамической массы имеется ввиду инертная масса тел  $m_i$ . Это величина, входящая во второй закон Ньютона:

$$\mathbf{F} = m_i \mathbf{a} \quad (1.13.6)$$

и определяющая изменение скорости тела под действием внешней силы.

Отдельно следует выделить так называемую гравитационную массу  $m_g$ , несущую смысл гравитационного заряда и входящую в формулу закона всемирного тяготения:

$$\mathbf{F} = G \frac{m_g M_g}{R^3} \mathbf{R} \quad (1.13.7)$$

Здесь  $M_g$  – гравитационная масса другого объекта,  $G$  – гравитационная постоянная,  $R$  – расстояние между телами.

Таким образом, согласно формуле полевой массы, инертная масса  $m_i$  любого объекта определяется потенциальной энергией  $W_g$  его взаимодействия с гравитационным полем Вселенной. А потенциальная энергия, в свою очередь, есть произведение гравитационной массы  $m_g$  этого же объекта на потенциал глобального поля  $\varphi_g$  в данной области космоса. В результате инертная масса любого тела на Земле оказывается пропорциональной его гравитационному заряду!

$$m_i = -\frac{W_g}{c^2} = -\frac{m_g \varphi_g}{c^2} = k \cdot m_g \quad (1.13.8)$$

Здесь буквой  $k$  обозначен коэффициент пропорциональности между двумя типами масс. В этом и состоит природа принципа эквивалентности, наблюдаемого в земных условиях.

*Для всех объектов на Земле создается видимость равенства инертной и гравитационной масс. Это происходит благодаря тому, что инертные массы всех объектов на Земле определяются взаимодействием с гравитационным полем Вселенной, а величина этого взаимодействия – гравитационной массой данного объекта. В результате возникает пропорциональность между двумя типами масс, которая при должном выборе констант может быть обращена в равенство.*

Следует ли теперь говорить о хрупкости этого прежде фундаментального принципа! Внесение любого дополнительного взаимодействия, на-

пример электрического, которое добавляет к инертной массе тела негравитационную компоненту, напрочь разрушает всякое равенство и даже пропорциональность! Более того, в других областях космоса величина потенциала глобального поля  $\Phi_g$  иная! А значит, и соотношение между инертной и гравитационной массами одного и того же тела в других частях Галактики уже не такое, как на Земле. Получается, что принцип эквивалентности является еще одним локальным правилом, несправедливо возведенным в ранг фундаментального принципа. Еще одной иллюзией.

Также становится понятно, почему все земные эксперименты по проверке принципа эквивалентности оказались столь успешными. Изменить соотношение масс может только наличие внешнего поля. Однако внешнее поле приводит также к действию дополнительных сил, от которых в подобных экспериментах так пытаются оградиться. И на этом круг замкнулся!

Борясь с исключением внешних сил, экспериментаторы автоматически исключают всякую возможность регистрации отклонения от равенства двух типов масс. Чтобы его зарегистрировать, надо принципиально изменить схему эксперимента, сбалансировав силы, но оставив влияние внешнего поля на массу. Такой эксперимент выглядит более сложным, хотя он принципиально возможен. Впрочем, прийти к необходимости его проведения без понимания природы массы практически нереально. Поэтому сохраняется устойчивое мнение о хорошем согласии принципа эквивалентности с экспериментом.

Все вышесказанное можно продолжать и развивать бесконечно. Впрочем, впереди у нас есть еще семь глав и это — далеко не предел. Но уже на данном этапе становится понятно главное. Мы имеем дело не с дополнением или улучшением существующих теорий и представлений. Мы не собираемся положить еще пару кирпичей на мансарде здания современной науки или подлатать его крышу.

Мы собираемся построить новое здание. Заложить новый фундамент. Создать новую физику. Создать новую науку. Науку, свободную от догм и противоречий, парадоксов и иллюзий. Здание современной физики стало давать трещины еще на рубеже XIX—XX веков. Ему потребовался капитальный ремонт. Теория относительности залатала «дыры» больших скоростей и расстояний. Квантовая механика заделала «щели» микромира. Здание простояло еще целый век. Но изрядно искривилось и покосилось, похлеще Пизанской башни. И надстройки следующих этажей его фундамент и стены уже просто не выдержат.

Полевая физика не является развитием физических представлений в область больших или малых масштабов, как релятивистская или кван-

товая теории. Появление этих концепций можно было трактовать как соответствующее расширение бытовавших взглядов, при котором основные физические принципы сохранили свое значение. А классическая физика осталась базовой системой представлений об устройстве Мира, создавая видимость правильного описания всего множества повседневных явлений.

Полевая физика, напротив, в корне меняет самые базовые понятия, созданные еще Галилеем и Ньютоном на заре развития науки. Меняет восприятие даже наиболее знакомых из повседневной жизни явлений и процессов. Меняет взгляд на Мирозданье в целом. Это не расширение или усовершенствование классической или современной физики. Это ее полная замена новыми, более совершенными представлениями. Замена старой физики, построенной на локальном восприятии Мира, явлений и процессов, новой физикой, в которой все происходящее является отражением единого устройства Вселенной и несет на себе ее отпечаток. Физикой глобального описания Мира как целостной и разумно сконструированной Системы.

Это настоящая революция! Революция в науке. Революция в сознании, мышлении, мировоззрении. Массы тел приобрели совершенно иной смысл – они стали динамическими. Их можно менять на целые порядки, ими можно управлять! Рухнул «фундаментальный» принцип эквивалентности и все построенные на нем космологические модели, представления о спонтанном происхождении и эволюции нашей Вселенной. Не стало инерциальных систем отсчета и принципа относительности, не говоря уже обо всех построенных на нем теориях. Пространство и время снова стали евклидовыми. Потому что эти два понятия – лишь способ описания процессов, своеобразный язык. И сами физические процессы не могут оказывать на них никакого влияния.

Приобрело новый смысл понятие полевой среды, меняющее всю современную теорию поля, включая взгляд на элементарные частицы и квантовые эффекты. Это влечет за собой изменение всех уравнений движения, пересмотр множества их решений и следствий. Нет ни одной области современной физики, которая не претерпела бы заметных изменений в рамках полевой физики.

Впрочем, мы не собираемся ломать старое здание науки, как и делать еще один его капитальный ремонт. Мы собираемся оставить его в покое. Как важный исторический памятник. Мы намерены построить новое здание. На много этажей выше прежнего. Более современное, более совершенное, более перспективное. Чтобы каждый мог увидеть его сам. И сравнить с прежним. А после сделать свой выбор между новым и старым.

И мы верим, что время все расставит по своим местам.

## Глава II

# Полевая среда и природа зарядов

*Смотрите не на видимое, а на невидимое,  
ибо видимое – временно, а невидимое – вечно.  
Священное Писание*

### **2.1. Поля математические и физические**

«Я знал, что между пониманием явлений Фарадеем и концепцией математиков предполагалось наличие такой разницы, что ни тот ни другие не были удовлетворены языком друг друга... Так, например, Фарадей видел силовые линии, пронизывающие все пространство, там, где математики видели центры сил, притягивающих на расстоянии. Фарадей видел среду там, где они не видели ничего кроме расстояния. Фарадей предполагал источник и причину явлений в реальных действиях, протекающих в среде, они же были удовлетворены тем, что нашли их в силе действия на расстоянии, приписанной электрическим флюидам»<sup>1</sup>.

Это слова Максвелла – основоположника классической электродинамики – написанные им в предисловии к известному трактату об электричестве и магнетизме. Они обнаруживают то забытое обстоятельство, что в идеологическом смысле в XIX столетии существовали как минимум две ведущие электромагнитные концепции.

Первая – электродинамика Фарадея-Максвелла, сформировавшая фундамент нашего понимания электромагнетизма. Ее основой послужило представление об электромагнитном поле как о реальной физической субстанции – своеобразной среде, динамика которой определяет действие всех сил между заряженными частицами. По сути именно эта концепция и стала ключом к бурному и успешному развитию электродинамики в XIX веке. И была незаслуженно забыта после, по мере развития математического формализма электродинамики.

Вторая концепция и есть тот самый математический формализм, который во многом составляет предмет современной электродинамики. В этом понимании поле – заданная в пространстве математическая функция и не более того. Такой подход позволяет упростить решение многих прикладных задач благодаря тому, что влияние множества источников на исследуемое тело заменяется всего одной цифрой – напряженностью

<sup>1</sup> Максвелл Дж. К. Избранные сочинения по теории и электромагнитного поля. М., 1952. С. 349.

поля в данной точке, которая, в свою очередь, определяет конечную силу. Но одновременно с этим исчезает понимание природы электромагнитных процессов и наглядность их внутренних механизмов.

Никто не отрицает, что математический формализм электродинамики вообще не смог бы получить сколько-нибудь заметного развития без физических моделей Фарадея и Максвелла. Однако принято считать, что эти модели представляют собой не более чем «строительные леса», которые становятся более ненужными, когда уже получен весь набор необходимых базовых формул. С таким взглядом смиряется даже один из нестандартно мыслящих ученых и преподавателей нашего времени Ричард Фейнман. В его известных лекциях по физике мы встречаем слова: «Лучше всего пользоваться абстрактным представлением о поле. Жаль, конечно, что оно абстрактно, но ничего не поделаешь. Попытки представить электрическое поле как движение каких-то зубчатых колесиков или с помощью силовых линий или как напряжения в каких-то материалах потребовали от физиков больше усилий, чем понадобилось бы для того, чтобы просто получить правильные ответы на задачи электродинамики»<sup>2</sup>. В этом и состоит суть любого формализма. Главное — любой ценой получить нужные формулы, пусть даже мы и не понимаем, почему они работают и какова истинная природа процессов, стоящих за этими формулами.

Вообще говоря, у каждого подхода есть свои достоинства и недостатки. Математический метод более удобен для инженеров и практиков, когда стоит задача реализации имеющихся представлений в какой-то прикладной области и требуется проведение громоздких расчетов. Но при этом никто не ожидает одновременного расширения самих базовых физических представлений. В этом случае идейную подоплеку используемых формул действительно можно не вспоминать. Однако если целиком заикнуться только на математическом формализме, то это означает конец дальнейшего качественного развития данной области физического знания.

Именно это и случилось. В силу бурного развития прикладной сферы электромагнетизма к концу XIX века преобладающей стала именно математическая концепция. В то время как Фарадеем и Максвеллом была решена только часть принципиальных вопросов электродинамики. Оставались не до конца исследованными взаимодействия движущихся зарядов и проблема относительности, не говоря уже об электрических и магнитных явлениях в атомных и ядерных процессах, включая квантовые эффекты, которые были открыты только в XX веке. А основной

---

<sup>2</sup> Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1966. Т. 5. Электричество и магнетизм. С. 25.

ключ к пониманию механизмов этих явлений, связанный с представлениями о реальной полевой среде и ее динамике, к тому времени был уже утерян. Тот самый ключ, который позволил основоположникам понять природу электромагнитных эффектов, и мог бы поспособствовать дальнейшему развитию и расширению адекватного понимания этой сферы знаний по мере открытия новых явлений.

По этой причине дальнейшее развитие физики и теории поля приобрело черты математического формализма. Большинство основ релятивизма и квантовой теории до сих пор не имеет наглядного качественного описания. Отсутствует понимание природы и механизмов протекания процессов. В современном физическом мировоззрении все это вообще приобрело статус непознаваемого. А физика свелась к формальному описанию явлений на языке «было – стало». Это особенно характерно для квантовой физики.

Различные исследователи и историки по-разному интерпретируют эти события. К тому же никто точно не знает всех деталей развития физики в те времена. Мы не можем с уверенностью сказать, как именно мыслили себе поля Фарадей и Максвелл, а как – представители математической школы, и что в итоге привело к образованию современной научной парадигмы.

Но тем не менее, у нас есть теперь существенное преимущество перед всеми остальными исследователями. Это новые результаты, полученные нами в первой главе, пусть они и являются пока еще довольно «сырыми». Однако благодаря им нам уже удалось существенно расширить понимание электромагнитных сил. Можно сказать, что мы теперь владеем не только традиционным подходом к электромагнетизму, построенном на формализме математических полей, но и смогли еще немного проникнуться мышлением Фарадея-Максвелла, основанном на представлениях о реальности физической полевой среды. Конечно, они не рассматривали электромагнитные силы как силы инерции и не владели представлениями о предпочтительных системах отсчета и полевой массе, но суть метода исследования полей мы переняли у них.

И вот какие выводы мы можем сделать. Возможности любого математического формализма ограничены. Из него нельзя получить больше, чем в него заложено. Подобно тому, как нельзя объяснить новые понятия на том языке, в котором нет для этого нужных слов. Сначала понятия должны сформироваться на некоем интуитивном уровне, как правило, путем аналогий и моделей, а только потом это выльется в соответствующие слова, которыми можно будет дальше изъясняться.

В этом состоит основная слабость математического метода. Он подобен гоночному автомобилю, который позволяет быстро преодолевать боль-

шие расстояния, но только там, где уже проложена дорога. Однако он оказывается абсолютно бесполезным в тех местах, где дорог еще нет. Езда на нем создает ложное ощущение, что Мир состоит только из тех областей, где существуют дороги, или вообще, только из одних дорог! А за их пределами как будто бы ничего нет.

Именно такое ощущение знакомо любому современному физику. Кажется, что там, где можно было «проехать», уже давно «проехали» до нас. А больше открывать в рамках современной научной парадигмы вроде как и нечего, и негде себя реализовать. Хотя, с другой стороны, в Мире осталось еще очень много загадок — мы видим их с дороги, но как подъехать к ним на нашей машине — совершенно непонятно. В рамках проложенной трассы можно побороться лишь за то, чтобы проехать тот или иной отрезок на несколько секунд быстрее, увеличив точность уже известных экспериментов или решив известное уравнение с более точной поправкой. Но выехать на гоночной машине за пределы трассы и обнаружить новую достопримечательность, еще не указанную на карте, никак не получается. Потому что для этого нужна совсем другая машина!

Да, для того, чтобы исследовать новые местности и прокатать туда дорогу, нужен внедорожник. И наивно было бы полагать, что после постройки отрезка автострады он нам больше не понадобится! Конечно, он большой и неповоротливый. На нем не обгонишь гоночные машины на трассе. И будет неудобно в городе, где машин хватает и без нас. Он требует больше топлива и усилий в управлении. После поездок по бездорожью он всегда весь грязный и имеет неприглядный вид. Но это именно та машина, без которой настоящему исследователю просто не обойтись. Пересев навсегда на гоночный автомобиль, человек перестает быть исследователем. Он движется быстро, но это — движение по течению. Также как физик перестает быть физиком, чрезмерно увлекшись математическим формализмом.

Физическим «внедорожником» является как раз тот самый образ мышления, который присутствовал у Фарадея и Максвелла. Его можно найти также у Галилея и Ньютона и у многих других великих ученых. Нельзя дать точное определение того, что же есть физическое мышление. Скорее, это можно показать на примерах.

Физическое мышление появляется тогда, когда, наблюдая за явлениями и процессами, исследователь начинает моделировать возможный внутренний механизм, стоящий за видимым положением вещей. Начинает искать аналогии, пытается «на пальцах» представить себе последовательность действий или «шагов», которые приводят к данному явлению. Строит ту или иную модель. Конечно, модель может получиться

неточной, аналогия — не идеальной, а механизм — условным. Но именно в этом и состоит физика!

Это и есть то самое иное измерение в науке, о котором мы говорили в предисловии. Эксперимент может позволить двигаться только «вширь» — заметил, измерил, описал. Со временем измерил точнее. Вывел эмпирическую зависимость. Описал большее количество процессов. Но не более того. Именно процесс построения и усовершенствования моделей является путем углубления нашего понимания устройства Мира, выявления потаенных связей между явлениями. Он позволяет понять, как формируются те величины, которые мы измеряем в эксперименте. Говоря языком программирования — это путь выявления базового «движка», на котором построен наш Мир. Его, как правило, нельзя увидеть или измерить напрямую, в эксперименте, а можно «вычислить» только дедуктивным логическим способом.

А еще мы можем отметить то, что физическим мышлением не является. Прежде всего это абстрактные математические манипуляции, цель которых состоит в получении новых «физических» результатов без новых идей путем комбинации выражений или усложнения математического аппарата. Физическим мышлением не является путь угадывания результата или подгонки формул без понимания внутренних механизмов и природы процессов.

Например, истинным физическим инструментом нельзя считать такой формальный математический метод, как принцип наименьшего действия. Этот метод, по сути, сводится к попытке получения новых уравнений движения или новых уравнений поля путем выдумывания очередного варианта лагранжиана. Он опирается лишь на общие предпосылки вроде требования релятивистской инвариантности или соображения симметрии и сводится фактически к простому перебору вариантов. Этот популярный ныне принцип служит ярким примером подхода, когда мы пытаемся «что-то» посчитать, даже не заботясь о том, чем является это «что-то».

Подобными псевдофизическими приемами можно считать использование всевозможных геометрических моделей, наращивание количества пространственных измерений, изобретение виртуальных частиц и полей, наделение математических операторов физическими свойствами, создание множества формальных законов сохранения для абстрактных величин, вроде «цветов», «запахов» или новых «зарядов» частиц, не связанных с реальными физическими полями, а также использование иного схожего «шаманства». Все это не более чем самообман, не позволяющий получить от математических трюков и абстрактных приемов больше, чем заложено в аксиоматическую базу того или иного математичес-



кого формализма. В процессе нашего путешествия мы еще не раз столкнемся с пагубными последствиями подобных методов.

Именно процесс построения физических моделей, обладающих свойствами наглядности и схожести с реальностью, содержит в себе тот необходимый элемент перехода к качественно новым результатам, которого лишен математический формализм. Хотя бы благодаря элементарной фантазии и воображению ученого, пусть это и упрощенный взгляд на метод. Ведь даже сама математика — идеал научной строгости — суть плод такой же фантазии ученых, набор своеобразных моделей, построенных на основании виденья мира в сознании того или иного человека. Например, Евклид видел мир прямым и идеальным. В нем он проводил параллельные прямые, которые никогда не пересекаются. И заложил определенный набор аксиом, формализующих его виденье мира. Однако даже в этом прямом и идеальном мире оказалась возможной не только прямоугольная система ориентиров, но и цилиндрическая или сферическая системы координат. Хотя они и криволинейные, но тоже возможные.

А спустя много веков после Евклида Лобачевский смог помыслить некое явно ненормальное пространство. Пространство кривое само по себе, в котором у каждой прямой может быть сколь угодно много параллельных прямых, а сумма углов треугольника оказывается меньше  $180^\circ$ . И не только он. Спустя некоторое время Риман придумал нечто подобное, только в его мире параллельные прямые могли пересекаться, а сумма углов треугольника стала, наоборот, больше  $180^\circ$ . Не успело пройти недоумение, как Эйнштейн с коллегами поспешили построить на основании этой геометрии свою картину мира. И хотя им казалось, что они руководствуются абсолютно строгими математическими законами, все эти «строгие» привила и их свойства есть не что иное, как следствие фантазии создателей данной геометрии. Не более чем результат аксиом, положенных в ее основу, которые показались логичными и справедливыми тому или иному математику. Геометрия суть тоже своеобразная модель, но модель в большинстве случаев абстрактная, не привязанная к какому-то конкретному физическому механизму, процессу или аналогии.

Фарадей с Максвеллом, напротив, строили модель достаточно реалистичную, основанную на конкретных физических процессах и их свойствах. Ведь если частицы «чувствуют» друг друга на расстоянии, значит, их что-то связывает. Что-то невидимое, неосозаемое, но оно есть! Некая нематериальная среда. Возможно, что-то вроде жидкости или нечто похожее на нее, но не состоящее из материальных частиц — молекул или атомов. Это электромагнитное поле или полевая среда. Аналогия с жидкостью, конечно, грубая, но она позволяет выявить и наглядно предста-

вить характер поведения этой среды. Подобно жидкости она как-то движется, меняются ее количественные характеристики. Это приводит к изменению положений материальных объектов — заряженных тел — их притяжению или отталкиванию, которое мы и регистрируем в экспериментах. Но всем управляет та самая невидимая субстанция. Ее движение можно постараться представить в виде силовых линий. И это только одна из возможностей. Их поток можно описать дивергенцией, подобно потоку воды в трубе. А вращение — циркуляцией, вихрем, как вращение воды в воронке. Потом связать эти характеристики между собой, опять же благодаря логике, аналогиям и экспериментам, воплощенным в физическом мышлении.

Похоже, что примерно так и вошли в электродинамику хорошо известные сегодня комбинации производных. Уравнения поля приобрели вид, связанный с определением истечения и вращения поля — дивергенции и ротора для электрической и магнитной составляющей. Появились представления о волнах в полевой среде и волновое уравнение. И многое другое. Возможно, эта модель не самая идеальная, и ее можно критиковать, но это настоящая физическая модель! Она есть, и она конструктивна. Она наглядна и позволяет понимать природу явлений, видеть определенный механизм того, как все происходит. Хотя для этого, конечно, нужно иметь некоторое воображение. И прилагать усилия.

Наверное, не всем такой подход придется по душе. Он связан с постоянным подсознательным ощущением причин происходящего. А люди не очень-то склонны постоянно думать о причинах. Даже совершая поступки в нашей повседневной жизни, большинство людей часто делает их автоматически, как бы на «автопилоте», «не забывая себе голову». А для этого нужен минимум четких правил — традиции и нормы. Или минимальный набор простых и коротких формул. Та самая «автострада», по которой можно «нести сломя голову», не думая каждый раз над поворотами, перекрестками и направлением движения. Другими словами, езда на внедорожнике по новой местности — занятие трудное и неблагодарное. Оно — не для всех.

Посетовав на то, что с современной научной автострады не так-то легко съехать, мы забываем про то, что сами очень жаждали ее появления. Как радуется каждый раз ученый, когда ему удастся написать короткую формулу после длительных размышлений и расчетов. Казалось бы, теперь эту формулу надо повесить в рамке на стену и беречь, как реликвию. Ведь чтобы получить заветный результат, достаточно только подставить в нее конкретные цифры! А все поиски забыть как страшный сон! И не дай бог, еще раз все заново вспоминать и пересчитывать.

В этом и состоит порочность человеческого существа. Мы не умеем видеть красоту природы, красоту устройства Мира. Красоту всей сложно-

сти и гениальности переплетения нитей в механизме Мироздания. Мы понимаем только красоту яркой картинки и не более того. И набор коротких формул для нас — тоже своеобразная красивая картинка. И мы не видим далее собственного носа, иначе мы не восхищались бы короткими формулами. Мы восхищались бы пониманием механизмов тех процессов, которые стоят за этими формулами. И наша физика сводилась бы к поиску и осознанию именно этих механизмов, а не к получению новых формул, нужных для расчета очередной прикладной задачи. Ведь все формулы вообще можно забыть! Мы всегда, когда это будет нужно, получим их снова, если будем владеть правильным мировоззрением и пониманием того, как устроен наш Мир. Как когда-то их смогли получить основоположники физики. Как они были получены при написании этой книги.

Пожалуй, прежде чем двинуться дальше и начать построение полевой физики, следует упомянуть еще одно обстоятельство, без которого наше эссе о Фарадее и Максвелле было бы неполным. Дело в том, что представление о реальности физического поля, которым пользовались основоположники электромагнетизма, совсем не вписывалось в материалистическую картину Мироздания, набиравшую силу в то время. Физике, как точной науке, отводилась роль создания картины Мира, в которой все материально, осязаемо и вычисляемо, где не оставалось бы места для тонких материй и мистики. Наука становилась религией нового времени — религией материализма, и все должно было быть вписано в ее философию. Богами этой новой религии негласно стали такие понятия, как Природа — создатель всего и вся, Случай — причина всех причин и изменений и Эволюция — цепочка удачных случайностей. Это своеобразные ответы на все вопросы «Как?», «Почему?» и «Зачем?». Единые для объяснения бытия и сущности как Вселенной в целом, так и биологической жизни, человека и человеческого общества.

И вот электромагнетизм со своим понятием реального невидимого поля совершенно не вписывался в эту философию. Другое дело — гравитация. Еще со времен Ньютона существовал универсальный закон всемирного тяготения, вообще не требующий понятия поля. Простейшая формула, достойная поклонения. Формула, применимая если не всегда, то почти всегда, и зависящая только от расстояния и масс. Это идеал материалистического мировоззрения. И хотя ньютоновское тяготение все же пришлось поправить, идейная суть от этого не изменилась. С материалистической точки зрения пространство и даже его искривление, влияющее на физические процессы, не вызывает аллергии. В отличие от неосязаемых полей. И сколько было потрачено усилий, чтобы привести электромагнетизм к этой же схеме!

Но с электричеством все получалось совсем не так, как надо. Развитие идей Фарадея-Максвелла так или иначе приводило к представлению о том, что наш материальный мир вовсе не основа всех основ. Он – лишь видимое отражение чего-то большего. Того, что лежит в основе Мироздания и определяет видимое поведение материальных объектов. И чтобы понять природу вещей, надо изучать именно это невидимое – физическое поле, которое приводит к существенному изменению всех взглядов.

Возможно, по этой причине большинство физиков эпохи Фарадея-Максвелла с неохотой воспринимали их подход. Они старались отгородиться от полевой среды математическим формализмом. Существует много попыток написать прямую формулу электромагнитной силы дальнего действия, зависящую только от расстояния (и скорости), подобно закону всемирного тяготения, вообще не привлекая для этого поле. И хотя полностью отстраниться от понятия поля так и не удалось, оно сохранилось в современной физике в большей степени как математический инструмент, заданная в пространстве функция.

Физика становится гораздо интереснее, когда из-за скучных формул и расчетов на свет начинают появляться дополнительные обстоятельства, историческая и философская подоплека, связь с реальной жизнью и мировоззрением. Физика взяла свое начало от обычного житейского опыта и взгляда на вещи, но со временем стала сама эти взгляды формировать. И это – очень важный момент. Наша физика – отражение наших взглядов на Мир, наших ценностей, наших приоритетов, наших целей. Отражение нас самих. Она – вектор развития общества в будущем.

Много усилий было потрачено на создание материалистического мировоззрения, создание материалистической физики. Было сделано много допущений, компромиссов, затушевано много парадоксов. Возможно, это особенно сильно ощущается под давлением наследия материалистической философии советского периода. Но стала ли наша жизнь от этого лучше? Стали ли мы лучше понимать то, как устроен наш Мир? Отнюдь. Современная физика только создала видимость ответов на вопросы, но не дала сами ответы. У нас есть лишь набор формул и «горы» томов с математическими выкладками. Сейчас мы так же далеки от понимания устройства Мира, как и ученые XIX века, даже несмотря на гораздо более высокий экспериментальный и технологический уровень, которого мы достигли. А сама физика погрязла в мистике и иллюзиях, с которыми была призвана бороться.

И самое главное, современная физика не наделила нашу жизнь смыслом. Она не помогла нам понять кто мы такие, откуда пришли и куда идем? И что есть этот Мир, в котором мы живем? Откуда он взялся и для чего существует? Она не создала новых ценностей. Слава, деньги и

карьера — все это осталось основополагающим, как и было в прежние века. Зачастую именно эти ценности руководят самой наукой и людьми. Хотя выдающиеся ученые всех времен, похоже, руководствовались совсем иными ценностями и пытались донести их до нас через свои труды, свою философию и свой пример. Но мы смогли перенять от них только формулы. Поэтому наш Мир такой, какой он есть. Он — отражение нас самих.

## ***2.2. Полевая среда***

Все сказанное выше является необходимым предисловием. Во-первых, для осознания нынешнего состояния физической науки. В современной физике все далеко не так хорошо и красиво, как нам хотелось бы, и как может показаться на первый взгляд. И дело даже не в том, что пока наука смогла открыть далеко не все тайны Мироздания. Гораздо неприятнее то обстоятельство, что в современной научной парадигме не существует способов и путей для перехода на качественно новый уровень понимания устройства Мира. Проблема состоит не в том, что какие-то вещи еще не открыты. Они уже не открыты. Их невозможно найти и понять в рамках современного физического мировоззрения, философии и методологии.

Во-вторых, все сказанное выше призвано пояснить, почему для построения полевой физики избран именно тот путь, который изложен в этой книге. Зачем мы будем строить модели, каждый раз искать наглядное представление новых идей и результатов, пытаться представить себе механизмы протекания процессов. Почему каждый раз мы будем соотносить тот или иной результат с нашим мировоззрением, а не напишем сразу новое уравнение движения, решим его и останемся довольны тем, что вроде бы все совпадает с экспериментом.

Сейчас мы приближаемся к новому научному континенту и нам крайне важно понять его главные особенности. Рассмотреть в подзорную трубу очертания его берегов и понять, где пологий склон, где скалы, где виднеются горные вершины, а где — девственный лес. Где лучше причалить и высадиться на берег, основать лагерь и начать исследование новых земель. И как новый континент соответствует представлениям наших предшественников, которые, хотя и не посещали его, но уже начали догадываться о его существовании.

Итак, начнем с модели. И постараемся ответить на вопрос, почему мы вообще придумали понятие полевой среды? И какой смысл в него заложили?

Мы сделали это потому, что в нашем Мире происходит движение. Движение самое разнообразное. Но если понаблюдать за ним достаточно долго, то станет понятно, что определенные классы объектов имеют склонность к взаимному притяжению или отталкиванию. Мы знаем одно из таких глобальных свойств — тяготение. Другими являются электрические и магнитные взаимодействия, известные еще древним.

На основании повседневного опыта нам вполне привычны и кажутся понятными действия объектов друг на друга посредством контакта (хотя они и не столь просты, как кажется). Но гораздо сильнее нас завораживает действие на расстоянии. Например, выпущенный из рук камень притягивается Землей без всяких видимых причин. Также как сама Земля притягивается Солнцем. Нечто подобное происходит и с натертым янтарем, который притягивает кусочки бумаги, или с магнитом, притягивающим железные опилки. Все эти давно известные явления поднимают один закономерный вопрос — почему?

Мы не будем сейчас долго обсуждать концепции дальнего действия и близкого действия. На этот счет сломано много копий. Сформулируем лишь то, как эта проблематика выглядит с нашей точки зрения. Дальнее действие означало бы, что все объекты как-то связаны друг с другом попарно, безотносительно к другим объектам. Если два объекта как-то взаимодействуют, то любой третий объект не имел бы никакого влияния на это взаимодействие, никак не искажал бы его. Как и все то, что происходит в пространстве между взаимодействующими объектами. Но весь наш опыт подсказывает нам, что это не так.

Мы обнаруживаем в нашем Мире столь тесные и сложные взаимосвязи между объектами, что выделить только парные связи практически невозможно. Если только приближенно. К описанию нашего Мира больше подходит модель, в которой все объекты встроены в некое единое «полотно», где все взаимодействует со всем посредством этого «полотна». И каждый новый объект попадает под влияние всех остальных объектов, а также искажает все взаимосвязи между ними. Это часть нашего мировоззрения, которое мы приобретаем, постепенно познавая Мир. Оно приводит нас к концепции близкого действия.

Что же это за «полотно», связывающее все объекты? Честно будет сказать, что мы до конца не знаем этого. Видимо, подобное «полотно» — некий базовый строительный материал, из которого «соткан» наш Мир. Некая нематериальная сущность, которая стоит за всеми видимыми объектами. Это — полевая среда. Мы верим, что она существует, потому что находясь на расстоянии, различные объекты «чувствуют» друг друга. Они меняют свое положение и характер своего движения, и это определенным образом сказывается на всех остальных удаленных объектах.

Природа не терпит пустоты. Поэтому мы верим, что, несмотря на удаленность объектов, пространство между ними заполняет некая реально существующая среда. Подобно тому, как вода наполняет моря, а воздух составляет атмосферу. Знакомые из повседневного опыта аналогии часто помогают нам представить то, что невозможно увидеть. Наверное, поэтому они нам и даны!

Посредством этой невидимой среды возмущение от одного тела, вызванное его движением, передается другому телу, и наоборот. От одной области среды к соседней, и так далее, «по цепочке». Подобно звукам или морской волне. Вообще волны — очень важное явление. Их возникновение означает наличие среды и непрерывной передачи возмущений из одной малой области пространства в соседнюю. А эксперименты по излучению и регистрации электромагнитных волн усиливают наше представление о реальности полевой среды.

Дополнительным обстоятельством служит эффект запаздывания. Распространение возмущений имеет конечную скорость. Чем дальше объекты друг от друга, тем позже изменения, связанные с одним объектом, ощущаются другим объектом. Это тоже похоже на распространение волн в материальных средах, только скорость распространения в полевой среде гораздо выше. Такое поведение служит подтверждением идеи близкодействия — постепенного и непрерывного распространения возмущения. Другими словами, факт существования запаздывающих волн можно рассматривать как иную форму выражения принципа близкодействия.

Почему мы считаем полевую среду нематериальной сущностью? Потому что она состоит не из материи — молекул, атомов или элементарных частиц. Напротив, как мы увидим дальше, материя формируется из нее. Полевая среда существует даже там, где нет (или почти нет) материи, например, в межзвездном пространстве, обеспечивая, например, гравитационные связи между удаленными космическими телами. Вот почему важно провести разделительную черту на самом начальном этапе. Вопреки материалистическому мировоззрению, не все, что реально существует — материально.

Но, может быть, тогда полевая среда не более чем абстракция? Плод нашего воображения? У нас есть основания полагать, что это не так. Каждый человек изо дня в день ощущает реальность полевой среды всем своим телом благодаря тому, что нечто притягивает его к земной поверхности. Это нечто, называемое тяготением, является следствием конфигурации полевой среды у земной поверхности, что и выражается в появлении силы тяжести. Это подобно тому, как, нырнув в воду, мы ощущаем выталкивающую силу, которая обусловлена разницей давления слоев воды на разной глубине. Сила Архимеда, действующая на на-

ше тело в воде, является наглядным аналогом земного тяготения и позволяет увидеть его действие, связанное с нематериальной полевой средой, на примере обычной осязаемой материальной жидкости. Проще говоря, всю свою жизнь мы «плаваем» в полевой среде, ощущая реальность ее давления в виде силы тяжести, подобно тому, как, купаясь в бассейне, мы ощущаем реальность воды!

Мы можем даже увидеть полевую среду! В буквальном смысле этого слова. Потому что видимый свет есть ни что иное, как волны в полевой среде, подобно волнам на поверхности воды. Все что мы видим, в том числе результаты наших экспериментов и все окружающие нас объекты, мы видим благодаря реальности полевой среды. Наш глаз воспринимает не сами объекты или процессы, которые мы считаем реальными, а их отражения, попадающие в наши органы зрения посредством возмущений полевой среды.

Так что же может быть реальнее полевой среды в свете этого понимания? Вряд ли пси-функция квантовой механики или многомерные геометрические многообразия современных теорий взаимодействий могут посоперничать с полевой средой в степени реальности! Даже абсолютное ньютоново пространство оказывается в этом смысле более абстрактным.

А может ли полевая среда быть просто-напросто пространством? А все ее свойства — свойствами самого пространства? И здесь мы снова проводим разделительную черту. Пространство, как и время, — не более чем способ описания физических явлений. Это всего лишь язык, своеобразные искусственные ориентиры. Оба эти понятия используются для описания физических процессов, но сами физическими свойствами не обладают. Физические процессы никак не могут влиять на пространство или время и наоборот.

Впрочем, мы можем выбрать для описания физических процессов любой язык. В том числе и неевклидову геометрию. Хотя это представляется более сложным и непривычным, как для русского человека говорить на китайском языке. Хотя это не значит, что китайский язык хуже, также как и неевклидова геометрия. Но она объективно сложнее, поэтому мы ограничимся обычным евклидовым пространством.

*Полевая среда составляет основу представлений полевой физики. Она не является абстрактным вспомогательным понятием, а считается реально существующей физической сущностью, лежащей в основе физического Мира. Эта сущность не состоит из атомов, молекул или элементарных частиц, а следовательно, не является материальной. Реальность ее существования следует из наличия взаимосвязей между всеми материальными объектами и их взаимодействий на расстоянии.*



*Не следует отождествлять полевую среду с пространством или временем, которые не являются физическими сущностями, а представляют собой лишь способ описания явлений.*

И на этом пора остановиться. Потому что мы уже сформулировали основы нашей модели полевой среды. Посвятим теперь эту главу обзору того, как ее применять в самых различных физических условиях и какие она дает результаты.

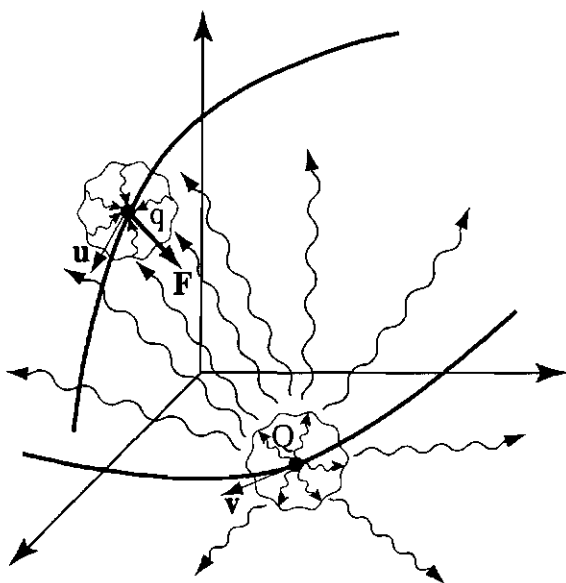
### **2.3. Полевое взаимодействие**

Попробуем описать с помощью нашей модели полевой среды простейшее взаимодействие двух заряженных частиц, совершающих произвольное движение. Принято считать, что частицы просто взаимодействуют и все. А если надо что-то вычислить, то существуют формулы для силы, с которой одна частица действует на другую. Правда, следует отметить, что выражение для этой силы часто оказывается очень непростым и выражается через напряженности полей и потенциалы.

А как все это выглядит с позиций полевой физики? Прежде всего, надо заметить, что сами частицы вообще не взаимодействуют! Модель полевой среды означает, что удаленные объекты не могут взаимодействовать напрямую. Не существует дальнего действия, и сказать, что один заряд действует на другой, просто нельзя. Видимость взаимодействия удаленных заряженных частиц является следствием сложного процесса, протекающего в полевой среде между заряженными частицами.

Мы могли бы представить себе это примерно так (рисунок 2.3.1). Появление частиц изменяет свойства самой полевой среды. Подобно тому, как брошенный в воду мяч приводит к перераспределению воды и вызывает распространение кругов на поверхности. Так же и заряженная частица возмущает окружающую ее полевою среду. И чем сложнее ее движение, тем сильнее это возмущение.

Вызванное одной из частиц возмущение полевой среды начинает распространяться во всех направлениях. Как мы знаем, подобные возмущения распространяются не мгновенно, а с некой конечной скоростью, известной нам как скорость света  $c$ . По аналогии с механическими средами мы можем сказать, что эта величина определяется свойствами самой полевой среды. А значит, до тех пор, пока мы не будем готовы разобраться еще и в структуре полевой среды, скорость распространения возмущений – скорость света – будет являться фундаментальной характеристикой, общей для всех полевых процессов.



**Рисунок 2.3.1.** Каждая частица возмущает полевую среду, это возмущение распространяется в среде в виде волн и, достигая других частиц, меняет характер их движения.

В конце концов возмущение, вызванное одной из частиц, достигает другой частицы. Перераспределение полевой среды в ее окрестности влияет на движение этой частицы и приводит к изменению ее положения и скорости. Это явление интерпретируется нами как действие силы. В логике полевой физики понятие силы является вторичным. Своеобразным упрощением, заменяющим описание сложного процесса в полевой среде.

Таким образом, притяжение или отталкивание частиц являются лишь видимым следствием тех или иных процессов, происходящих в невидимой полевой среде. Именно эти процессы и приводят к регистрируемым в экспериментах сближениям или удалениям частиц. Подобным образом два брошенных в воду мяча со временем могут сближаться или удаляться в зависимости от движения воды, наличия течений, вихрей или других подобных процессов.

*Природа взаимодействия объектов на расстоянии состоит в том, что каждый из них возмущает окружающую полевую среду. Эти возмущения от каждого объекта распространяются в полевой среде и достигают других объектов. Искажения полевой среды в окрестности каждого объекта приводят к изменению характера его движения, которое интерпретируется как действие сил.*

Тот факт, что далеко не каждое взаимодействие можно описать с помощью сил, стал понятен уже давно. Так, в квантовой механике вообще пришлось отказаться от понятия силы. Как впрочем, и от представлений о конкретном местоположении частицы и траектории ее движения. Просто в этом случае поведение полевой среды оказывается значительно сложнее, чем в классических условиях, и не допускает аналогичного формального описания.

Сформулированное нами виденье механизма взаимодействий в полевой среде уже заложило фундамент для понимания квантового поведения. Ведь возмущение полевой среды частицей-источником может быть далеко не столь простым, как возмущение от брошенного в спокойную воду мяча, которое соответствует классическому поведению и характерно для макрообъектов. Возмущение в полевой среде может быть подобно высокой морской волне, водоворотам, вихрям, внутренним течениям, турбулентности и другим подобным удивительным явлениям. Такое поведение оказывается характерным, как правило, для малых частиц.

Это связано с тем, что макрообъекты в большей степени сами определяют динамику полевой среды. А малые частицы, напротив, сильно подвержены влиянию среды. Порой отдельная частица вообще теряется на фоне движения полевой среды, и создается впечатление, что она стала подобна волне, потому что ее движение полностью повторяет движение самой среды. Она становится подобной кидаемому морскими волнами мячу во время шторма. Вот почему физика микромира обнаруживает столь большое количество совершенно необъяснимых и странных эффектов, составляющих предмет квантовой механики.

Впрочем, о естественном появлении в модели полевой среды квантовых эффектов мы поговорим чуть позже. В начале всегда важно разобраться с более простыми случаями и понять, как все работает. Поэтому, держа в уме возможность появления самых сложных процессов в полевой среде, мы пока попробуем смоделировать, напротив, наиболее простое поведение, соответствующее классическому случаю.

#### ***2.4. Классическое поведение или приближение полевых оболочек***

Нечто подобное мы уже делали в первой главе. Тогда мы пытались представить полевую среду, связанную с заряженной частицей, в виде некой сферы, своеобразной полевой оболочки. В этой модели выражена максимальная обособленность взаимодействующих частиц, что характерно для классической физики. Подобная обособленность возможна когда частиц мало и расстояния между ними достаточно велики. А также ве-

личина полевой связи — интенсивность взаимодействий — невелика. В этих условиях вместо описания единой полевой среды, обуславливающей взаимодействия сразу между всеми объектами, мы как бы поделили ее между отдельными телами. В результате каждая частица получила свой «кусочек» полевой среды — свою полевую оболочку.

Такая обособленная полевая оболочка подвержена ограниченной динамике. Она получается «жестко» связанной с частицей, и может совершать движение только вместе с ней или испытывать элементарную деформацию. Но двигаться как-то очень замысловато и обособленно от частицы она не может. Поэтому в данной модели мы не получим неклассических эффектов.

*В условиях небольшого количества взаимодействующих частиц, больших расстояний между ними и слабой величины связи является приемлемой модель полевых оболочек. В этой модели единая полевая среда распадается на независимые полевые оболочки отдельных частиц. Этот случай соответствует классическому поведению.*

Модель полевой оболочки подразумевает еще и следующее обстоятельство. Такая полевая среда должна иметь большую плотность возле самой частицы и уменьшаться по мере удаления от нее. В результате эффект взаимодействия должен спадать с расстоянием. Причем величину этого эффекта можно оценить на основании элементарной геометрии. Если площадь сферы возрастает как квадрат расстояния, то величина интенсивности взаимодействия должна спадать по такому же закону! Впрочем, то обстоятельство, что закон обратных квадратов суть закон геометрии, ученые подмечали уже неоднократно.

Для нас сейчас важен иной аспект этой темы. Форма зависимости силы от расстояния является одинаковой для электричества и гравитации не в силу родства этих явлений. Также как закон Кулона не является законом электрического взаимодействия, а закон всемирного тяготения — законом гравитации. Это суть законы геометрии, причем они — один и тот же закон! И все иные зависимости, которые мы получим исходя из изучения общей динамики полевой среды, будут в равной мере применимы как к электричеству, так и к гравитации.

Раскрытие истинной природы гравитации и электричества состоит не в нахождении зависимости силы от расстояния. Оно заключается в понимании причин возникновения у объектов свойства заряда. А также в выявлении структуры заряда — от каких характеристик и иных обстоятельств зависит это свойство для гравитации, и от каких — для электричества. И это — важнейшие задачи, над которыми стоит поломать голову. Их решение позволит по-настоящему управлять электричеством и гравитацией.

Еще один аспект приближения полевых оболочек состоит в понимании того, что сама зависимость силы от обратного квадрата расстояния, похоже, лишь частный случай как для электрического поля, так и для гравитационного. Она выполняется в классических условиях, пока приближение обособленных сферических полевых оболочек применимо. По мере перехода от приближения полевых оболочек к единой полевой среде зависимость силы от расстояния должна меняться! В одних случаях усиливаться, в других — ослабляться.

Примерно такое поведение и наблюдается в микромире. Известные в современной физике сильное (ядерное) и слабое взаимодействия с позиций полевой физики перестают быть самостоятельными взаимодействиями. Они являются модификациями электрического взаимодействия, причем крайне важно, что эти модификации были бы невозможны без присутствия гравитационной компоненты. Их зависимость от расстояния гораздо сложнее, чем обратный квадрат расстояния, и в разных обстоятельствах может быть различной. Но об этом нам также придется поговорить позже.

*Закон обратных квадратов как для электричества, так и для гравитации является следствием классического приближения полевых оболочек. В условиях сильной связи между частицами вид этой зависимости изменяется. Это приводит к появлению сильных (ядерных) и слабых взаимодействий как модификаций классической гравитации и электричества.*

А пока вернемся к нашему приближению полевых оболочек. В этой модели взаимодействие частиц, пожалуй, наиболее наглядно. При сближении зарядов их полевые оболочки частично перекрываются и деформируются. Подобно тому, как сталкиваются два упругих шарика. А потом отскакивают друг от друга. В результате похожей деформации между полевыми оболочками частиц возникает отталкивание, и это приводит к эффекту разбегания самих частиц. Хотя частицы непосредственно друг с другом не взаимодействуют, а связь происходит через их полевые оболочки.

Но не всегда полевые оболочки вызывают отталкивание. В иных обстоятельствах они могут походить не на упругие шары, а на шарики из ртути или две капли воды на поверхности стола. По мере сближения такие полевые оболочки, напротив, начинают сливаться в одну единую оболочку, подобно тому, как два шарика из ртути сливаются в один большой шар. Такое поведение полевых оболочек приводит к притяжению и слипанию связанных с ними частиц.

Ну а теперь, когда сам механизм взаимодействия в модели полевых оболочек нам более-менее понятен, мы можем перейти к нахождению его количественных характеристик.

## ***2.5. Полевое движение или принцип непрерывности полевой среды***

Динамика полевой среды может быть описана не только на качественном уровне, но и на языке уравнений. Для этого нам необходимо ввести количественную характеристику полевой среды, чтобы можно было использовать понятия больше-меньше и сравнивать полевую среду в одном состоянии с полевой средой в другом состоянии. На интуитивном уровне мы уже подошли к подобному понятию — плотности полевой среды. Подобно плотности жидкости или газа — базовой характеристики любой сплошной среды.

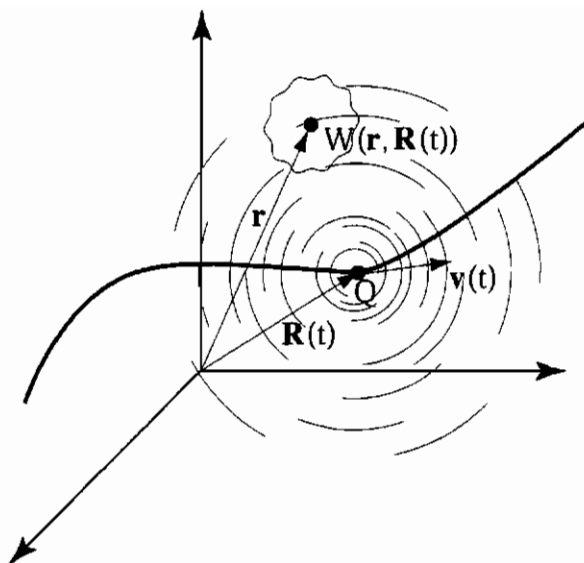
Так, возле частицы плотность ее полевой оболочки больше, а на удалении — меньше. Описывая сложную динамику полевой среды, мы могли бы делать это в терминах изменения ее плотности. Движущийся источник меняет плотность полевой среды, изменение плотности распространяется в виде волны в другие области, а изменение плотности среды в окрестностях другой частицы приводит к изменению ее движения.

Опишем плотность полевой среды в некоей малой области пространства  $\mathbf{r}$  функцией  $W$ , то есть  $W = W(\mathbf{r})$ . Если мы говорим о плотности полевой оболочки, связанной с частицей-источником, то она будет зависеть еще и от положения  $\mathbf{R}$  этой частицы. По мере движения частицы-источника по траектории  $\mathbf{R} = \mathbf{R}(t)$  вместе с ней движется и полевая оболочка, поэтому ее плотность в области пространства  $\mathbf{r}$  есть:

$$W = W(\mathbf{r}, \mathbf{R}(t)) = W(\mathbf{r}, t) \quad (2.5.1)$$

где зависимость от положения частицы-источника  $\mathbf{R}$  мы заменили зависимостью от времени с помощью формулы траектории  $\mathbf{R} = \mathbf{R}(t)$  (рисунок 2.5.1).

Пока мы рассматриваем классическое приближение, функция плотности не может явно зависеть от времени. Это означает, что все изменения в полевой среде связаны только с движением источника и определяются им. Если источник покоится, то зависимость  $\mathbf{R} = \mathbf{R}(t)$  пропадает, и конфигурация полевой среды  $W(\mathbf{r})$  носит статический характер. Ситуация заметно меняется, когда мы от классического приближения переходим к квантовому поведению и начинаем учитывать внутреннюю динамику полевой среды, которая может иметь место даже независимо от материальных частиц и играть определяющую роль в их движении. Мы подробнее поговорим об этом позже, а элементы квантового движения рассмотрим в седьмой главе.



**Рисунок 2.5.1.** Функция плотности полевой среды является ее количественной характеристикой, описывающей свойства среды в каждой конкретной области пространства с учетом положения частицы-источника.

Может ли плотность полевой среды зависеть еще от каких-то параметров, например от скорости или ускорения частицы? Такая зависимость была бы естественна для классической теории поля, которая как бы воссоздает дальноедействие, устраняя связующую среду, но усложняя выражение для потенциалов. В философии полевой среды такой зависимости нет, и это является выражением принципа близкодействия. Определяющим является только положение частицы, а вся остальная информация о характере ее движения переносится средой и отражается ее динамикой – производными от  $W$ . В неявном виде эти производные могут содержать скорости и ускорения частицы-источника, но прямой зависимости плотности среды от этих величин нет. В этом отражается отсутствие прямого действия одной частицы на другую.

Мы также соблюли то обстоятельство, что плотность полевой среды симметрично зависит как от положения частицы-источника, так и от положения частицы регистрации. Только роль частицы-источника в функции плотности полевой среды выражена зависимостью от времени, а роль частицы регистрации – ее местоположением. Вообще говоря, переход к функции  $W = W(\mathbf{r}, t)$  где-то сродни математическому подходу к описанию полей. Он позволит нам соотнести новые результаты с

тем, что уже известно. Когда понятна природа процессов и смысл математических преобразований, ими вполне можно пользоваться!

А теперь попробуем облечь в математическую форму наше представление о движении частицы в полевой среде. Как мы уже говорили, в нашей модели нет прямого взаимодействия частиц. Каждая частица меняет характер своего движения благодаря тому, что оказывается в области возмущенной полевой среды. Другими словами, возмущение полевой среды меняет скорость ее движения.

Говоря о том, что полевая среда подвержена динамике и эта динамика определяет скорость движения частиц, мы фактически утверждаем, что полевая среда не может исчезать и рождаться из ничего. Она может лишь перераспределять свою плотность в процессе возмущения, менять свое местоположение. Она обладает свойством непрерывности. Ведь если бы полевая среда могла бы рождаться из ничего или так же исчезать, то это означало бы беспричинный разгон и торможение частиц с нарушением принципа сохранения энергии. И хотя мы пока не определили понятие энергии в полевой физике, в целом ясно, о чем идет речь.

Процессы не могут происходить беспричинно. Частицы не могут разогнаться или останавливаться без необходимых предпосылок. Если какая-то частица разгоняется, значит, другая должна тормозить, и наоборот. Другими словами, познавая устройство нашего Мира, мы приходим к осознанию существования определенного баланса всех действий и процессов. В современной физике это обстоятельство нашло выражение в виде глобального принципа сохранения энергии. В полевой физике он трансформирован в принцип сохранения полевой среды. Потому что если бы полевая среда, лежащая в основе всех движений и процессов, могла бы стихийно возникать и исчезать, баланс нашего Мира был бы нарушен. В этом свете принцип сохранения количества полевой среды можно рассматривать как следствие большого объема экспериментального материала, связанного с выявлением невозможности получения энергии и движения из ничего.

### ***Принцип непрерывности полевой среды***

***Полевая среда, определяющая все взаимодействия и движения материальных объектов, не может рождаться из ничего и исчезать в никуда. Изменение плотности полевой среды в некой области пространства может происходить только за счет ее перераспределения в соседние области.***

В математической форме принцип сохранения полевой среды означает соответствие плотности полевой среды  $W$  уравнению непрерывности.



Изменение плотности полевой среды в некоей области пространства возможно только благодаря ее перераспределению или потоку в соседние области. В интегральной форме это условие имеет вид:

$$P = \oint_S W\mathbf{v} \cdot \mathbf{n}dS = \int_V \nabla \cdot (W\mathbf{v})dV = \int_V -\frac{\partial W}{\partial t} dV \quad (2.5.2)$$

В этом выражении для потока полевой среды  $P$  через границы некоей области  $S$ , ограничивающей объем  $V$ , использовано стандартное выражение поверхностного интеграла, преобразованное по теореме Гаусса в объемный интеграл и равное уменьшению количества полевой среды внутри этого объема. Величина  $\mathbf{v} = \mathbf{v}(\mathbf{r}, t) = d\mathbf{r}/dt$  есть скорость движения элементов полевой среды в данной точке пространства в данный момент времени, а  $\mathbf{n}$  – единичный вектор нормали к поверхности  $S$ .

Как известно, эта интегральная форма записи уравнения непрерывности эквивалентна дифференциальной форме:

$$\nabla \cdot (W\mathbf{v}) = -\frac{\partial W}{\partial t} \quad (2.5.3)$$

так как соотношение под знаками интеграла должно выполняться для любого элемента объема.

Концепция полевых оболочек подразумевает, что вся полевая среда движется как единое целое, то есть она является как бы «жестко» связанной с частицей-источником. Поэтому мы можем положить  $\mathbf{v}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{v}(t) = d\mathbf{R}(t)/dt$ , где  $\mathbf{v}(t)$  – скорость частицы-источника:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) = 0 \quad (2.5.4)$$

Это уравнение суть классическое уравнение непрерывности. Его физический смысл состоит в том, что изменение количества субстанции в некоем объеме в точности равно количеству субстанции, покинувшей этот объем.

Подобное уравнение непрерывности имеет место как для движения механических сред – жидкостей или газов, так и для электрического заряда. Поэтому применение уравнения непрерывности к полевой среде является, по сути, обобщением наиболее характерного поведения известных нам сплошных сред.

## 2.6. Принцип близкодействия или волновые возмущения в полевой среде

Чтобы создать достаточную математическую базу для описания динамики полевой среды, нам следует формализовать еще один принцип, который мы неоднократно упоминали — принцип близкодействия. Если принцип непрерывности полевой среды означает перераспределение ее плотности, которое мы считаем причиной изменения характера движения материальных объектов, то принцип близкодействия определяет распространение возмущений в самой полевой среде из одной области в другую.

Широкий опыт изучения распространения возмущений в сплошных средах приводит к представлениям о волнах. Более того, существование электромагнитных волн позволяет утверждать о наличии аналогичных механизмов и в полевой среде. А значит, мы можем описать распространение полевых возмущений самой элементарной плоской волной (или сферической волной, что не меняет сути рассуждений):

$$W = W_0 \sin(\omega \cdot (t - r/c)) \quad (2.6.1)$$

где  $\omega$  и  $c$  — частота и скорость распространения возмущения.

Как известно, любое более сложное возмущение может быть представлено в виде суммы элементарных волн путем разложения в ряд Фурье. А значит, этот элементарный пример несет в себе основные свойства распространения волнового возмущения. С его помощью мы можем получить связь пространственных и временных характеристик полевой среды при распространении возмущения. Связь изменения плотности полевой среды, происходящего за единицу времени, с изменением плотности при переходе к соседней области среды. Связь частных производных по времени и по пространству.

Эта связь достаточно часто встречается в различных разделах физики. Как известно, при распространении элементарного возмущения оказываются пропорциональными вторые производные по пространству и по времени, что легко получить путем дифференцирования написанной выше формулы (2.6.1). А коэффициентом пропорциональности является квадрат скорости распространения возмущений  $c$ :

$$\nabla^2 W = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \quad (2.6.2)$$

Это классическое волновое уравнение. Его также можно рассматривать как обобщение большого количества экспериментального материала и как наиболее характерное свойство большинства материальных сред, а также электромагнитных колебаний. Теперь мы наделили это уравне-

ние более глубоким логическим смыслом. Мы сделали его количественным выражением принципа близкодействия — факта передачи возмущения в сплошной среде от одной области к соседней и так далее, «по цепочке» посредством волн.

### *Принцип близкодействия*

*Распространение возмущений в полевой среде происходит постепенно, от одной области пространства к соседней. Подобные волновые процессы, распространяющиеся с конечной скоростью, приводят к эффекту взаимодействия между материальными объектами.*

В нашем контексте следует учесть еще одно обстоятельство. Для изучения динамики единой полевой среды следует использовать волновое уравнение в том виде, в котором мы его написали. Но в модели полевых оболочек есть одна условность. В этой модели сама частица как бы является источником этой полевой оболочки. Полевая среда оказывается лишенной возможности перемещаться в соответствии со своими внутренними законами и находится в окрестности частицы, имея ту или иную плотность. Мы насильно «привязали» к частице данное количество полевой среды с определенной плотностью, и она может лишь неотрывно следовать за частицей.

Это обстоятельство требует дополнить волновое уравнение в модели полевых оболочек функцией источника  $U(\mathbf{r}, t)$ . Эта функция как раз и будет описывать то самое количество полевой среды, которое принадлежит данной частице. С этим условием волновое уравнение примет вид:

$$\nabla^2 W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -U \quad (2.6.3)$$

Когда мы вернемся к изучению единой полевой среды, функция источника нам более не потребуется. Однако ее роль в современной электродинамике довольно примечательна.

## **2.7. Динамика полевой среды или уравнения Максвелла**

Оказывается, что двух принципов поведения полевой среды — принципа непрерывности и принципа близкодействия — достаточно для получения всех основных соотношений классической электродинамики! И нам необходимо сейчас получить эти формулы. Во-первых, чтобы посмотреть, как наши новые представления коррелируют с уже известными результатами. Во-вторых, чтобы увидеть, насколько проще можно вывести все эти уравнения. А в-третьих, с целью заглянуть в электроди-

намику поглубже и найти ответы на те вопросы, которые невозможно прояснить на базе классических представлений.

Итак, мы сформулировали два принципа поведения полевой среды, которые определяют ее динамику в данной области пространства:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) = 0 \quad (2.7.1)$$

$$\nabla^2 W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -U \quad (2.7.2)$$

Они говорят нам о том, что по мере движения заряженной частицы ее оболочка движется вместе с ней, возмущения в ней происходят по волновому закону, а перераспределение плотности соответствует уравнению непрерывности. Чтобы получить уравнения поля в известном виде, необходимо несколько преобразовать эти выражения.

Продифференцируем по времени первое уравнение и заменим вторую производную по времени выражением из волнового уравнения. При этом будем иметь ввиду, что частные производные по времени и пространству можно менять местами, а также скорость движения частицы-источника  $\mathbf{v}$  является постоянной для пространственных производных, которые берутся по координатам точки регистрации  $\mathbf{r}$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) \right) &= \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \cdot (W\mathbf{v})) = \\ &= c^2 (\nabla^2 W + U) + \nabla \cdot \left( \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) = 0 \end{aligned} \quad (2.7.3)$$

или

$$\nabla \cdot \left( -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) = U \quad (2.7.4)$$

Это первое из нужных нам уравнений. Оно выражает собой значение дивергенции от некоей величины, стоящей в скобках. Вычислим теперь ротор от этой же величины:

$$\nabla \times \left( -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times W\mathbf{v}) \quad (2.7.5)$$

учитывая, что ротор любого градиента тождественно равен нулю.

Исчерпав возможности дифференцирования по времени, возьмем теперь градиент от уравнения непрерывности:

$$\nabla \left( \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) \right) = \frac{\partial}{\partial t} (\nabla W) + \nabla (\nabla \cdot (W\mathbf{v})) = 0 \quad (2.7.6)$$

Используем известное математическое тождество, позволяющее выразить градиент дивергенции через двойное векторное произведение и лапласиан:

$$\nabla (\nabla \cdot (W\mathbf{v})) = \nabla \times (\nabla \times W\mathbf{v}) + \nabla^2 W\mathbf{v} \quad (2.7.7)$$

Благодаря подстановке значения лапласиана от  $W\mathbf{v}$  из волнового уравнения (если волновому уравнению удовлетворяет  $W$ , то ему удовлетворяет и произведение  $W\mathbf{v}$ ) наше выражение примет вид:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} (\nabla W) + \nabla \times (\nabla \times W\mathbf{v}) + \nabla^2 W\mathbf{v} = \\ & = \frac{\partial}{\partial t} (\nabla W) + \nabla \times (\nabla \times W\mathbf{v}) + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W\mathbf{v}}{\partial t^2} - U\mathbf{v} = 0 \end{aligned} \quad (2.7.8)$$

или

$$\nabla \times (\nabla \times W\mathbf{v}) = \frac{\partial}{\partial t} \left( -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) + U\mathbf{v} \quad (2.7.9)$$

Для полноты добавим еще тождество, так как дивергенция любого ротора всегда равна нулю:

$$\nabla \cdot (\nabla \times W\mathbf{v}) = 0 \quad (2.7.10)$$

В результате вместо двух начальных уравнений, определяющих динамику полевой среды, мы получили эквивалентный набор из четырех уравнений:

### *Уравнения поля в обозначениях полевой физики*

$$\nabla \cdot \left( -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) = U \quad (2.7.11)$$

$$\nabla \times \left( -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (\nabla \times W\mathbf{v}) \quad (2.7.12)$$

$$\nabla \cdot (\nabla \times W\mathbf{v}) = 0 \quad (2.7.13)$$

$$\nabla \times (\nabla \times W\mathbf{v}) = \frac{\partial}{\partial t} \left( -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{v}}{\partial t} \right) + U\mathbf{v} \quad (2.7.14)$$

Они являются более сложными и громоздкими. Их физический смысл также ясен не сразу. Но в них просматривается определенная симметрия: первые два определяют дивергенцию и ротор одного вектора, а вторые два – другого.

Эта система уравнений кажется нам знакомой. Чтобы привести ее к известному виду, надо ввести новые обозначения. А именно, напряженности электрического и магнитного полей  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{B}$ , векторный и скалярный потенциалы  $\mathbf{A}$  и  $\varphi$ , а также плотность заряда  $\rho$  и плотность тока  $\mathbf{j}$ :

$$\mathbf{E} = -\nabla W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W \mathbf{v}}{\partial t} = -\nabla \varphi - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (2.7.15)$$

$$\mathbf{B} = \frac{1}{c} \nabla \times W \mathbf{v} = \nabla \times \mathbf{A} \quad (2.7.16)$$

$$\mathbf{A} = \frac{1}{c} W \mathbf{v} = \frac{1}{c} \varphi \mathbf{v} \quad (2.7.17)$$

$$\varphi = W \quad (2.7.18)$$

$$\rho = \frac{1}{4\pi} U \quad (2.7.19)$$

$$\mathbf{j} = \rho \mathbf{v} = \frac{1}{4\pi} U \mathbf{v} \quad (2.7.20)$$

Тогда в новых обозначениях система уравнений примет вид:

*Уравнения поля в классических обозначениях (уравнения Максвелла)*

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi \rho \quad (2.7.21)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.7.22)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.7.23)$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} + \frac{4\pi}{c} \mathbf{j} \quad (2.7.24)$$

Это хорошо известные уравнения Максвелла! Они являются альтернативной формой взаимосвязи характеристик полевой среды, описывающих ее динамику в данной области пространства. Так что связь между нашими представлениями о динамике полевой среды и классической теорией поля мы уже установили!

Впрочем, это далеко не самое главное. Хотя, конечно, приятно, что с уравнениями Максвелла вроде бы все в порядке. Но истинная ирония состоит как раз в другом. В полевой физике уравнения Максвелла просто не нужны! Как не нужны и сами поля. Поля в современном представлении.

И причина кроется вот в чем. В полевой физике мы создали модель полевой среды и описали ее двумя скалярными характеристиками. Функцией плотности полевой среды  $W$  и функцией интенсивности источника  $U$ . Справедливости ради следует добавить еще скорость источника  $V$ , которая в модели полевых оболочек определяет скорость движения элементов самой среды. Итого: два скаляра и один вектор — всего пять величин.

В классической электродинамике для описания электромагнитного поля и его источников — тех же самых сущностей и процессов — нам потребовалось гораздо больше величин. Два скаляра — плотность заряда и скалярный потенциал — аналоги функций интенсивности источника и функции плотности полевой среды. И еще пять векторов — напряженности электрического и магнитного полей, векторный потенциал, плотность тока и скорость источника. Итого: четыре лишних вектора! Двенадцать лишних величин!

Получение уравнений Максвелла из принципов динамики полевой среды ясно показывает, что большинство электромагнитных величин просто являются излишними. Они выражаются через другие величины и существуют в физике до сих пор, в основном по историческим причинам. Вот почему уравнения Максвелла «решаются» через потенциалы. А потенциалы выражаются через источники. Это результат исторически возникшей пирамиды электромагнитных величин, которая теперь выглядит избыточной и ненужной. Мы упоминали это обстоятельство еще в первой главе.

А что можно сказать про сами уравнения? В системе Максвелла их четыре — два векторных и два скалярных — то есть всего восемь. В модели полевой среды нам оказалось достаточно всего двух скалярных уравнений, чтобы получить те же самые результаты!

Впрочем, основное различие состоит даже не в количественных вопросах, а в более сложном восприятии смысла и наглядной интерпретации этих уравнений. Так, уравнение непрерывности и волновое уравнение гораздо прозрачнее и имеют ясные механические аналоги. Даже по сравнению с первыми двумя уравнениями Максвелла — законами Гаусса и Фарадея. Не говоря уже о четвертом уравнении, прийти к которому для Максвелла было наиболее сложно. Но нет более простого и яркого примера, чем третье уравнение — уравнение дивергенции магнитного поля. Поговорим о нем отдельно.

## 2.8. В поисках магнитных зарядов

Трудно искать в темной комнате черную кошку. Особенно если ее там нет! Этот афоризм как нельзя лучше характеризует ситуацию с поисками магнитных зарядов. А сама эта проблема – принципиальную разницу между полевой физикой и классической теорией поля.

Возможно, эту тему вообще не следовало бы затрагивать, если бы не то количество усилий, которое было затрачено в свое время физиками на развитие идеи магнитных монополей. С позиций современной физики это вполне понятная задача. Магнитное поле считается реальным физическим полем, подобным полю электрическому. Но в то время как электрическое поле создается реальными электрическими зарядами, магнитное – лишь только их движением. Вполне естественно предположить, что могут существовать некие источники магнитного поля – магнитные заряды, которые подобно электрическим зарядам определяли бы дивергенцию магнитного поля:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = Q_m \quad (2.8.1)$$

А движение магнитных зарядов, например, могло бы создавать дополнительное электрическое поле. И тогда бы симметрия полей стала полной!

В современном физическом мировоззрении третье уравнение Максвелла:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.8.2)$$

может рассматриваться только как следствие экспериментальных данных. А как известно, экспериментально невозможно доказать принципиальное отсутствие чего бы то ни было. Можно доказать лишь то, что данную сущность – будь то магнитные заряды или что иное – не удалось обнаружить пока, не удалось обнаружить в пределах Земли или известного нам космоса, не удалось обнаружить с помощью приборов доступной точности или с помощью известных нам явлений. Но невозможно экспериментально доказать принципиальное отсутствие данной сущности во Вселенной!

Мы уже столкнулись с подобным обстоятельством, когда говорили о принципе эквивалентности. Отклонение от равенства двух типов масс не удалось обнаружить в земных экспериментах, проведенных в тех или иных условиях. Но сколь бы ни была велика их точность, они не позволяют утверждать, что отклонение будет отсутствовать в любой точке космоса и при любых обстоятельствах. И понять важную разницу между двумя типами масс мы смогли только осознав динамическую природу



массы, сумев взглянуть на Мироздание гораздо шире земного экспериментатора.

Все сказанное выше означает, что в современной физике вопрос о существовании магнитных монополей остается открытым. Равенство нулю дивергенции магнитного поля носит лишь эмпирический характер, и ничто не позволяет утверждать, что однажды все не изменится. Более того, азарт подогревают квантовые представления, которые создают дополнительные взаимосвязи между электрическими и гипотетическими магнитными зарядами.

В полевой физике все предстает совершенно в ином свете. Здесь нет магнитного поля, как нет и электрического. Есть полевая среда, ее электромагнитная компонента. И принципы ее динамики, которые мы познаем как фундаментальные, приводят к следующему соотношению:

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = \nabla \cdot (\nabla \times \mathbf{W}\mathbf{v}) = 0 \quad (2.8.3)$$

В полевой физике это не эмпирическое равенство. Это абсолютное тождество! А значит, только полевая физика позволяет поставить точку в этом вопросе. Магнитных зарядов в принципе не существует! Их не существует потому, что магнитное поле – не реальное физическое поле. Как мы поняли из первой главы, оно суть сила инерции, которая появляется в одной системе отсчета и исчезает в другой. Его структура, связанная с оператором ротора, как раз и является показателем того, что данное поле – результат вращения в полевой среде. А дивергенция любого ротора тождественно равна нулю!

*В полевой физике равенство нулю дивергенции магнитного поля является не эмпирическим законом, а представляет собой абсолютное тождество. Магнитных зарядов в принципе не может существовать, потому что магнитное поле не является самостоятельным физическим полем, а суть сила инерции.*

Этот пример является одним из тех, которые демонстрируют движение вглубь физики. Казалось бы, мы пока не вывели ни одной новой формулы, которая бы не была известна в классической электродинамике. Мы просто получили то, что уже было известно ранее, только другим путем. Пусть и более простым.

Но мы приобрели нечто более важное и ценное. Мы приобрели новое понимание. Иное виденье давно известных явлений. Ответы на вопросы, которые раньше относились к классу непознаваемых. И сейчас нам предстоит по-новому взглянуть еще на очень многие известные вещи.

## 2.9. Природа электрического заряда

С математической точки зрения все, что было проделано выше, есть просто «прокрутка» решения уравнений Максвелла задом наперед. В классической теории поля из уравнений Максвелла получаются уравнение непрерывности и волновое уравнение. А мы напротив, начав с этих двух уравнений, получили уравнения Максвелла.

Впрочем, в предыдущем разделе мы попробовали показать важную качественную разницу этих двух подходов. И пока мы разбираемся сугубо с классическим приближением полевых оболочек, разница будет состоять именно в качественном различии результатов. Но это очень существенная разница.

Обратим сначала внимание на то, какое место в уравнениях Максвелла заняли введенные нами характеристики полевой среды. Плотность оказалась созвучна скалярному потенциалу. И это напоминает нам результаты первой главы. Там мы тоже выстроили все результаты, опершись на потенциальную энергию взаимодействия двух частиц. И получили на ее основании полевую массу и все электромагнитные силы. Похоже, что пока эти два пути совпадают.

Еще интереснее роль функции интенсивности, которую мы приписали источнику. Оказалось, что она определяет плотность заряда. Другими словами, чем больше полевой среды мы связали с частицей, чем больше ее интенсивность, тем больше и заряд этой частицы!

Что же это означает? Получается, что свойство заряда тоже не является «врожденной» характеристикой объекта или частицы! Оно определяется интенсивностью полевой среды, связанной с частицей. Есть у частицы полевая оболочка — она обладает свойством заряда. Нет полевой оболочки — свойство заряда у частицы отсутствует.

Впрочем, в философии полевой среды по-иному быть и не могло. Раз природа взаимодействия состоит в динамике полевой среды, то взаимодействие будет возникать только тогда, когда частица определенным образом «встроена» в эту среду. Как-то связана с ней. Если эта связь отсутствует, то нет и никаких взаимодействий! Другими словами, именно полевая среда определяет важное свойство материальных объектов, известное нам как заряды!

На это обстоятельство можно посмотреть еще и под другим углом. Обратим внимание, как запишется принцип непрерывности, выражающий условие сохранения полевой среды в величинах обычной электродинамики:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) = c \left( \frac{1}{c} \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{A} \right) = 0 \quad (2.9.1)$$

Он является ни чем иным, как условием калибровки потенциалов! В современной физике это условие вводится как дополнительное, так как исходя из уравнений Максвелла, потенциалы определены неоднозначно. Хотя следует отметить, что это только видимый произвол. Если условие калибровки взять другим, то из уравнений Максвелла не получатся волновые уравнения и пропадет связь между электромагнетизмом и светом. Поэтому данный произвол может трактоваться только математически, логически же он отсутствует.

В полевой физике именно условие калибровки является определяющим. И с этим обстоятельством мы тоже столкнулись еще в первой главе. Оказалось, что потенциал определяет массу, а значит, он не может быть выбран произвольно. Требование непрерывности полевой среды говорит нам о том же.

А какой вид тогда приобретает закон сохранения заряда, фундаментальный с точки зрения классической теории поля? Посмотрим:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = \frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot (U\mathbf{v}) \quad (2.9.2)$$

Подставляя выражение для  $U$  из волнового уравнения мы получаем:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \mathbf{j} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left( \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) \right) - \nabla^2 \left( \frac{\partial W}{\partial t} + \nabla \cdot (W\mathbf{v}) \right) = 0 \quad (2.9.3)$$

Таким образом, закон сохранения электрического заряда в полевой физике превращается в условие выполнения волнового уравнения для полного изменения плотности полевой среды. Той самой величины, которая составляет содержание уравнения непрерывности в полевой модели. Это означает, что выполнение закона сохранения полевой среды влечет за собой автоматическое выполнение закона сохранения заряда. Но не наоборот.

Выполнение условия сохранения заряда еще не означает, что выполняется уравнение непрерывности полевой среды. Оно может означать лишь выполнение волнового уравнения для величины, стоящей в скобках, но не равенство нулю этой величины при любых условиях.

Поэтому исторически сложившаяся приоритетность закона сохранения заряда вовсе не является таковой в полевой концепции. Заряд и его сохранение является вторичным по отношению к условию непрерывности полевой среды. Следовательно, само представление о том, что частица обладает зарядом, а ее заряд создает поле, некорректна.

*Заряженная частица является связанным состоянием частицы как таковой и ее полевой оболочки. Одной из характеристик полевой оболочки яв-*

*ляется ее интенсивность, существующая в современной физике в виде понятия заряда. Таким образом, заряд — не внутреннее свойство материальной частицы, а характеристика связанной с ней полевой среды. Как и закон сохранения заряда является следствием принципа непрерывности полевой среды.*

Впрочем, развитие концепции зарядов как свойства полевой среды потребует еще немалых усилий. Часть работы мы проделаем в рамках этой книги, а часть оставим другим. Ну а пока нам придется во многом оперировать привычными понятиями, и в том числе просто величиной заряда того или иного объекта. Поэтому чтобы закончить с классическим приближением полевых оболочек, нам следует еще разобраться с видом функции плотности полевой среды.

Если частица-источник покоится, то функция плотности не зависит от времени  $W(\mathbf{r}, t) = W(\mathbf{r})$ ,  $\partial W/\partial t = 0$ , в результате чего волновое уравнение сводится к уравнению Пуассона:

$$\nabla^2 W = -U \quad (2.9.4)$$

Решение этого уравнения известно:

$$W = \frac{1}{4\pi} \int \frac{U}{r} dV \quad (2.9.5)$$

Если мы пользуемся моделью точечного заряда, расположенного в начале координат

$$U = U_0 \delta(\mathbf{r}) \quad (2.9.6)$$

то

$$W = \frac{1}{4\pi} \frac{U_0}{r} \quad (2.9.7)$$

Теперь мы можем ввести величину заряда частицы  $Q$ :

$$Q = \frac{1}{4\pi} U_0 \quad (2.9.8)$$

в результате чего функция плотности полевой среды приобретет понятный вид:

$$W = \frac{Q}{r} \quad (2.9.9)$$

Именно это выражение мы часто использовали в первой главе. Оказалось, что функция плотности полевой среды аналогична классическому

понятию скалярного потенциала, что и позволило нам описывать полевую связь с помощью потенциальной энергии и выразить через нее полевую массу. Чуть позже мы достигнем полной ясности в этих вопросах. Как мы уже догадались, теперь несложно перейти и к выражению для силового воздействия в полевой среде, которое определяется градиентом плотности:

$$F \sim \nabla W \sim \frac{1}{r^2} \quad (2.9.10)$$

Это приводит нас к закону обратных квадратов — закону геометрии, применимому как для электричества, так и для гравитации.

Когда частица-источник движется, то вид потенциала немного меняется и, чтобы его найти, надо решить полное волновое уравнение:

$$\nabla^2 W - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = -U \quad (2.9.11)$$

Как известно, суть решения остается той же, только возникает запаздывание из-за конечной скорости распространения взаимодействия. Поэтому для расчета потенциала нужно использовать не текущее положение источника, а то положение, где он находился в момент создания возмущения, пришедшего в данный момент в рассматриваемую точку. Или другими словами, использовать вместо текущего расстояния  $\mathbf{r}$  запаздывающее расстояние  $\mathbf{r}'$ .

## **2.10. Гравитационное поле или почему смещается перигелий?**

Все описанные выше свойства полевой среды мы рассматривали на примере электрической компоненты. Просто потому, что это поле больше изучено в современной физике и есть с чем сравнивать. Однако все те же свойства полевой среды применимы и к гравитационной компоненте! Пока мы не вникаем в структуру того или иного заряда, различия между этими полями нет. А все полученные нами закономерности суть общие свойства движения в полевой среде. Своеобразная полевая кинематика, результаты которой не зависят от типа взаимодействия.

Рассматривая гравитационную компоненту полевой среды, мы также можем ввести для нее функцию плотности  $W_g$  и функцию интенсивности источника  $U_g$ , как и принцип непрерывности с принципом близ-

кодействия. А на основании этих принципов получить аналог системы уравнений Максвелла! Только это будут уже уравнения гравитационного поля! Такой подход станет продолжением аналогии статических сил – закона Кулона:

$$\mathbf{F}_e = \frac{qQ}{R^3} \mathbf{R} \quad (2.10.1)$$

и закона всемирного тяготения:

$$\mathbf{F}_g = -G \frac{m_g M_g}{R^3} \mathbf{R} \quad (2.10.2)$$

где мы использовали гравитационные массы (заряды) двух тел  $m_g$  и  $M_g$ , аналогичные электрическим зарядам  $q$  и  $Q$ .

Введем сначала гравитационные величины – аналоги величин электромагнитных. Напряженности гравитационного и гравимагнитного полей  $\mathbf{E}_g$  и  $\mathbf{B}_g$ , гравитационные векторный и скалярный потенциалы  $\mathbf{A}_g$  и  $\varphi_g$ , плотности гравитационного заряда и тока  $\rho_g$  и  $\mathbf{j}_g$ :

$$\mathbf{E}_g = -\nabla W_g - \frac{1}{c^2} \frac{\partial W_g \mathbf{v}}{\partial t} = -\nabla \varphi_g - \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{A}_g}{\partial t} \quad (2.10.3)$$

$$\mathbf{B}_g = \frac{1}{c} \nabla \times W_g \mathbf{v} = \nabla \times \mathbf{A}_g \quad (2.10.4)$$

$$\mathbf{A}_g = \frac{1}{c} W_g \mathbf{v} = \frac{1}{c} \varphi_g \mathbf{v} \quad (2.10.5)$$

$$\varphi_g = W_g \quad (2.10.6)$$

$$\rho_g = -\frac{1}{4\pi G} U_g \quad (2.10.7)$$

$$\mathbf{j}_g = \rho_g \mathbf{v} = -\frac{1}{4\pi G} U_g \mathbf{v} \quad (2.10.8)$$

Тогда система уравнений гравитационного поля примет вид:

### Уравнения гравитационного поля

$$\nabla \cdot \mathbf{E}_g = -4\pi G \rho_g \quad (2.10.9)$$

$$\nabla \times \mathbf{E}_g = -\frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{B}_g}{\partial t} \quad (2.10.10)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B}_g = 0 \quad (2.10.11)$$

$$\nabla \times \mathbf{B}_g = \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}_g}{\partial t} - \frac{4\pi G}{c} \rho_g \mathbf{v} \quad (2.10.12)$$

Особых различий с электромагнетизмом здесь нет. Появился только знак минус перед всеми слагаемыми с источниками, что является следствием знака минус в законе всемирного тяготения. Он связан с тем, что в электричестве одноименные заряды отталкиваются, а в гравитации наоборот притягиваются. Это свойство самих зарядов. Еще появилась гравитационная константа  $G$ , также из закона всемирного тяготения, в то время как аналогичная электрическая константа в системе Гаусса просто равна единице, поэтому мы ее и не пишем. На данном этапе больше никаких различий не видно. Да и откуда им взяться – мы же пока рассмотрим только общие свойства динамики полевой среды.

Зато даже эта аналогия несет для современной физики очень много нового. Например, что такое аналог магнитного поля в гравитации? Некое гравимагнитное поле. Это дополнительная сила, являющаяся добавкой к закону всемирного тяготения и связанная с движением объектов, подобно тому, как магнитная сила служит дополнением к электростатической силе. Она создается движущимися объектами и действует на движущиеся объекты.

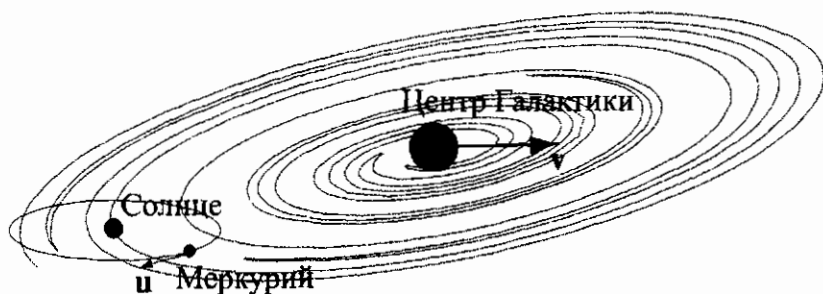
Где в нашей реальной жизни мы можем заметить эту добавку? Сложность состоит в том, что в обычных условиях гравитация намного слабее электричества. Поэтому получается вот такая картина. Сильные электростатические силы, как правило, скомпенсированы зарядами разного знака. Поэтому их более слабые поправки порядка  $v^2/c^2$ , связанные с движением частиц, например, магнитные силы, оказываются вполне заметными в нашей реальной жизни.

С гравитацией же все не так. Сами статические гравитационные силы относительно слабы, а их гравимагнитные добавки еще слабее. Более того, эти крайне слабые гравимагнитные силы теряются на фоне грави-

статических сил. Вот почему гравимагнитные силы почти не заметны в обычных условиях. В большинстве случаев их величина существенно меньше чувствительности измерительной аппаратуры, не говоря уже о проявлениях в нашей повседневной жизни. Все это имеет отношение и к гравитационным волнам, которые имеют схожий порядок малости.

Но что если взять не лабораторные условия на поверхности Земли, а существенно большие космические масштабы, и постараться найти гравимагнитные силы там? Например, мы находимся в Солнечной системе, и наиболее сильным источником гравимагнитных сил может служить центральная область нашей Галактики, которая как раз движется относительно Солнечной системы с немалой скоростью. Хотя правильнее было бы сказать, что Солнечная система движется относительно центра Галактики, но из нашей системы отсчета все выглядит именно так (рисунок 2.10.1).

Если движущийся относительно Солнечной системы наиболее массивный центр нашей Галактики может служить источником гравимагнитных сил, то действовать они должны на движущиеся в Солнечной системе объекты. Например, на планету Меркурий, орбитальная скорость



**Рисунок 2.10.1.** В системе отсчета, связанной с Солнцем, наиболее массивный центр нашей Галактики испытывает движение с немалой скоростью, являясь источником гравимагнитных сил. Эти силы действуют на подвижные по отношению к Солнцу объекты, например, на планету Меркурий, искажая его классическую траекторию.



которой больше скоростей всех остальных планет. И это влияние должно приводить к искажению классического движения Меркурия. Такое искажение известно как аномальное смещение перигелия орбиты Меркурия еще с середины XIX века!

А можно ли оценить степень этого влияния? Мы пока не готовы провести точный расчет, но можем убедиться в том, что порядок величин получается правильный! Если статическое гравитационное поле нашей Галактики, обуславливающее основную массу Меркурия, способствует его классическому движению по орбите под влиянием притяжения Солнца, то гравимагнитная компонента должна приводить к поправке этого вращения порядка  $v^2/c^2$ .

Точнее, вместо  $v^2$  должно стоять произведение скорости источника на скорость объекта, ведь именно такова структура магнитной силы. Или другими словами, произведение скорости движения Солнечной системы относительно центра нашей Галактики  $v$  на скорость Меркурия в Солнечной системе  $u$ . Таким образом, угол аномального поворота орбиты, возникающий за счет гравимагнитных сил, должен иметь порядок отношения произведения скоростей  $uv$  к квадрату скорости света:

$$\delta\theta \sim \frac{uv}{c^2} \quad (2.10.13)$$

Средняя скорость движения Меркурия по орбите равна примерно  $u = 48$  км/с. Скорость вращения Солнечной системы относительно центра Галактики оценивается сейчас примерно в 250 км/с. Итого, угол аномального отклонения Меркурия имеет порядок:

$$\delta\theta \sim \frac{250 \cdot 48}{(300.000)^2} \sim 1, (3) \cdot 10^{-7} \quad (2.10.14)$$

Полный оборот планеты составляет 360 градусов или  $360 \cdot 60 \cdot 60$  угловых секунд. Следовательно, за один оборот смещение составляет:

$$\delta\theta \sim 1, (3) \cdot 10^{-7} \cdot 360 \cdot 60 \cdot 60 \sim 0,17'' \quad (2.10.15)$$

За столетие Меркурий делает примерно 415 оборотов, поэтому аномальное смещение перигелия планеты составляет:

$$\delta\theta \sim 72'' / \text{столетие} \quad (2.10.16)$$

Это, конечно же, очень грубая оценка. Мы не учли очень многих деталей. Поэтому полученная нами величина должна иметь числовой коэф-

фициент порядка единицы. Например, множитель вроде  $1/2$  привел бы достаточно близко к эмпирическому значению в 43 секунды в столетие.

Точный расчет аномального смещения перигелия Меркурия и других планет является очень красивой задачей. Особенно учитывая ее значение в истории физики. Возможно, кто-то захочет решить ее до конца! Только при этом следует помнить ряд важных обстоятельств. Во-первых, гравимагнитные силы – не единственная причина смещения перигелия Меркурия. Позже мы найдем как минимум еще одну причину. Во-вторых, недостаточно использовать только выражение для гравимагнитной силы. Как мы помним из первой главы, в современной электродинамике в формуле силы потеряны некоторые слагаемые, и все это также относится к ее гравитационному аналогу. Более того, галактические расстояния требуют еще и учета эффекта запаздывания гравитационного влияния. Так что расчетная часть этой задачи получается не столь простой, как кажется на первый взгляд.

Впрочем, на данном этапе нам важнее совсем другие аспекты этого явления. Пример с аномальным смещением Меркурия показывает, что гравимагнитные силы, похоже, действительно существуют! Это является подтверждением адекватности нашего подхода к исследованию полевой среды. А также оправдывает распространение результатов полевой физики, в том числе, и на гравитационную компоненту поля. Более того, влияние гравимагнитных сил имеет нужный порядок величины. А значит, эта сила является, по крайней мере, одной из причин, объясняющих аномальное с классической точки зрения движение планеты Меркурий и других планет.

Этот пример также показывает, насколько малы динамические добавки к статической гравитационной силе. Даже в космическом масштабе их роль сводится к очень слабому влиянию – какие-то угловые секунды за целое столетие! Поэтому неудивительно, что все эти силы не играют в земных явлениях никакой заметной роли. И хотя система уравнений гравитационного поля аналогична электромагнитной системе Максвелла, в теории гравитации все решается, как правило, только законом всемирного тяготения – статической компонентой силы. Однако как мы увидим позже, на расстояниях превышающих размеры Солнечной системы, гравитационные силы начинают заметно отклоняться от этого закона, но по совершенно иным причинам.

Следует отметить, что общая теория относительности, расширяющая гравитацию на случай движущихся источников, во многом воссоздает содержание написанных выше уравнений (2.10.9 – 2.10.12) и имеет ряд схожих с ними результатов. Как, например, объяснение аномального смещения перигелия Меркурия. Только ее математический аппарат гораздо сложнее. И она оперирует неевклидовой геометрией. Поэтому, ес-

ли мы осознали, что подход полевой физики гораздо проще и нагляднее даже по сравнению с электродинамикой Максвелла, то в отношении общей теории относительности все сказанное следует возвести в квадрат, а лучше даже в куб.

## ***2.11. Как определить абсолютное движение или принцип относительности Галилея***

Мы затронули тему относительности как раз вовремя, потому что наличие гравимагнитных сил в корне меняет базовые классические представления. А чрезвычайная малость этих сил и невозможность их регистрации в повседневной жизни сыграли злую шутку с классической механикой.

Речь идет вот о чем. В свое время мы говорили, что классическая механика подчиняется принципу относительности Галилея, а электродинамика – нет. Мы имели в виду то обстоятельство, что согласно Галилею никакими механическими опытами нельзя отличить состояние абсолютного покоя от состояния равномерного прямолинейного движения. Хорошо известен пример с каютой корабля, в которой все происходит одинаково, независимо от того, покоится ли корабль относительно Земли или плывет равномерно и прямолинейно (по спокойной воде, разумеется). Галилей утверждал, что пока не выглянешь в окно каюты – не поймешь, плывет корабль или стоит. И никакие эксперименты внутри каюты не позволят это определить.

Электромагнетизм сильно изменил ситуацию. Как известно, есть магнитная сила, которая зависит от абсолютной скорости движения тел. Так, например, в каюте корабля можно было бы взять прямой кусок металлической проволоки и измерить разность потенциалов на ее концах. Если она есть, значит, корабль движется. Более того, ориентация проволоки с максимальной разностью потенциалов на концах соответствует направлению, перпендикулярному скорости движения корабля.

Это, разумеется, не абсолютное движение – оно суть абстракция. Это движение относительно магнитного поля Земли или просто относительно самой Земли. Поэтому, если корабль движется по ее поверхности, то проволока в каюте испытывает движение в магнитном поле, а это, как известно, вызывает появление разности потенциалов на ее концах. И величина этой разности потенциалов пропорциональна скорости движения корабля вместе с проволокой.

Мы уже много говорили об электродинамике, механике и искусственном спасении принципа относительности путем преобразований Ло-

ренца. Сейчас нам интересно иное. А именно то обстоятельство, что магнитная сила, позволяющая определить факт движения относительно источника поля, есть не только в электродинамике. Она есть и в механике. Это — гравимагнитная сила.

В каюте корабля Галилей мог измерить силу, действующую на подвешенный маятник. Когда корабль стоит, отклонение маятника отсутствует. А когда движется — оно появляется, причем величина этого отклонения пропорциональна скорости движения корабля. Если бы имелись достаточно чувствительные приборы, то они позволили бы замерить этот эффект. И определить скорость движения корабля, не выглядывая из окна каюты!

Более того, зная скорость движения корабля относительно Земли, можно определить скорость движения самой Земли относительно центра нашей Галактики! Это подобно тому, как известная величина тока, создаваемая магнитным полем, позволяет определить величину самого магнитного поля. А в нашем случае величиной гравимагнитного поля является статическое гравитационное поле Галактики, определяющее массы всех тел на Земле, умноженное на отношение произведения двух скоростей к квадрату скорости света. Точно так же, как мы считали в предыдущем разделе смещение перигелия Меркурия. Одной скоростью является скорость движущегося объекта относительно Земли — в нашем случае корабля, а второй — скорость движения Земли относительно центра нашей Галактики.

Все величины здесь являются известными. Статическое гравитационное поле Галактики нам известно благодаря тому, что оно определяет все классические массы тел. И просто сокращается в расчетах! Поэтому, зная скорость объекта относительно Земли, мы можем найти ее скорость относительно центра Галактики или так называемой системы неподвижных звезд! Логика этой задачи является обратной по отношению к решенной выше проблеме смещения перигелия Меркурия. Мы могли бы оттолкнуться от известной величины смещения перигелия планеты и на ее основании, а также с помощью известной скорости Меркурия в Солнечной системе найти скорость движения самой Солнечной системы относительно центра Галактики! Проще говоря, в этом контексте Меркурий является своеобразным мега-маятником, благодаря которому ничтожные гравимагнитные силы все же можно измерить!

Не это ли и есть определение скорости абсолютного движения в понимании классической физики? В полевой физике, конечно же, нет вообще никаких абсолютных движений. Но если вспомнить наш вывод о том, что гравитационное поле нашей Галактики определяет все классические массы тел и является для всех механических явлений предпочтительной (инерциальной) системой отсчета, то именно систему непо-

движных звезд, связанную с центром нашей Галактики, следовало бы считать в классической физике той самой абсолютной системой отсчета, тем самым ньютоновским пространством.

Впрочем, гравимагнитная сила, действующая со стороны центра нашей Галактики, оказывается для подвешенного маятника далеко не самой главной поправкой. Есть более банальные вещи, такие как, скажем, вращение Земли вокруг собственной оси или вокруг Солнца, что приводит к более заметным отклонениям нити подвеса маятника от вертикали, или вращению «коромысла» Кавендиша. И выделение каждой из составляющих этих поправок позволило бы нам, в свою очередь, определить еще и скорость вращения Земли вокруг своей оси и скорость ее вращения вокруг Солнца. Даже не выходя из каюты корабля! Вот сколько полезной информации могли бы нам дать гравимагнитные силы! Если бы они не были столь исчезающе малы.

В экспериментальном аспекте измерение гравимагнитных сил имеет еще одну характерную сложность. В отличие от магнитных сил, которые действуют только на заряженные тела и приводят к их движению относительно нейтральных тел, гравимагнитные силы, как и гравитация в целом, действуют на все объекты. Это означает, что под действием гравимагнитных сил, обусловленных, например, центром нашей Галактики, отклонение испытывает не только наш маятник в каюте корабля, но и сам корабль вместе с Землей и всеми объектами на ее поверхности. Это создает дополнительные сложности для экспериментального измерения всех подобных эффектов. И многолетняя эпопея с попытками зарегистрировать гравитационные волны, имеющие схожий порядок малости, служит тому подтверждением.

Хотя в физике даже очень малый эффект может в корне изменить все представления. И подводя итог сказанному выше, мы констатируем, что механика, также как и электродинамика, не подчиняется классическому принципу относительности Галилея! Процесс движения приводит к появлению пусть и очень малых, но реально существующих дополнительных сил — гравимагнитных сил, позволяющих определить скорость движения системы отсчета относительно источника этих сил.

А значит, существует разница между любыми двумя инерциальными системами отсчета, движущимися равномерно и прямолинейно друг относительно друга. Эта разница состоит в различной скорости их движения относительно источников гравитационного поля, и она может быть определена экспериментально. Не только с помощью электромагнитных, но и с помощью чисто механических явлений! И хотя мы здесь немного лукавим, подразумевая под чисто механическими явлениями, в том числе, и силу тяжести, а значит, гравитационное поле, основную суть вопроса сделанные выводы передают верно.

*Благодаря гравимагнитным силам (и другим динамическим добавкам к закону всемирного тяготения, связанным с движением источников гравитационного поля) классическая механика, также как и электродинамика, не подчиняется классическому принципу относительности Галилея. Состояние покоя относительно источников поля можно экспериментально отличить от состояния равномерного прямолинейного движения относительно них.*

## **2.12. Гравитационные заряды – второе рождение**

Продолжая наши рассуждения, мы можем сделать еще один закономерный шаг. Говоря об аномальном смещении перигелия Меркурия, мы использовали гравимагнитные силы. Силы, представляющие собой аналог магнитных сил, только имеющие гравитационную природу и возникающие при движении источников гравитации. Их существование следует из системы уравнений гравитационного поля, аналогичной системе уравнений Максвелла. Например, подобные силы создаются движущимся относительно Солнечной системы массивным центром нашей Галактики и действуют на подвижные в этой же системе планеты. В частности, гравимагнитные силы позволяют объяснить наблюдаемые отклонения от классического движения планет, такие как аномальное смещение перигелия Меркурия.

Забавным является то обстоятельство, что этот же самый результат мы могли бы получить вообще без всяких уравнений поля! А чисто из кинематических соображений! Для этого нам нужно теперь посмотреть на движение Меркурия не из Солнечной системы, а из системы отсчета, связанной с центром нашей Галактики. В этой системе отсчета Солнце совершает вращение вокруг центра Галактики и представляет собой неинерциальную систему отсчета. Меркурий движется в этой неинерциальной системе отсчета, а значит, на него действует обычная сила Кориолиса! Сила, определяемая как раз произведением скорости вращения Солнечной системы относительно центра Галактики и скорости движения Меркурия относительно Солнца. Эта неинерциальная система не является жестким механическим диском. Она существует на невидимом уровне – на уровне гравитационных полевых связей!

И здесь круг замкнулся! Мы можем получить один и тот же результат как с помощью аналога магнитной силы – гравимагнитного поля, так и с помощью обычной силы инерции – силы Кориолиса! Более того, как мы уже начали догадываться, все динамические добавки к статической гравитационной силе, которые определяются аналогом системы уравнений Максвелла для гравитации, являются ни чем иным, как извест-

ным набором кинематических сил инерции. Ситуация полностью аналогична той, что мы рассмотрели в первой главе с добавками к электростатической силе! Только здесь все еще проще. Не нужна даже формула полевой массы, ведь пока мы не проводим различия между инертной и гравитационной массами и используем просто массу, дополнительные динамические слагаемые гравитационного поля и силы инерции полностью совпадают!

Это и есть та самая идея, которую Эйнштейн положил в основу общей теории относительности. Поверив в идеальное равенство двух типов масс в любых условиях, он решил вообще исключить гравитационное поле из рассмотрения и заменить его силами инерции. Только злую шутку с этой идеей сыграли следующие обстоятельства. Как мы увидели в первой главе, в формуле силы Лоренца была потеряна только часть динамических сил, и это привело к необходимости замены преобразований Галилея преобразованиями Лоренца. А классического пространства и времени – четырехмерным пространством-временем Минковского. Для гравитации же эта проблема приобрела еще большие масштабы.

В законе всемирного тяготения в то время вообще не было никаких динамических поправок. Ни гравимагнитных сил, ни прочих слагаемых. Поэтому согласовать гравитационную силу с силами инерции было вдвойне сложнее, даже опираясь на идею эквивалентности двух типов масс. Более того, Эйнштейн решил описать неинерциальным движением не динамические добавки к обычной статической силе, связанные с движением объектов, а саму статическую гравитационную силу. А «склеить» все слагаемые в таких логически некорректных условиях стало архисложной задачей, потребовавшей совершить переход к неевклидовой геометрии. Хотя даже этот шаг не позволил избавиться от сингулярностей и иных сложностей, которые остаются в физике и по сей день.

Поставив знак равенства между инертной и гравитационной массами – массой и гравитационным зарядом – Эйнштейн навсегда разрубил связь между гравитацией и электромагнетизмом. Связь, которую он так и не смог восстановить, потратив на это всю свою жизнь. Электромагнетизм остался во многом полевой концепцией, со временем «обросшей» квантовым описанием, а гравитация стала геометризованной теорией.

Похоже, что эта проблематика – некая особая поворотная точка в развитии науки! Потому что именно здесь возникает та самая аналогия системы сил инерции и системы электромагнитных сил, с которой мы начали эту книгу! Причем эта аналогия становится особенно очевидной благодаря именно гравитационному полю! Более того, взгляд на динамические добавки к статической силе как на набор сил инерции восстанавливает потерянную связь между гравитацией и электромагнетиз-

мом, а также проливает свет на природу инертной массы и причины выполнения принципа эквивалентности в обычных земных условиях.

В отличие от общей теории относительности и современной физики полевая физика выбирает на этой развилке иной путь. Путь, который мы могли бы кратко описать в виде следующей логической схемы. Общие свойства полевой среды приводят нас к полной аналогии закона Кулона и закона всемирного тяготения. А также к системе уравнений Максвелла, аналогичной для электродинамики и гравитации. Все эти законы суть выражение единой кинематики полевой среды и не более того. А также полевая среда приводит нас к понятию заряда. Как электромагнитное поле требует для описания своей интенсивности электрический заряд, так и гравитационное поле требует использование гравитационного заряда.

Следующим шагом является то обстоятельство, что все динамические добавки к статической полевой силе, связанные с движением исследуемых объектов, можно получить вообще без представлений об уравнениях поля. В первой главе мы вывели их из чисто кинематических соображений, как полевые силы инерции. Это фундаментальное свойство стало понятно нам благодаря представлениям о предпочтительных системах отсчета — именно здесь возникает неинерциальное движение, и оно является одинаковым как для электромагнетизма, так и для гравитации.

Только для гравитации, эта аналогия особенно очевидна. Если пока не проводить различия между двумя типами масс, то классические силы инерции и полевые силы полностью совпадают! Именно благодаря гравитационному полю данная аналогия стала полностью понятной, после чего ее стало возможным проследить и в электродинамике. Структура динамических добавок к статической силе там изучена лучше, чем в гравитации, зато переход от заряда к массе не столь простой. Здесь уже нельзя просто заменить инертную массу электрическим зарядом, однако формула связи этих двух величин также нашлась. И она оказалась достаточно простой. Это формула полевой массы.

На данном этапе следует вновь восстановить связь между гравитацией и электродинамикой. Если все полученные до сих пор полевые соотношения являются общими для этих двух полей, то крайне неестественно будет теперь вносить асимметрию. Ведь силы инерции описывают все динамические добавки не только для гравитации, но и для электромагнетизма. И чтобы убедиться в этом, мы потратили немало времени в первой главе. Поэтому неправильно будет жертвовать электромагнетизмом, чтобы объяснить всю гравитацию только неинерциальным движением. И если бы Эйнштейн знал о существовании тесной связи между неинерциальным движением и электромагнитными силами, то он, очевидно, выбрал бы иной путь построения теории.



Другим важным аспектом является то, что набор сил инерции описывает только динамические слагаемые полевых сил, связанные с движением исследуемых объектов и источников поля. Но никак не сами статические силы. Природа статических гравитационных или электрических сил лежит гораздо глубже нашего сегодняшнего рассмотрения и зависит уже не от общей кинематики полевой среды, а от структуры свойств зарядов. Поэтому не надо пытаться полностью описать природу электромагнетизма или гравитации силами инерции. Это можно сделать только для динамических добавок к закону Кулона или закону всемирного тяготения.

И наконец, важным выводом является то, что симметрия электромагнетизма и гравитации приводит к симметрии электрического и гравитационного заряда. А обычная инертная масса оказывается совсем иной характеристикой, связанная с мерой инертности тел. Как нам стало понятно, инертная масса тела, или просто масса, определяется величиной полевого взаимодействия этого тела с другими телами. Она пропорциональна потенциальной энергии взаимодействия, а значит, соответствующему заряду этого тела. И это свойство также является общим как для гравитации, так и для электромагнетизма.

В первой главе мы уже поняли, почему возникает кажущаяся асимметрия зарядов и видимая эквивалентность инертной массы и гравитационного заряда. Инертная масса  $m_i$  любого объекта состоит из двух составляющих, одна из которых  $m_e$  обусловлена взаимодействием с электрическим полем, а другая  $m_g$  — с гравитационным. И каждая из этих компонент пропорциональна соответствующему заряду объекта. Первая — электрическому заряду  $q_e$ , а вторая — гравитационному заряду  $q_g$ . Мы могли бы записать это так:

$$m_i = m_e + m_g = -\frac{1}{c^2} (q_e \varphi_e + q_g \varphi_g) \quad (2.12.1)$$

где  $\varphi_e$  и  $\varphi_g$  — соответственно потенциал электрического и гравитационного поля в области нахождения объекта.

Эта формула выражает ту самую симметрию электромагнетизма и гравитации, о которой мы говорили. А также демонстрирует переплетение этих полей. В разных физических условиях соотношение электрической и гравитационной компоненты массы может быть очень разным. Как в пользу одной компоненты, так и в пользу другой. Однако в большинстве обычных ситуаций на Земле вклад гравитационной компоненты гораздо больше за счет очень интенсивного глобального взаимодействия — гравитационного взаимодействия с коллективным полем Вселенной:

$$m_g \gg m_e \quad (2.12.2)$$

Поэтому с хорошей точностью возникает видимость того, что инертная масса всех объектов на Земле обусловлена только гравитационной компонентой, которая, в свою очередь, пропорциональна гравитационному заряду объекта. Так возникает иллюзия эквивалентности инертной массы и гравитационного заряда как фундаментального свойства природы.

*Инертная масса любого объекта состоит из двух составляющих, одна из которых обусловлена взаимодействием с электрическим полем, а другая — с гравитационным. В большинстве явлений на Земле вклад гравитационной компоненты гораздо больше за счет очень интенсивного глобального взаимодействия. В результате массы всех классических объектов оказываются пропорциональными их гравитационным зарядам, что стирает понятие гравитационного заряда в современной физике.*

*Гравитационный заряд является важной самостоятельной характеристикой объекта, аналогом заряда электрического. Он определяет степень участия объекта в гравитационном взаимодействии и входит в выражение закона всемирного тяготения вместо величины массы.*

Данная проблематика усложняется еще и тем, что гравитация представляется всеобъемлющим взаимодействием, в которое вовлечены все объекты. В то время как большинство тел являются электрически нейтральными за счет сбалансированности зарядов разных знаков и электрическое поле на них не действует. Роль электрической компоненты массы мы видели в первой главе в качестве динамической добавки к обычной массе, которая, в свою очередь, обусловлена глобальным гравитационным взаимодействием. Однако впереди нам предстоит рассмотреть случаи, когда все будет наоборот, и электрическая компонента массы станет существенно больше гравитационной. Это происходит в сильных электромагнитных полях на ускорителях, при высоких энергиях, в ядрах атомов, в плазме и в других схожих условиях.

Сейчас же нам важен следующий аспект этой проблемы. В полевой физике рождается принципиально новая и важная величина, которой не было ни в классической, ни в современной физике. Это — гравитационный заряд. Аналог электрического заряда. Подобно электрическому заряду он является характеристикой интенсивности полевой оболочки объекта — гравитационной полевой оболочки. В классическом понимании это величина, входящая в закон всемирного тяготения:

$$F_g = G \frac{q_g Q_g}{R^3} \mathbf{R} \quad (2.12.3)$$

В таком виде гравитационный заряд имеет размерность килограмма, подобно обычной инертной массе. Но можно определить гравитационный заряд и по-другому, подобно заряду электрическому «спрятать» в нем гравитационную константу:

$$q'_g = q_g \sqrt{G} \quad (2.12.4)$$

Тогда закон всемирного тяготения примет вид:

$$\mathbf{F}_g = \frac{q'_g Q'_g}{R^3} \mathbf{R} \quad (2.12.5)$$

а гравитационный заряд будет измеряться в единицах электрического заряда. Хотя, возможно, имеет смысл придумать новую единицу измерения для гравитационного заряда, чтобы провести черту между этими тремя принципиально разными и одинаково важными величинами: гравитационным зарядом, электрическим зарядом и инертной массой.

В классической физике гравитационный заряд умер, не успев даже родиться. В физике Ньютона очень недолго просуществовало понятие гравитационной или тяжелой массы и вскоре слилось с инертной массой в общее понятие масса. Таким образом, мы открыли гравитационный заряд почти что заново! Спустя более трех столетий с начала его использования. Мы сделали это, не поставив ни единого дополнительного эксперимента, путем углубления понимания того, что уже давным-давно казалось в физике известным. Мы нашли гравитационный заряд там, где никто уже и не рассчитывал найти что-нибудь новое!

Похоже, что чудеса продолжаются! И это еще один пример развития физики не вширь, а вглубь. Поистине, удивительное рядом! Надо только научиться это видеть. Что мы и пытаемся сделать. А чудес еще хватит на всех.

### ***2.13. Квантовое поведение или единая полевая среда***

Каким образом в непрерывном поле возникают дискретные изменения? Этот вопрос поставил в тупик исследователей еще в конце XIX века. Одним из аспектов проблемы служила ультрафиолетовая катастрофа. Другим — стационарность атомных орбит и дискретность их спектров. Это были самые первые эффекты, послужившие толчком к развитию квантовой физики, потребовавшей заменить непрерывные поля набором дискретных частиц в согласии с корпускулярно-волновым дуализмом.

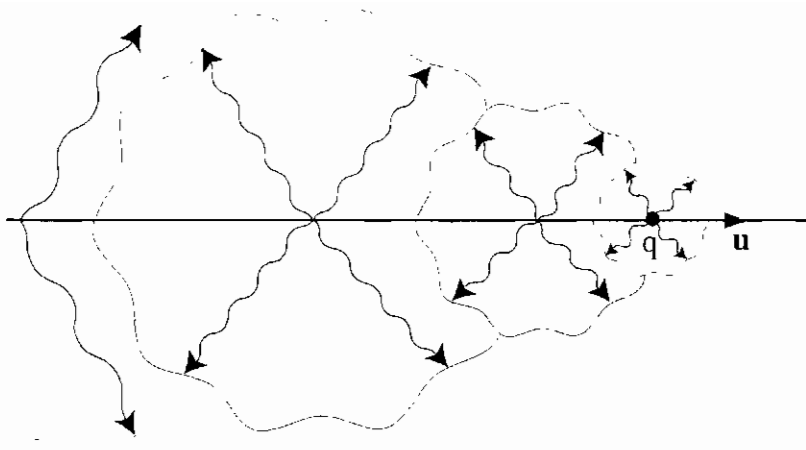
Проведя краткий обзор следствий полевой модели для классической и релятивистской физики, мы теперь уделим немного внимания возникновению квантовых эффектов. И основной вывод состоит в том, что непрерывная полевая среда может обладать дискретными состояниями! И ее свойства также могут меняться дискретно. И для этого нет необходимости постулировать дуализм волн и частиц. Как и изобретать виртуальные частицы, которые служили бы переносчиками взаимодействий. В полевой физике опять все решается намного проще!

Следуя духу нашего исследования, начнем с распространения на квантовые эффекты основных идей модели полевой среды, обозначенных в начале этой главы. Однако теперь мы уже не будем говорить об обособленных полевых оболочках, когда частиц немного, они достаточно удалены друг от друга и самостоятельны, а полевые связи между ними невелики. В квантовых условиях все как раз наоборот! При значительном сближении частиц приближение отдельных полевых оболочек уже не годится. Полевая среда группы частиц, находящихся на малом расстоянии друг от друга, представляет собой единую структуру со сложными общими свойствами.

Это означает, что в условиях малых расстояний мы должны от классической концепции полевых оболочек перейти к концепции единой полевой среды. На малых расстояниях связи между частицами гораздо сильнее и роль полевой среды как основного участника и переносчика взаимодействий заметно возрастает. Ее уже нельзя поделить между взаимодействующими частицами в виде обособленных оболочек, которые созвучны с представлениями о том, что частицы создают поля.

В условиях единой полевой среды мы уже не можем говорить об обособленном движении одной отдельной частицы под действием поля, созданного другими частицами. (Хотя как мы видели ранее, даже в классической физике этот подход не совсем корректен.) В единой полевой среде первостепенное значение приобретает движение самой полевой среды. А все частицы движутся под влиянием этой среды. Часто это движение является коллективным, когда каждая частица неотделима от движения всех остальных частиц.

Другими словами, в модели единой полевой среды понятие того, что частицы создают поле, вообще теряет смысл. В классической физике с некими натяжками так можно было сказать, как в хорошую погоду можно говорить о том, что плывущие корабли создают волны на воде. И у каждого корабля есть свой след. А влияние среды на корабли сводится к наличию лишь слабой ряби на воде, которая разбегается от одного корабля к остальным и слегка покачивает их (рисунок 2.13.1).

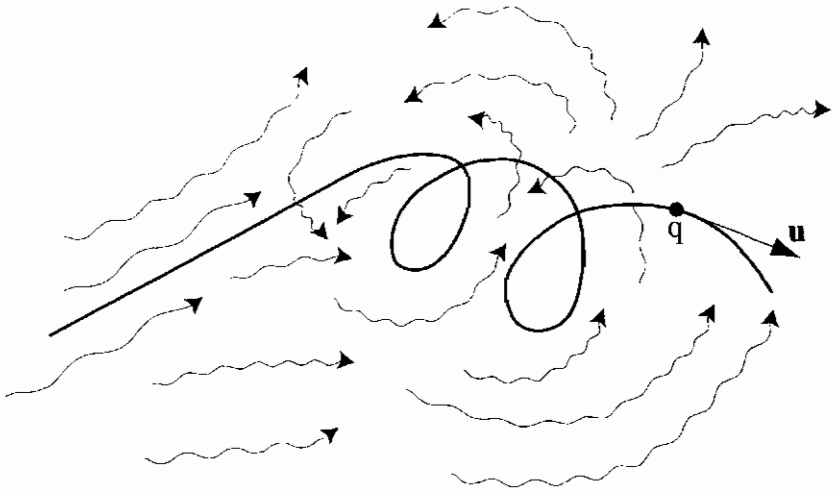


*Рисунок 2.13.1.* В классических условиях обособленная частица создает возмущения в полевой среде, подобно тому как в спокойную погоду от каждого корабля на воле остается свой след.

В плохую погоду все происходит уже совсем не так, и становится понятно, что именно океан — настоящий хозяин ситуации. Все корабли своим движением уже не оказывают почти никакого влияния на бушующее море, а наоборот, становятся беспомощными марионетками общих штормовых волн. А сами волны движутся в согласии с законами стихии, независимо от наличия или отсутствия кораблей на поверхности моря (рисунок 2.13.2).

Это модель квантового поведения. Динамика единой полевой среды так же отличается от динамики выделенных полевых оболочек, как штормовое море от спокойного. Если в модели полевых оболочек в большей степени движение самих частиц определяет все эффекты, а полевая среда служит только их переносчиком, то в модели единого поля все определяется динамикой самой полевой среды. Это особенно актуально для микрочастиц, которые гораздо сильнее подвержены влиянию полевой среды, нежели макрообъекты.

Вооружившись первыми представлениями о единой полевой среде, попробуем на качественном уровне понять природу основных квантовых эффектов. Например, в чем состоит принципиальное различие между многоэлектронным атомом и Солнечной системой? И как мы уже догадались, дело здесь вот в чем. Электронная система в атоме в отличие от



**Рисунок 2.13.2.** В квантовых условиях полевая среда подвержена собственной внутренней динамике, которая оказывает определяющее влияние на движение всех частиц, подобно тому как во время шторма все корабли становятся беспомощными марионетками общих штормовых волн.

планетной системы связана единой полевой оболочкой. И происходит это потому, что в атоме все частицы находятся в гораздо меньшей области пространства и сами они значительно мельче, в результате чего влияние полевой среды на них оказывается определяющим. Похоже, что размер имеет значение!

Изучая движение планет, мы можем оперировать представлениями о собственной полевой оболочке каждой планеты. В результате этого траектория каждой планеты может иметь непрерывно изменяемые характеристики. Располагаться чуть ближе к Солнцу или чуть дальше от него, двигаться чуть быстрее или чуть медленнее. И влияние всех остальных планет вносит лишь незначительные поправки в это движение. Отклонения орбит планет Солнечной системы от идеальных эллипсов, связанные с их взаимным влиянием, крайне невелики и имеют порядок вычисленного несколькими разделами выше аномального смещения перигелия Меркурия. Таким образом, каждая планета, похоже, является в достаточной мере обособленной и слабосвязанной с другими планетами. Похожим образом мы можем запустить на орбиту Земли искусственный спутник, задав любую нужную нам высоту его орбиты путем сообщения спутнику соответствующей скорости.

С электронами в атоме все обстоит иначе. Каждый электрон не обладает своей полевой оболочкой. Его движение нельзя описать в виде силы, действующей на него со стороны каждого отдельного электрона, а также со стороны атомного ядра. Описанию поддается только единая система частиц — ядро и совокупность всех электронов. Частиц, «встроенных» в единую полевую оболочку, которая и определяет движение всей системы.

Если мы попробуем совсем немного изменить траекторию одной из планет, то принципиально динамика Солнечной системы не изменится. Движение всех остальных планет исказится незначительно, как мы видели на примере Меркурия — какие-то считанные угловые секунды в столетие. Но изменить траекторию одного отдельного электрона в единой полевой среде не так-то просто. Потому что на самом деле это уже не изменение траектории одного только электрона. Это изменение характеристик всей полевой среды. И если такое пусть даже совсем небольшое изменение траектории электрона приводит к изменению собственных частот колебания единой полевой оболочки и перестройке стоячих волн, то полевая среда очень быстро вернет электрон на место!

Ну а если смещение орбиты электрона не столь уж малое, а достаточно значительное? Происходящее, скажем, под действием интенсивных внешних полей, способных произвести изменения не только в движении электрона, но и в движении самой полевой среды? Тогда, конечно, изменения произойдут. Но произойдут они не на сколь угодно малую величину, а существенным образом, возможно, даже качественно изменив свойства системы частиц. Другими словами, единая полевая оболочка, подверженная сложной внутренней динамике, может изменять свое состояние только под действием существенных причин, и это изменение будет связано только с переходом в другое уравновешенное состояние.

С чем это связано? С тем, что чем больше частиц и чем сильнее связь между ними, тем сложнее достигнуть баланса системы, согласовать все условия. Это обстоятельство очень хорошо видно на примере человеческого коллектива. Достаточно сложно бывает согласовать интересы всех людей, когда они находятся не на достаточном «расстоянии» друг от друга, а в стесненных условиях. Например, живут в одной квартире или работают в одном помещении. В этих условиях, порой, вообще оказывается невозможным найти общий компромисс сосуществования, и коллектив распадается. Если же компромисс и существует, то может оказаться возможной только одна или небольшое конечное количество структур, при которых коллектив сбалансирован. И нередко плавный переход от одной структуры взаимоотношений к другой невозможен — он происходит только благодаря резким революционным переменам.

Подобным образом некоторые группы частиц в принципе не могут образовать связанное состояние. Например, мы не наблюдаем связанного состояния двух протонов или двух нейтронов. Зато оказывается возможным связанное состояние протона и нейтрона. А вот четверка из двух протонов и двух нейтронов, крайне стабильна и ведет себя подобно единой частице, получившей в свое время название альфа-частицы, когда еще не была известна ее внутренняя структура.

Все эти примеры приводят нас к представлению об устойчивых и неустойчивых состояниях группы частиц и их единой полевой оболочке. Нечто подобное есть и в классической механике, но там понятие устойчивости часто не играет принципиальной роли. Например, мы можем рассмотреть поверхность, состоящую из бугров и впадин. Если пустить по ней шарик, то он, в общем-то, может находиться в любой точке этой поверхности. Но в большинстве из них только очень недолгое время. Например, на склоне он всегда должен катиться в какую-нибудь сторону. На вершине бугра он, в принципе, мог бы задержаться и надолго, но это положение неустойчивое. Малейшее возмущение приведет к тому, что он скатится с него. Зато впадины представляют собой идеальное место для «отдыха». Здесь шарик может застрять надолго. Пока мы не подтолкнем его сильнее, чтобы он мог катиться дальше. Хотя со временем он снова застрянет в очередной впадине. (Имеется в виду, что по мере движения шарик теряет часть энергии на трение.)

В этом примере важную роль приобретает понятие устойчивых положений. Причем нечто подобное используют и в квантовой механике для описания движения частиц в потенциальной яме. Только шарик катится довольно медленно, и мы успеваем за ним следить. А если это движение снять на видео и прокрутить гораздо быстрее? Тогда мы перестанем успевать следить за шариком, и нам будет казаться, что он как бы прыгает из одной ямы в другую. А потом лежит или крутится в одной из них, пока не получит очередной толчок и не перепрыгнет в очередную яму. Следует отметить, что элементарные частицы двигаются гораздо быстрее нашего шарика – их скорости часто бывают близки к световым, поэтому и возникает эффект дискретных квантовых скачков.

В модели полевой среды этот пример перестает быть отвлеченным. Потому что «нарисованная» нами поверхность – это и есть реально существующая полевая среда! Бугры соответствуют областям высокой плотности, впадины – малой. В связанном состоянии с группой частиц полевая среда имеет определенную конфигурацию плотности, в которой каждая частица занимает свое место. Или имеет свою стационарную орбиту. Это соответствует устойчивому состоянию всей системы.

Различные малые флуктуации могут приводить к небольшим искажениям устойчивого состояния системы. И здесь возможны два варианта



развития событий. Либо эти малые изменения «гасятся» полевой средой и пропадают вообще. (Они могут также сохраняться в виде небольших локальных колебаний среды, дополнительных гармоник.) Либо они влекут за собой все большие и большие изменения, в результате чего вся система перестраивается в другое устойчивое состояние. Учитывая очень большую скорость распространения полевых возмущений (скорость света) и малые области пространства, в которых все это происходит, становится понятной кажущаяся мгновенность таких переходов. Полевая среда и связанные с ней частицы очень быстро проскакивают все неустойчивые состояния и занимают ближайшую устойчивую конфигурацию.

Теперь осталось только применить эти представления к известным эффектам. Например, мы начинаем понимать, почему атом не излучает свет по классическим законам. Излучение атома становится возможным только благодаря изменению всей конфигурации единой полевой среды, что описывается в современной физике в терминах квантового перехода электрона на другой уровень. Электрон мог бы излучать непрерывно, если бы обладал обособленной полевой оболочкой, как это происходит со свободным электроном. А в атоме он вынужден учитывать «мнение» коллектива.

*В условиях малых расстояний и сильных полей, а также большого количества частиц полевая среда является единым целым и не может быть представлена в виде набора полевых оболочек отдельных частиц. Важными свойствами подобной единой полевой оболочки являются коллективные эффекты, наличие выделенных устойчивых состояний, образующих дискретный спектр, а также изменение свойств группы частиц путем резкого перехода от одного устойчивого состояния к другому.*

## **2.14. Механизмы квантовых эффектов и корпускулярно-волновой дуализм**

Вооружившись нашими новыми представлениями о динамике единой полевой среды, мы можем достаточно четко представить себе протекание многих квантовых процессов. При этом нам не придется прибегать к философии и понятиям квантовой теории, и мы сможем оставаться в рамках классической терминологии. Рассмотрим наиболее простые эффекты.

Во многих экспериментах с микрочастицами возникает иллюзия существования двойственности их поведения. Частица может одновременно проявлять как корпускулярные свойства, то есть походить на бильярд-

ный шар, так и волновые свойства, уподобляясь колебательному процессу — волне. Это обстоятельство привело к появлению понятия корпускулярно-волнового дуализма и представлениям о двойственности природы материи. В свою очередь поведение электромагнитного излучения также нередко создает иллюзию движения частицы, что еще больше поддерживает мнение о реальности дуализма.

В полевой физике природа мистического корпускулярно-волнового дуализма квантовой теории становится полностью прозрачной, потому что в наших представлениях не существует отдельно частиц и отдельно полей. Каждый объект представляет собой связанное состояние материальной частицы — носителя корпускулярных свойств и полевой среды — носителя волновых свойств. А любые движения объектов происходят с перемещением обоих этих сущностей.

Корпускулярные свойства проявляются тогда, когда определяющим является движение самой частицы. Подобно движению резинового шара по спокойной воде, когда вода слабо влияет на движение и сама подвергается возмущению. Этот случай характерен для макрообъектов, которые в большей степени сами определяют динамику полевой среды. Их полевые оболочки в этом случае подобны обособленным бильярдным шарам и подчиняются классической механике. Микрочастицы также могут вести себя классическим образом, когда складываются схожие условия.

Но в большинстве случаев движение микрочастиц, напротив, полностью определяется динамикой единой полевой среды. В этих условиях частица движется под ее влиянием, повторяя все особенности движения среды. Подобно резиновому шару, брошенному в беспокойную воду, в которой он уже не предоставлен сам себе, а движется вместе с общим потоком. А полевая среда, в свою очередь, может испытывать естественные для нее эффекты интерференции или дифракции, а также другие эффекты волнового характера. Экспериментатор не видит полевую среду, но он видит частицу, повторяющую все волновые движения среды, и у него возникает ощущение, что волновыми свойствами обладает сама частица! И это еще одна яркая иллюзия нашего Мира!

Например, свободный электрон, пролетая в очень узкое отверстие, временно попадает под влияние сильной полевой связи. Ведь он должен как бы «протиснуться» через единую полевую оболочку всех атомов преграды, окружающих отверстие. А само отверстие создает определенный дефект в этой единой полевой оболочке, своеобразную полость для колебаний и других волновых эффектов.

Движение электрона в окрестности щели определяется как раз динамикой единой полевой среды окружающего щель материала. А эта полевая

среда проявляет естественные для нее волновые свойства, в том числе возникает явление дифракции. Во время пролета через щель интенсивная полевая среда окружающего материала сообщает электрону дополнительную скорость, неестественную для классического движения. Его собственная полевая оболочка на время пролета через отверстие как бы «встраивается» в единую полевую среду этой области, в результате чего влияние полевой среды на электрон оказывается гораздо более сильным, а результат получается значительно более сложным, чем при похожем пролете бильярдного шара через отверстие в стене. В результате электрон меняет направление своего движения при пролете через щель. Он как бы дифрагирует вместе с полевой средой таким же образом, как это произошло бы с электромагнитной волной!

Движение электрона через узкую щель можно проиллюстрировать на наглядном примере движения лодки через речные пороги. На спокойном участке реки лодка движется по прямой вместе с равномерным течением. Ее движение полностью соответствует классическим законам. Но в узком месте между камней движение воды становится нерегулярным, появляется турбулентность и боковые течения. При проходе лодки через такой порог вода может сильно изменить направление ее движения. А сама лодка уже не слушается весел и несется вместе с потоком воды. В результате прохода через пороги лодка может совершить очень сложный маневр и оказаться выброшенной на спокойную воду вдалеке от предполагаемого прямого классического маршрута.

А теперь представим себе, что мы наблюдаем за лодкой не с берега, когда видны все детали, а с самолета, благодаря чему мы видим только лодку и пороги, но уже не можем разглядеть нерегулярное течение воды, брызги, водовороты и прочие детали. Мы увидим забавную картину. Движущаяся по прямой лодка проходя мимо камней вдруг испытывает явление дифракции и направление ее движения меняется самым удивительным образом. Причем это совсем не похоже на отражение бильярдного шара от края стола. Да лодка и не ударяется о пороги и очевидно проходит мимо них. Но траектория ее движения при формальном подходе совсем не соответствует классической и требует от нас приписать лодке волновые свойства!

Нечто подобное и происходит с электронами и другими частицами при пролете через узкие щели или вблизи краев других объектов. Именно благодаря видимому появлению волновых эффектов с участием частиц ученые решили приписать им волновые свойства. Однако, как мы уже стали понимать, все волновые свойства частиц являются кажущимися и обусловлены исключительно их связью с единой полевой средой.

Мы можем даже оценить величину кажущихся волновых свойств частиц на основании степени влияния на них единой полевой среды. Вли-

яние полевой среды будет тем больше, чем дольше частица будет в ней находиться, то есть лететь с меньшей скоростью  $u$ . А также влияние полевой среды будет сильнее, если мала инертность частицы или ее масса  $m$ . Таким образом, мы можем написать:

$$\text{Влияние} \sim \frac{1}{mu} \quad (2.14.1)$$

или в терминах квантовой механики с учетом постоянной Планка  $h$  и импульса частицы  $p$  это условие примет вид определения «длины волны» частицы:

$$\lambda = \frac{h}{mu} = \frac{h}{p} \quad (2.14.2)$$

Другими словами, величина волновых свойств корпускулярного объекта — частицы, будет тем больше, чем больше  $\lambda$  — так называемая длина волны Де-Бройля. В полевой физике суть этого соотношения состоит лишь в том, что чем больше длина волны Де-Бройля, тем сильнее влияние полевой среды на частицу по описанным выше причинам. А значит, движение частицы в меньшей степени носит самостоятельный характер и является повторением волнового движения единой полевой среды.

Нечто подобное мы можем сказать и про наличие корпускулярных свойств у электромагнитных волн. Как уже неоднократно упоминалось, частицы не взаимодействуют напрямую — этот процесс происходит посредством возмущений полевой среды. Одна частица возмущает полевую среду, и это возмущение, распространяясь в виде волны, изменяет характер движения другой частицы. Но аналогичные возмущения полевой среды могут быть созданы не только непосредственно другой частицей, но и каким-либо иным возмущением поля в виде электромагнитной волны! Вот почему электромагнитные волны создают эффект движения корпускулы. Их влияние на частицы регистрации может создавать эффект, полностью аналогичный влиянию другой реальной частицы, потому что частицы как раз и влияют друг на друга посредством волн в полевой среде!

Интенсивность взаимодействий между частицами тем выше, чем сильнее возмущение в полевой среде. Или другими словами, меньше время, за которое это изменение происходит. Наибольшая интенсивность взаимодействий отвечает сильному возбуждению полевой среды за малый промежуток времени  $\tau$ . Чтобы создать такое же возмущение посредством волны, а не движения частицы, требуется быстроменяющаяся волна. Волна большой частоты  $\nu$ . Тогда ее влияние на частицы регистрации можно выразить соотношением:

$$\text{Влияние} \sim \frac{1}{\tau} \sim \nu \quad (2.14.3)$$

Или в квантовых обозначениях

$$E = h\nu \quad (2.14.4)$$

мы получаем связь между частотой волн  $\nu$  и их энергией  $E$ . В полевой физике это обстоятельство означает лишь тот факт, что волны большей частоты сильнее влияют на движение частиц. Их влияние перестает носить характер слабого фона и становится сравнимым с влиянием других реальных частиц. Поэтому такие волны приобретают видимость корпускулярных свойств. Другими словами, воздействие высокочастотной волны на пробную частицу является похожим на взаимодействие с другой материальной частицей.

*Корпускулярно-волновой дуализм является только видимым эффектом. Его природа состоит в том, что большинство объектов представляют собой связанное состояние частицы и полевой среды. Когда определяющим является движение самой частицы (классическое поведение), она проявляет корпускулярные свойства. Если же частица полностью подвержена влиянию полевой среды и повторяет ее динамику (квантовое поведение), то волновые. Длина волны Де-Бройля представляет собой выражение степени влияния полевой среды на частицу.*

*Аналогичную природу имеют корпускулярные свойства полей. Рост частоты волн приводит к тому, что влияния таких возмущений в среде перестают носить роль фона и становятся аналогичными возмущениям, созданным другими частицами. В результате влияние волны полностью подменяет влияние корпускулярной частицы.*

Аналогичную природу имеют и другие квантовые эффекты, например, эффект Комптона и фотоэффект. Падающая на вещество электромагнитная волна не состоит из корпускул. Не существует фотона, который бы выбивал из вещества электрон путем прямого механического удара. Или передавал бы импульс электронам вещества подобно шарам в бильярде. Внешнее возмущение в виде падающей электромагнитной волны воздействует только на полевую оболочку атома и деформирует ее. Все остальные явления представляют собой следствия релаксации этой деформации.

В зависимости от условий такая деформация может вообще не привести ни к каким изменениям в атоме, и падающий свет окажется просто отраженным со своими прежними свойствами. Но изменения полевой оболочки атома могут оказаться и более значительными. В результате ее перестроения отдельный электрон или атом в целом может приобрести

определенный импульс, а падающая волна окажется рассеянной под некоторым углом. Так возникает эффект Комптона. Но может случиться, что возбужденная полевая оболочка окажется неустойчивой, и ее возможное стабильное состояние возникнет только после выброса одного из электронов. Так происходит фотоэффект.

Этот механизм мы могли бы назвать эффектом «Троянского коня». Потому что неверно представление о том, что электромагнитная волна может выбить из атома электрон или сообщить ему импульс путем прямого механического удара, будто бы она — частица. Так же, как оказалось невозможным взять стены Трои путем прямого штурма. Внешняя волна изменяет или разрушает атом не путем прямого удара — в этом случае она просто отражается, а путем проникновения в его полевую оболочку, своеобразного «встраивания» в нее. Подобно проникновению коня в Трою. А уже в результате своего вливания в полевую оболочку атома она видоизменяет его и может даже разрушить, вызвав выброс одной или даже нескольких частиц.

Мы упомянули несколько частиц, потому что подобный механизм имеет место и при ядерном распаде, и в ядерных реакциях. Примечательно, что развал ядер происходит не под действием быстрых нейтронов, которые, казалось бы, могут ударить посильнее. Ядра атомов распадаются под воздействием именно медленных нейтронов благодаря тому, что они вместо быстрого отражения успевают встроиться в структуру ядра и вызвать его нестабильность, которая заканчивается распадом. В этом отношении влияние как волн, так и частиц идентично. Потому что не существует прямого взаимодействия частиц или волн посредством механических ударов, а все определяется деформациями полевых оболочек. В этом смысле и волны, и частицы ведут себя похожим образом, создавая иллюзию корпускулярно-волнового дуализма.

## ***2.15. Природа неопределенности и неустойчивость***

Приобретенные представления позволяют нам также понять, почему в квантовых процессах как бы стирается траектория частицы, а ее местоположение выглядит «размытым». Для этого достаточно представить себе микроскопическую крупницу краски, совершающую броуновское движение в жидкости. За счет постоянных ударов со стороны частиц жидкости крупница краски не стоит на месте, а все время дергается. Нечто подобное происходит и с элементарной частицей в единой полевой среде. Она постоянно реагирует на распространение различных возмущений в среде, особенно если среда объединяет много частиц и имеет сложные колебательные гармоника.

А как мы уже упоминали, скорости элементарных частиц в сильносвязанных системах очень высоки. Поэтому даже за небольшие промежутки времени, сравнимые с периодом времени измерения, частица успевает много раз «оббежать» некую область пространства. Поэтому в пределах точности измерений сложно говорить о ее конкретном местоположении — геометрической точке. Имеет смысл скорее некая конечная область пространства, в пределах которой частица дрейфует в течение времени измерения. Поэтому создается видимость, что частица как бы «размазана» по этой области.

Нечто похожее происходит и с траекторией движения частицы. Она не представляет собой идеальную прямую, как в случае движения бильярдного шара по столу. Напротив, ее движение представляет собой дрейф с выделенным направлением. Частица постепенно смещается в этом направлении, например, по инерции в результате наличия начальной скорости, или под действием сильного внешнего поля. Но это уже не движение по прямой, а сложная кривая или даже ломаная линия с отклонениями от основного направления движения. Поэтому траектория в виде идеальной геометрической линии отсутствует, и правильнее говорить о некой области пространства — своеобразной «трубе», по которой проделала путь частица.

Если мы поставим на пути такой частицы преграду, например, атом или другую частицу, то в процессе своего дрейфа она может как столкнуться с ними, так и пролететь мимо. Подобно тому, как упомянутая выше лодка, преодолевая пороги на реке, может быть пронесена потоком мимо них, а может быть выброшена на скалы. Не зная точно всех параметров системы и не имея возможности идеально их измерить, мы приходим к наличию неопределенности. Как столкновение лодки с порогами в нашем примере, так и столкновение элементарных частиц друг с другом начинают носить вероятностный характер.

Если происходит массовый заплыв гребцов на десятках лодок, то мы можем по статистике достаточно точно сказать, какой процент из них перевернется или разобьется о пороги, а сколько лодок проскочит пороги успешно. Но достаточно сложно вычислить результат движения каждой отдельной лодки. Не потому, что природа не познаваема или движение лодки описывается квантовыми законами. Все гораздо банальнее.

Движение лодки через пороги является гораздо более сложным, чем движение по спокойной воде, и зависит от множества мелких деталей. Таких, как расположение и форма всех объектов на пути потока воды, точная форма русла и другие подобные вещи, которые мы учесть не в состоянии. При обычном движении по спокойной воде все это не имеет значения из-за устойчивости такого движения. Небольшие изменения в начальных условиях могут привести только к столь же небольшим

изменениям в конечном результате. Но при движении через пороги все принципиально меняется.

Множество дополнительных особенностей русла делает движение через пороги неустойчивым, и даже небольшие различия в начальной траектории или скорости лодки могут привести к совершенно иным результатам. В одном случае лодка точно попадет в нужное течение и ровно пронесется мимо скал, а в другом – приобретет небольшое вращение за счет бокового течения, которое возле камней сильно возрастет, развернет и перевернет лодку.

*Природа подобной неопределенности даже при движении классических тел связана с появлением неустойчивостей. А они, в свою очередь, обусловлены сложной динамикой той или иной среды в условиях большого количества сильносвязанных объектов, влияние которых нельзя разделить на простые составляющие. Мы смогли бы точно предсказать движение лодки, если бы идеально знали все начальные условия и параметры системы – форму русла реки, форму скал, температуру и плотность воды, ее состав и многое другое. Но идеально все это измерить и рассчитать оказывается невозможным, в результате чего мы не можем выделить ту тонкую грань, за которой лодка разобьется или, напротив, пройдет пороги успешно. Видимо, в этом и состоит важнейшая причина, вносящая фактор неопределенности в нашу жизнь!*

Согласно законам Ньютона, можно было бы идеально вычислить положение и скорость любого объекта через некоторое время, если бы точно были известны начальные условия системы и параметры всех других объектов. Когда мы говорим только о двух телах, то кажется, что их будущее полностью предопределено. Но стоит обернуться вокруг, и нам станет понятно, что даже в нашей комнате непрерывно движутся миллиарды миллиардов миллиардов частиц воздуха, а еще больше мелких частиц заключено в окружающих нас твердых телах. В итоге вся кажущаяся предопределенность нашего мира сразу же исчезает!

Жизнь человека может кардинально зависеть от того, успел ли он вскочить в нужный поезд за долю секунды до его отправления. Пока он бежал к поезду, все определялось каким-то мгновением: успеет – не успеет. А когда он собирался дома, это мгновение – одно лишнее движение при сборах – вообще не играло никакой роли. Но если он не успел, то мгновение превратилось в час или даже в целый день, на протяжении которого нужно ждать следующий поезд. За это время человек может познакомиться с кем-то или, наоборот, не познакомиться, благодаря потерянному часу или дню опоздать на важную или, напротив, роковую встречу. Вся жизнь может сильно измениться от одного этого мгновения! Это яркий пример неустойчивой ситуации в нашей жизни, когда два очень близких вначале пути могут неожиданно разойтись навсегда.



Представления о неустойчивости физических процессов и физика неравновесных состояний получили заметное развитие уже после появления квантовой механики. Именно поэтому до сих пор бытует мнение, что классическая физика полностью детерминирована, а неопределенность — стезя квантовой теории. Неопределенность неизбежно возникает во многих классических задачах и примерах, как в нашем примере с лодкой. А это означает, что если бы изложенные выше представления существовали в начале XX века, то философия квантовой физики вообще могла бы никогда не возникнуть. В ней просто отпала бы необходимость!

В нашей повседневной жизни неустойчивые физические явления встречаются все же не так часто. А в физике микромира, наоборот, «на каждом шагу». Поэтому для элементарных частиц неустойчивое поведение — норма, в то время как для нас это скорее непривычное зрелище. Мы больше привыкли смотреть на спокойный морской прибой, нежели наблюдать девятый вал. Или ощущать легкое дуновение ветра, нежели видеть рождение тайфуна.

Мы можем долго заворуженно глазеть на опавший лист, которым играет ветер, заставляя его выписывать в воздухе разные невероятные выкрутасы. И при этом даже далеко не каждый физик сможет провести аналогию между этим беспорядочно кидаемым ветром листом и непонятным движением элементарной частицы в квантовой механике. Ведь лист под влиянием ветра движется просто антиклассическим образом!

Вместо сохранения прямолинейного движения он вдруг неожиданно поворачивает. Вместо падения на землю под действием силы тяжести он гордо парит вверх. Предсказать его очередной поворот на основании второго закона Ньютона, не принимая во внимание среду, которая в этом случае полностью определяет движение листа, просто невозможно! Да и приписать листу определенную координату тоже достаточно сложно. Под порывами ветра он дергается так быстро, что кажется, будто бы это просто пятно, маячащее в том или ином месте. А когда за несколько минут лист наконец перелетит в другой конец двора, его траектория будет столь сложной линией, что описать ее даже комбинацией всех известных нам гладких математических функций просто не получится!

Вот почему с точки зрения математического формализма проще всего задать некую функцию — плотность вероятности нахождения листа в той или иной области двора. Она больше там, где лист маячил чаще, меньше — где он почти не летал. В силу того, что о движении воздуха мы в этом примере ничего не знаем (или не хотим знать), надо попробовать формально заменить его влияние неким оператором. Этот оператор должен так изменять с течением времени нашу функцию плотно-

сти вероятности, чтобы она менялась вслед за движением листа. Проще говоря, надо подогнать математический аппарат под эксперимент. Зато потом этим оператором можно будет еще не раз пользоваться для описания полета листьев во дворе в схожую погоду. И есть надежда, что в ряде случаев он окажется даже не очень сложным. Но если это и не так, то задачу можно будет решить численно, с помощью мощных компьютеров.

Примерно так и возникла квантовая механика. Эта концепция полностью пожертвовала пониманием истинной природы явлений и наглядностью их механизмов. Во многом она заменила физику математикой и ввела очень неоднозначные с логической точки зрения понятия. Впрочем, о философском аспекте этой проблемы мы поговорим позже, а пока нам следует закончить формирование основных представлений о динамике полевой среды в квантовых явлениях.

*В условиях единой полевой среды движение материальных частиц определяется динамикой самой полевой среды — системы с бесконечным числом степеней свободы и сложными внутренними процессами. Большинство движений в подобных условиях являются неустойчивыми, что приводит к труднопредсказуемым траекториям частиц, возникновению понятия неопределенности их положений и скоростей, а также к вероятностному или статистическому описанию движения.*

## **2.16. Тонкая грань или принцип суперпозиции**

Где пролегает граница между классическим и квантовым поведением? В современной физике принято считать, что масштабом квантовых эффектов служит постоянная Планка  $h$ . Однако в полевой физике эта величина пока еще не возникла. У нас есть только качественное понимание этого различия, выраженное в том, что классическое поведение соответствует обособленным полевым оболочкам, а квантовое — единой полевой среде.

Одним из критериев может служить величина расстояний между частицами. Из наглядных соображений мы понимаем, что когда частицы находятся достаточно далеко, то они обособлены. А когда они «заперты» в малой области пространства, то возникает их коллективная полевая оболочка. Но насколько малой должна быть эта область, мы точно сказать не можем. Все зависит от конкретных условий в той или иной ситуации.

Например, для взаимодействия электрона и протона критическое расстояние обусловлено образованием атома водорода. А на классических

расстояниях порядка метра электрон и протон с хорошей точностью можно описывать приближением слабой связи. Однако если рассматривать не две частицы, а твердое тело размером с метр, то никакая частица в его составе не может считаться слабосвязанной. Твердое тело обладает сложнейшей единой полевой средой, которая и является причиной всех квантовых эффектов, происходящих в этом теле.

По всей видимости, фактор расстояния следует рассматривать вкуче еще как минимум с двумя другими факторами. Первый – количество частиц в системе. Второй – интенсивность взаимодействий. В совокупности с расстояниями все эти факторы будут определять, является ли данная система квантовой или классической.

Есть еще один немаловажный параметр – размер самого тела. Например, мы можем бросить в воду резиновый шар диаметром 10 сантиметров и наблюдать за ним. В первом приближении шар будет оставаться неподвижным. Если же присмотреться повнимательнее, то можно будет зарегистрировать слабое дрожание шара. Но это дрожание составляет малые доли от его размера.

А если мы теперь бросим в воду кусочек краски размером с микрон и станем следить за ним, то ситуация кардинально изменится. Кусок краски будет испытывать уже не слабое дрожание. Его будет просто кидать из стороны в сторону, и его метания будут гораздо больше его собственных размеров. Это еще раз подчеркивает одно важное обстоятельство – размер имеет значение! Макрообъектам характерно самостоятельно определять свойства среды, ее колебания и возмущения и только слабо на них реагировать. Микрообъектам, напротив, свойственно почти полностью отдаваться на произвол стихии и повторять все ее движения.

Но можно ли все-таки как-то математически прочертить границу между классическим и квантовым поведением? Формализовать ее в виде критического расстояния между объектами, критического размера или массы объекта? Похоже, что нет. Но математический способ разделить эти два класса явлений все-таки существует. И его суть состоит в следующем.

В классической физике считается справедливым принцип суперпозиции полей. И в рамках нашей модели мы вполне понимаем почему. Если нам известны плотности обособленных полевых оболочек двух частиц  $W_1$  и  $W_2$ , то плотность полевой среды в области их перескрывания будет просто суммой двух плотностей:

$$W = W_1 + W_2 \quad (2.16.1)$$

Мы можем это утверждать, потому что сами «жестко» связали полевые оболочки с частицами, запретив им расползаться или перетекать от одной частицы к другой.

А что будет происходить с принципом суперпозиции по мере сближения частиц и сливания их обособленных оболочек в единую полевую среду? Если мы считаем, что в рамках единой полевой среды могут происходить любые изменения плотности, ограниченные только нашими основными принципами, то говорить о сохранении принципа суперпозиции уже не приходится. Другими словами, принцип суперпозиции существует только тогда, когда мы можем разбить единую полевую среду на аддитивную сумму отдельных частей, что мы и сделали в приближении полевых оболочек. А если в рамках единой полевой среды однозначно поделить ее между всем частицами уже нельзя, то теряет смысл и принцип суперпозиции!

Именно с этим обстоятельством и столкнулись исследователи во многих квантовых задачах. Очень проблематично представить многоэлектронный атом в виде суперпозиции полей всех его электронов и ядра. Хотя этот путь вполне проходит для расчета движения планет Солнечной системы. Но результаты решения этих двух задач принципиально различны, что и является прямым указанием на неприменимость принципа суперпозиции для полей электронов в атоме. Также известно, что принцип суперпозиции нарушается в твердых телах – типичных квантовых системах с единой полевой оболочкой. А также, по всей видимости, вообще в сильных полях любой природы.

Получается, что мы нашли тот самый критерий! Он состоит в наблюдении за нарушением принципа суперпозиции для полей! Пока плотность общей полевой среды равна прямой сумме составляющих ее полевых оболочек, выполняются классические законы. Но как только принцип суперпозиции начинает нарушаться, возникают квантовые эффекты. Математически плотность единой полевой среды начинает выражаться по формуле:

$$W = W_1 + W_2 + W_{12} \quad (2.16.2)$$

где слагаемое  $W_{12}$  как раз описывает отклонение от прямой суммы и носит название интерференционного члена.

Мы не зря использовали термин интерференционный. Потому что во многих экспериментах с элементарными частицами появление эффекта интерференции служит индикатором проявления волновых свойств материи, а значит, и квантового поведения. В нашей же философии интерференционный член означает нарушение «жесткой» связи полевых оболочек с частицами и появление полноценных волновых эффектов, характерных для единой полевой среды. При этом движение всей системы начинает в большей степени определяться уже не динамикой самих частиц, а динамикой полевой среды.

*Граница между классическим и квантовым поведением состоит в нарушении принципа суперпозиции полей. Пока единую полевою среду можно представить в виде прямой суммы полевых оболочек — полей отдельных частиц, справедливо классическое поведение. Однако в большинстве случаев это становится невозможным. Принцип суперпозиции полей нарушается, и появляется перекрестный интерференционный член, который служит индикатором квантового поведения.*

И это обстоятельство является еще одним ярким примером несостоятельности математического подхода к описанию физических полей. Пока мы говорили о классическом поведении, обособленную полевою оболочку можно было заменить математической функцией. А различие состояло лишь в вопросах интерпретации формул и величин. Но при переходе к квантовому поведению все кардинально изменилось.

На основании наших моделей полевой среды мы смогли сравнительно легко освоиться с неклассическими явлениями и понять их причины. Но в рамках математического аппарата классической теории поля это оказалось просто невозможно! Для математического формализма принцип суперпозиции является краеугольным камнем, потому что он положен в основу самой математики! Согласно математическим аксиомам — правилам арифметики — числа должны складываться, и если мы отождествили поля с числами, то они просто должны следовать тем же правилам. Математический формализм автоматически требует того, чтобы поле от двух источников было суммой полей каждого из них. И нарушение этой суммы — катастрофа.

Вот почему открытие квантовых эффектов на рубеже XIX—XX веков вызвало такое замешательство всего научного сообщества. Хотя как мы увидели выше, с позиций реальной полевой среды Фарадея—Максвелла все выглядит вполне естественно и доступно. Проблема оказалась даже не в том, чтобы объяснить квантовые эффекты как таковые. Она возникла из-за необходимости объяснить их в рамках сложившихся математических стереотипов. В то время как полевая среда устроена по-другому, и ее плотность в окрестностях двух частиц не равна алгебраической сумме плотностей полевых оболочек этих же частиц, взятых по отдельности. Потому что единая полевая среда — не математическая функция, а реальная физическая субстанция. При сближении частиц ее плотность испытывает перераспределение. И изучать ее динамику надо не путем сложения функций, а с помощью выявления закономерностей и свойств этой среды.

Получилось, что описанная в начале этой главы математическая научная автострада имеет еще один существенный недостаток. Мало того что связав только несколько городов, она прошла мимо ряда других, к которым тоже надо как-то добираться. Но теперь еще и появился ог-

раждающий бордюр, из-за которого уже нельзя съехать с автострады даже на обычную проселочную дорогу, по которой можно хоть как-то доехать до пропущенных городов.

Другими словами, сделав ставку на математическую строгость физики, ученые вдобавок ко всему стали заложниками аксиом, положенных в основу принятой математики. Подобно тому, как обожествив эксперимент, они стали заложниками видимости протекания тех или иных эффектов. Эффектов, которые нередко оказываются всего лишь иллюзией. Как и большинство «идеальных» аксиом нашей математики.

## ***2.17. Материя, поля и процессы***

Открытие квантовых эффектов и попытки вписать их в систему сложившихся взглядов привели к большой несразберихе в понятиях и терминах современной физики. Поскольку нам приходится пользоваться теми же терминами, следует подробнее определиться с тем, что мы под ними понимаем.

Начнем с наиболее наглядного и понятного. С материи. Прежде всего следует отгородиться от нефизической философии. И уйти от представлений о том, будто бы материально все реально существующее. Реально существовать может многое, но это не означает, что это нечто будет состоять из того же «теста», что и мы сами, иметь ту же структуру, состав, характеристики и свойства. И полевая среда — один из таких примеров.

Под материей мы будем понимать обычные элементарные частицы, такие как протоны, нейтроны и электроны. А также состоящие из них атомы, молекулы и более сложные тела. Это и есть материя в нашем понимании. Материальны мы сами, наша Земля, Солнце и другие планеты. И все иные конфигурации базовых элементарных частиц, атомов и молекул.

Материальные объекты имеют такие свойства, как масса и заряды. Как мы уже поняли, они не являются «врожденными» свойствами этих объектов и возникают благодаря полевым взаимодействиям. Но эти свойства связаны именно с материальными частицами, как бы локализованы в них. Наличие подобных свойств позволяет использовать для материи также производные характеристики, такие как энергия, импульс или момент импульса. Однако материальные частицы не обладают никакими волновыми свойствами. Может только создаваться видимость, что частица движется подобно волне, когда ее движение полностью определяется движением полевой среды и повторяет всю ее динамику.

Полевая среда является иной сущностью, не состоящей ни из атомов, ни из каких бы то ни было известных элементарных частиц. Мы можем это утверждать благодаря тому, что полевая среда сама определяет свойства материальных объектов и управляет их взаимодействием и движением. Мы вообще не знаем, из чего состоит полевая среда, и имеет ли она дискретную структуру. Возможно, по своей природе полевая среда полностью непрерывна, что является противоположностью материи.

В ньютоновской физике полевая среда соответствовала бы понятию абсолютного непрерывного пространства. В классической электродинамике – понятию эфира. В современной физике к полевой среде скорее подошло бы понятие физического вакуума. Впрочем, полевая среда – самостоятельное понятие, не являющееся производным ни от одного из перечисленных. Она имеет набор выявленных нами свойств. И пока у нас нет других аргументов, дальше гадать над этой сущностью не имеет смысла.

Гораздо важнее другое. Свойства массы и зарядов определяются полевой средой, но принадлежат исключительно материальным частицам. Сама полевая среда или ее элементы не обладают ни массой, ни зарядами. А значит, для полевой среды не применимы такие характеристики, как энергия, импульс и другие производные величины от массы и зарядов. Эти свойства могут быть присущи только материальным объектам, хотя в современной физике из-за отсутствия разделения понятий они сплошь и рядом приписываются полю. Как правило, это происходит в результате некорректного описания взаимодействий и движения. Мы уже упоминали один такой пример, когда потерянные слагаемые полной силы Лоренца заменяются путем введения импульса электромагнитного поля. Полевая физика исправляет эти алогизмы.

В противоположность материи полевая среда является носителем волновых свойств. Как мы уже говорили, в ней могут происходить изменения плотности, связанные как с процессами переноса, так и с волновыми процессами. В полевой среде могут существовать различные колебательные процессы, стоячие волны, сложная структура гармоник и многое другое. Все, что присуще полноценной сплошной среде.

И наконец, следует выделить еще одну физическую сущность – процессы. И прежде всего речь идет о волнах. Волны не являются ни материей, ни полем – это колебательный процесс. Волны могут существовать как в полевой среде (например, электромагнитные или гравитационные волны), так и в материальной среде (волны в жидкости или газе), но они не являются ни тем, ни другим. А следовательно, им присущи характеристики, свойственные процессам. Например, длительность, период или частота. Но волны не могут обладать такими свойствами, как мас-

са, энергия или импульс. Все это – результат смешения понятий в современной физике.

Массой может обладать груз на пружине. Энергией – тоже этот груз, находящийся в том или ином состоянии движения. Но сам колебательный процесс груза на пружине не обладает массой или энергией. Его можно описывать только такими параметрами, как период, частота или амплитуда. То же самое относится и к электромагнитным волнам, которые сами не могут быть наделены свойствами массы или энергии. Этими характеристиками могут обладать только материальные тела, в процессе движения которых возникают волны.

Как уже стало понятно, полевая физика не поддерживает представления о существовании необычных элементарных частиц, таких как фотоны или же виртуальные частицы, называемые переносчиками взаимодействий. Свет описывается в полевой физике на языке электромагнитных волн и не обладает собственными корпускулярными свойствами, такими как масса или энергия. Свет суть процесс – колебания полевой среды – и его не следует путать ни с самой полевой средой, ни с материальными частицами.

*В полевой физике выделяется три сущности различной природы:*

*1. Материя, включающая в себя обычные элементарные частицы исключая фотоны и иные искусственные (виртуальные) частицы. А также состоящие из элементарных частиц атомы, молекулы и иные более сложные тела. Материя обладает корпускулярными свойствами, такими как масса, заряды и их производные характеристики.*

*2. Полевая среда, структура которой до конца не ясна. Она образует связанные состояния с материальными частицами, обуславливая им свойства массы и зарядов. Посредством полевой среды между материальными частицами осуществляются взаимодействия на расстоянии. Полевая среда обладает волновыми свойствами и может испытывать сложные колебательные процессы.*

*3. Процессы, связанные с движением и изменением свойств полевой среды и материальных объектов. Наиболее яркими примерами служат электромагнитные волны (свет). Процессы не могут обладать свойствами материальных объектов или полевой среды.*

Отсутствие четкой системы понятий приводит к большой путанице в современной физике. В том числе, к замене физического смысла понятий формальными математическими соотношениями. Когда речь идет о формальной связи величин разной природы для простоты расчетов, подобно связи энергии и частоты с помощью формулы Де-Бройля, то это выглядит безобидной шалостью. Как, например, в теории колеба-



ний твердого тела, когда формально вводится понятие фононов — колебательных квантов.

Негативный эффект возникает позже, при переходе к интерпретации этой формальной связи и построению неверного мировоззрения. Он заметно усиливается, когда подобные формальные соотношения используются в качестве основания новых теорий. Это искривляет всю физику. И одним из ярких примеров является неадекватное применение к свету законов движения материальных объектов, и в частности, закона сложения скоростей.

В свое время это привело к неверному истолкованию опытов Майкельсона по определению абсолютной скорости движения Земли и возникновению очень спорной релятивистской концепции. Если для материальных объектов скорость брошенного шара складывается со скоростью движения тележки, с которой этот шар был брошен, то для света и любого иного волнового процесса это не так! Скорость волн определяется только свойствами среды, в которой они распространяются. А движение источника волн может влиять лишь на частоту, но не на их скорость. Сложение скорости распространения волны со скоростью движения источника лишено смысла и всегда будет равно скорости распространения волн в данной среде. Что и получил Майкельсон.

Подобных примеров можно привести еще очень много. И формальная связь волновых и корпускулярных свойств объектов является одним из них.

## ***2.18. Физика элементарных частиц***

Так что же представляет собой материя? Ведь ее основные свойства — масса и заряды — оказываются обусловленными полевой средой. В физике Ньютона масса тел рассматривалась как мера количества материи, содержащейся в них. Чем больше тело, тем больше в нем частиц или материи, тем больше его масса. Существует даже эталон массы — тело с количеством материи, принятым за единицу. В релятивистской физике суть этих представлений во многом сохранилась. Только роль меры количества материи перешла к неизменной массе покоя объектов.

Во всех современных представлениях масса фигурирует в качестве «врожденной» характеристики объекта. Своеобразной «собственности» тела. Благодаря этому взгляду в современной физике выстроена цепочка базовых кирпичиков Мироздания — элементарных частиц. Причем масса покоя каждой частицы является крайне важной фундаментальной константой. Существует даже идеалистический взгляд на физику,

согласно которому все явления природы должны описываться неким уравнением (или системой уравнений), а его корни будут представлять собой как раз ряд чисел, равных массам всех известных элементарных частиц.

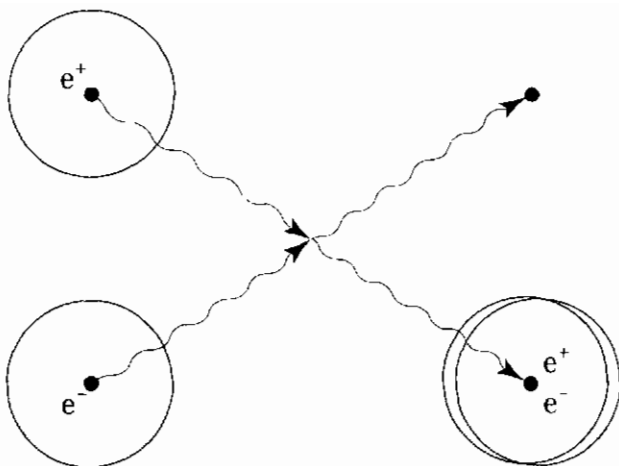
Полевая физика в корне разрушает эту иллюзию. Потому что стройный ряд масс элементарных частиц будет совершенно иным в условиях увеличения или уменьшения интенсивности всех внешних полей, в которых производятся измерения. Эталон массы будет иным, если перенести его с Земли ближе к центру Галактики, или же, напротив, удалить подалеже от него! Это обстоятельство имеет значение и для всех элементарных частиц. Их массы, приведенные в многочисленных таблицах как фундаментальные физические константы, например, масса покоя электрона или протона, являются таковыми только на поверхности Земли и только в обычных условиях!

Но даже если ограничиться только Землей, то массы элементарных частиц очень сильно зависят от локальных взаимодействий. Например, под действием полей других частиц или ядер, а также в сильных полях ускорителей или экспериментальных установок, масса электрона может во много раз превышать свою массу покоя и именно такое поведение наблюдается во всех экспериментах. Только интерпретация этого явления связана с формальной релятивистской зависимостью массы от скорости, которую электрон приобретает в процессе движения в этих сильных полях. С позиций полевой физики все такие изменения массы происходят в согласии с полученной нами формулой полевой массы. И мы строго докажем это в четвертой главе.

А сейчас давайте представим себе, что мы смогли экранировать все внешние поля, в том числе и глобальное взаимодействие. Мы просто взяли и «выключили» их. Сделали все частицы изолированными друг от друга. Другими словами, мы убрали связующую полевую среду. Тогда массы всех элементарных частиц станут равными нулю! Также, как и их заряды! Пропадет всякое различие между всеми типами элементарных частиц. Останется только одна-единственная элементарная частица! Самая элементарная.

Несмотря на идеалистичность подобного «выключения» всех внешних полей, мы получили не столь уж бестолковый результат. В современной физике существует представление о подобной частице, у которой отсутствует электрический заряд, а масса является нулевой. Эта частица носит название нейтрино. Это своеобразная частица-«призрак», лишенная всех основных свойств материальных частиц.

Похоже, что нейтрино и есть та самая базовая элементарная частица нашего Мира! Всего одна! Благодаря отсутствию зарядов и массы ее невоз-



**Рисунок 2.18.1.** В процессе электронного захвата полевая оболочка электрона сливается с полевой оболочкой протона, образуя электрически нейтральный нейтрон. При этом сам электрон становится частицей-«призраком» под названием нейтрино, лишенной собственной полевой оболочки.

можно зарегистрировать напрямую. Она вообще крайне слабо взаимодействует со всем остальным Миром. Однако ее существование следует из косвенных экспериментов по бета-распаду, а также из других похожих реакций. И сам факт экспериментального обнаружения такой неуловимой частицы является очень примечательным!

В философии полевой физики рождение нейтрино означает, что в подобных реакциях одна из исходных частиц теряет связь с полевой средой. Более наглядно это можно представить в модели полевых оболочек. Частица теряет свою полевую оболочку, в результате чего у нее пропадают свойства зарядов, и как результат этого, пропадает масса. Такая частица становится «призраком», который мы можем назвать «голой» частицей. Частицей без оболочки, не связанной с полевой средой. И такая частица становится невидимой для всего остального Мира!

Мы можем проследить механизм этого процесса на примере электронного захвата, когда протон и электрон преобразуются в нейтрон с испусканием нейтрино:

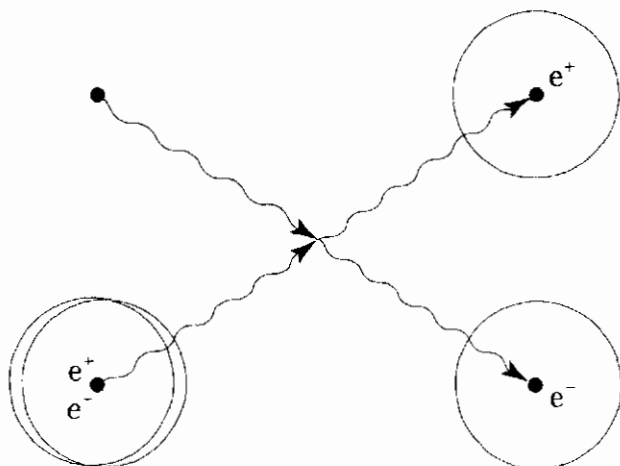


В этой реакции полевая оболочка протона сливается с полевой оболочкой электрона. В результате этого электрические свойства общей оболочки оказываются скомпенсированными, и протон становится электрически нейтральным нейтроном. А его масса в результате такого объединения становится чуть больше массы протона. Причем разница как раз имеет порядок массы электрона! А электрон в процессе такой реакции остается вообще без полевой оболочки! Он становится частицей-«призраком» под названием нейтрино, которая не имеет ни заряда, ни массы (рисунок 2.18.1).

Снова вернуться в наш Мир такой частице-«призраку» оказывается очень не просто. Не имея полевой оболочки, она не может взаимодействовать с другими частицами, не может «чувствовать» их на расстоянии. Хотя, как мы знаем из экспериментов, существуют и обратные реакции, в процессе которых на базе нейтрино может вновь возникнуть полноценная частица. Например, это реакция распада нейтрона под воздействием нейтрино (рисунок 2.18.2):



Такая реакция с частицей без полевой оболочки не может происходить по обычной схеме взаимодействия заряженных частиц, которую мы



**Рисунок 2.18.2.** Разделение нестабильной вдвоенной полевой оболочки нейтрона приводит к превращению частицы-«призрака» в электрон, а нейтрона — в протон.

рассматривали в этой главе. Похоже, что частица-«призрак» может проявить себя лишь оказавшись в непосредственной близости от другой частицы, в результате чего для нее возникает возможность вновь встроиться в полевую среду и вызвать обратное разделение нестабильной полевой оболочки на две части. Понятно, что подобные процессы имеют очень невысокую вероятность. Их отличие от обычных взаимодействий заряженных частиц на расстоянии такое же, как отличие обычного снаряда от самонаводящейся ракеты.

Получается, что мы столкнулись с принципиально новыми обстоятельствами и совершенно иным классом явлений. Развивая модель взаимодействия заряженных частиц, мы поняли, что они представляют собой связанное состояние самих частиц с полевой средой. В классическом приближении это были жестко связанные с частицей полевые оболочки. В квантовом случае — единая полевая среда группы частиц. Но при этом мы не задавали себе вопросов о том, как подобное связанное состояние возникает, насколько оно стабильно, может ли оно распасться, и могут ли частицы и полевая среда существовать по отдельности?

Все эти вопросы не были актуальны, пока речь шла о взаимодействии стабильных частиц. Пока нас интересовала только динамика самих частиц, а не их внутренняя структура или их преобразования. Теперь же становится понятно, что частица, похоже, может вообще выпасть из полевой среды и исчезнуть для всех обычных взаимодействий! Это может произойти даже с двумя или большим количеством частиц, а подобное явление носит название «аннигиляции». В процессе «аннигиляции» материальные частицы с противоположными характеристиками просто исчезают, потеряв свойства зарядов и массы, и становятся не обнаруживаемыми обычными средствами. Как правило, при этом возникают сильные возмущения полевой среды — высокочастотные колебания, известные в современной терминологии как гамма-кванты.

Более того, исчезнувшие для обычных взаимодействий частицы-«призраки» могут вновь образовать связанное состояние с полевой средой. В одном случае это происходит благодаря слиянию частицы-«призрака» с полноценной частицей и разделению полевой оболочки последней на две части. В другом — благодаря наличию тех самых сильных высокочастотных колебаний полевой среды, которые могут вызвать образование связанного состояния частиц-«призраков» со средой. Это создает видимость рождения новых частиц из ничего.

Но даже если все частицы находятся в рамках полевой среды и не выходят за ее пределы, могут происходить самые разнообразные преобразования их свойств. Полевые оболочки могут перетекать от одной частицы к другой, в результате чего будет происходить обмен зарядами. Несколько оболочек могут слиться в одну, или наоборот, одна оболочка

может разделиться на несколько. Все это создает видимость «распадов» одних частиц и «рождения» других. Хотя всех этих частиц, как самостоятельных элементарных объектов, на самом деле не существует! Как и не существует их реального «рождения» и «распада».

В идеологии полевой физики все преобразования элементарных частиц сводятся к формированию различных связанных состояний базовой «голой» частицы и полевой среды! Подобно тому как в химии все реакции сводятся к обмену атомами и преобразованием одного связанного состояния атомов к другому, так в полевой физике все реакции с преобразованиями элементарных частиц сводятся к обмену их полевыми оболочками и переходу от одного связанного состояния к другому.

Одни связанные состояния оказываются устойчивыми, как электрон или протон. На их основе образуются сложные материальные структуры. Сначала атомы элементов таблицы Менделеева, а потом молекулы и их группы. Так возникает известный нам материальный Мир. Другие состояния являются неустойчивыми и соответствуют частицам с малым временем жизни. Какие-то состояния вообще не могут возникнуть и такие частицы никогда не наблюдаются, что в современной физике определяется множеством квантовых законов сохранения и правил запрета.

В связанном состоянии с полевой средой частица приобретает то или иное свойство заряда. Причем чуть позже мы сможем даже «нащупать» механизм возникновения дискретности этого свойства. А в результате взаимодействия с другими полями возникает свойство массы. Получается, что весь известный на сегодня спектр элементарных частиц не более чем набор возможных связанных состояний базовой частицы и разных компонент полевой среды!

Следует упомянуть еще одну забавную причину, создающую иллюзию обнаружения новых «частиц» и заметно увеличивающую их спектр. Причину, которая становится понятна только на основании представлений о динамической природе массы. Речь идет о том, что в экспериментах локальные поля могут сильно исказить массы известных частиц и создавать видимость регистрации новых «частиц». «Частиц», очень похожих на известные ранее, но с большей массой покоя и меньшим временем жизни.

В одних случаях роль таких локальных полей могут играть поля других частиц и ядер, участвующих в реакциях. В других случаях — поля экспериментальных установок и ускорителей. Нередко эти поля имеют некую типичную величину или порядок величины, в результате чего могут систематически регистрироваться «частицы» с массой, превышенной на некое характерное значение. А отклонения величин масс, полученных в каждом отдельном эксперименте, от принятого значения массы покоя

новой «частицы» могут быть нивелированы нужным значением ее скорости благодаря использованию релятивистских формул. Как мы увидим более подробно в четвертой главе, все это приводит к систематическому искажению вычисляемых в результате экспериментов масс покоя частиц на одни и те же типичные величины! Или другими словами, создается видимость регистрации новых «частиц» с характерными значениями масс покоя!

В результате на основании базовой частицы вырастает длинный ряд очень похожих «частиц» с монотонно возрастающими массами покоя. Обычно шаг массы при переходе к каждой следующей «частице» составляет один-два порядка и характеризует переход к более сильному классу полей или новому типу реакций, в которых данная «частица» наблюдается. А время жизни таких «частиц» с ростом массы, как правило, падает, что является результатом все более сложной регистрации частицы в этих условиях и меньшего времени ее нахождения в столь сильном поле.

Покидая область сильного поля, такая «частица» снова приобретает прежнюю массу, что выглядит как «распад» тяжелой «частицы». Причем базовая частица, как правило, присутствует в процессе такого «распада». Хотя бывает, что «распад» очень тяжелой «частицы» происходит через одно из промежуточных состояний, которое в свою очередь «распадается» до базовой частицы. Эти процессы также могут сопровождаться сильными колебаниями полевой среды, а также испусканием частиц-«призраков» – нейтрино, или, напротив, образованием на их основе новых частиц, а также иными особенностями.

Ярким примером такого поведения является электрон – базовая частица с единичным электрическим зарядом. В обычных условиях электрон обладает известной массой покоя, обусловленной глобальным взаимодействием. Однако в сильном электромагнитном поле, возникающем в тех или иных реакциях или в особых физических условиях, его масса покоя становится значительно выше, в результате чего регистрируется «тяжелый» электрон того или иного типа. И таких «тяжелых» электронов в современной физике элементарных частиц известно уже немало. К ним можно отнести все отрицательно заряженные мезоны и, прежде всего, мюон.

Существует даже представление об электрон-мюонной инвариантности, согласно которой мюон является точной копией электрона и во всех реакциях ведет себя идентично. Их различие состоит только в массах покоя. Поэтому понимание динамической природы массы позволяет дать наиболее простое и очевидное объяснение электрон-мюонной инвариантности. Просто электрон и мюон – это одна и та же частица! Разница состоит лишь в том, что эта частица зарегистрирована в разных

физических условиях, с разными значениями массы покоя. А мюона как отдельной самостоятельной частицы вообще не существует!

Следует признать, что физика элементарных частиц является совсем непростой наукой. Существует еще очень много деталей и нюансов, которые следует понять и учесть, чтобы более-менее разобраться в этой теме. И со многими вопросами, которые неизбежно возникнут на следующем шаге, мы пока разобраться не готовы. Так или иначе, в этой книге мы уделим основное внимание изучению динамики обычных частиц, которые представляют собой стабильные связанные состояния с полевой средой и взаимодействуют посредством нее.

Изучение образования таких связанных состояний — элементарных частиц — и их преобразований, а также динамики полевой среды и частиц в этих условиях представляет собой сложную и объемную задачу, требующую написания еще одной книги. Еще одного путешествия на континент полевой физики. Потому что забраться на отвесные скалы и покорить неприступный горный массив элементарных частиц мы пока не готовы.

Раскрытие всех загадок физики элементарных частиц потребует усилий еще не от одного поколения исследователей. И это достойная задача. А сейчас мы можем отметить то важное обстоятельство, что полевая физика закладывает основы построения адекватных представлений в этой области науки. Она дает ключ, с помощью которого многие загадки и парадоксы физики элементарных частиц могут быть решены. Вот этот ключ:

### ***Ключ к построению физики элементарных частиц***

***1. Все элементарные частицы представляют собой связанное состояние базовой («голой») частицы и полевой среды (разных полевых оболочек).***

***2. Массы и заряды элементарных частиц являются динамическими и обусловлены полевой средой.***

***3. Масса покоя элементарной частицы не является неизменной фундаментальной константой, а может принимать любое значение в зависимости от интенсивности внешнего поля, в котором находится частица (в точке покоя частицы).***

***4. «Рождение», «аннигиляция» и превращения элементарных частиц представляют собой перераспределение полевой среды между частицами (обмен полевыми оболочками).***

***5. Колебания полевой среды (свет, гамма-кванты и т. п.) являются сущностями иной природы, не имеющими отношения к элементарным частицам.***



***6. Не следует изобретать виртуальные «частицы» или иные искусственные объекты.***

Физика элементарных частиц развивалась в большей степени экспериментальным путем. Систематизация большого объема накопленного материала оказалась еще более сложной задачей. Эту задачу необходимо будет решать учитывая важную роль данной области знаний, в том числе, и для понимания устройства нашего Мира в целом. Поэтому на страницах этой книги мы еще не раз попытаемся пролить свет на природу и устройство элементарных частиц, чтобы приблизиться к покорению этих крутых вершин насколько это будет возможно.

И на этой оптимистичной ноте нам, пожалуй, следует закончить обзор континента полевой физики, который мы проделали в подзорную трубу с борта нашей каравеллы. Потому что начав с горизонта – модели полевой среды и влияния гравитационных полей Галактики на нашу маленькую планету – мы добрались до таких мелких деталей, как квантовое поведение и элементарные частицы. Это является явным свидетельством нашей непосредственной близости к новым научным землям, к которым мы уж успели причалить.

А теперь нам пора на берег!

# Полевая механика – классическое движение

*Усложнять – просто.  
Упрощать – сложно.  
Отвлеченное наблюдение*

### 3.1. Полевая механика

Приплыли! Наш корабль бросил якорь в живописной бухте нового научного континента, на который еще не ступала нога ни одного исследователя. Материка, который таит в себе много нового и необычного. Он обещает приоткрыть немало научных тайн, дать ответы на самые каверзные вопросы и разрешить многие вековые парадоксы. Этот научный континент мы назвали полевой физикой.

Мы уже успели разглядеть некоторые особенности континента полевой физики в подзорную трубу интуиции, пока приближались к нему. И нам стало ясно, что на нем есть как поля и равнины – области известных и во многом понятных нам явлений, так и неприступные горные вершины и непроходимые дебри джунглей – совершенно новые типы явлений, вообще не известные в современной физике.

И мы решили начать исследование новых земель с той области, которая выглядит наиболее привычной и безопасной. С классической механики. Здесь мы высадимся на новый берег, немного освоимся на нем и будем готовы двинуться дальше в совершенно непривычные для нас загадочные земли. Нам предстоит исследовать пять различных областей нового континента, от классического движения до квантового. Чем и будут посвящены пять следующих глав. И все это мы сможем сделать с помощью нашей модели полевой среды и основных принципов ее поведения.

Эта модель, построенная в предыдущей главе, как раз и будет являться нашим основным транспортным средством. Тем самым внедорожником, с помощью которого мы сможем объехать различные области нового континента. Мы будем использовать идейное понимание этой модели, чтобы каждый раз адекватно применять ее к новым обстоятельствам. Наша прогулка обещает стать увлекательной и незабываемой. А теперь – в путь!

В предыдущей главе мы много говорили о модели полевой среды и основных принципах ее динамики. И в первую очередь мы хотели на качественном уровне понять, как все работает. Теперь же мы готовы формализовать наши идеи и перейти к количественному описанию полевого движения.

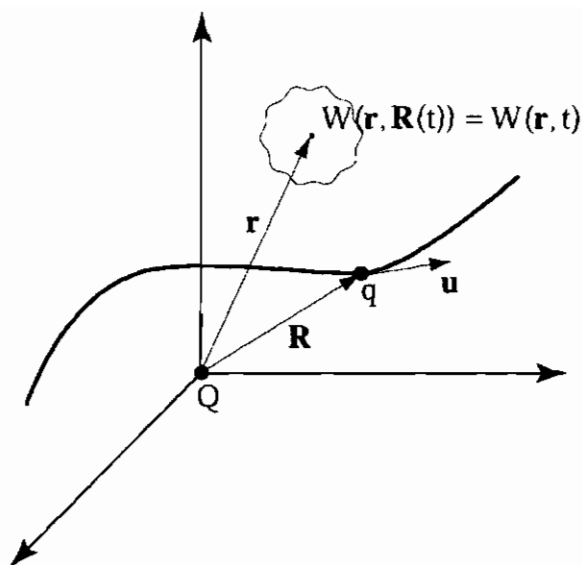
Суть развитых выше представлений мы можем сформулировать примерно так. Заряженные частицы, за которыми мы наблюдаем в экспериментах, не являются самостоятельными объектами, которые могут сами создавать поля и действовать друг на друга. Напротив, они являются связанными с полевой средой, которая обуславливает их основные свойства и управляет их движением. И уравнение, описывающее движение частиц (или более сложных объектов), является следствием динамики полевой среды, в которой эти частицы находятся. Зная движение среды, мы можем вычислить движение частиц, подобно тому, как зная все особенности движения воздуха, мы можем рассчитать причудливую траекторию опавшего листа, которым играет ветер.

И сейчас мы как раз хотим найти уравнение движения частиц в полевой среде. Для определенности и простоты возьмем сначала только две заряженные частицы. А систему отсчета свяжем с одной из них, то есть будем пока изучать полевое движение в системе поля. Движение одной частицы относительно другой. С переходами к другим системам отсчета мы окончательно разберемся в четвертой главе, когда рассмотрим релятивистское движение.

Полевая среда, окружающая частицы, описывается функцией плотности  $W$ . Причем теперь мы уже не пытаемся воспользоваться приближением полевых оболочек и разделить полевую среду между двумя частицами. Мы сразу говорим о динамике единой полевой оболочки, в рамках которой и будут двигаться наши частицы. Поэтому в данном случае никаких функций источников  $U$  уже не возникает.

В нашей полевой модели взаимодействие частиц происходит через полевую среду. Частицы возмущают ее, возмущения распространяются в полевой среде в виде волн и достигают других частиц. Изменение плотности полевой среды в окрестностях каждой частицы как раз и определяет движение этой частицы, а именно – изменение ее скорости. Этот процесс интерпретируется в классической физике как действие сил со стороны одной частицы на другую.

Итак, в системе поля, связанной с одной из взаимодействующих частиц, мы можем описать положение другой частицы вектором  $\mathbf{R}$ , а ее скорость – величиной  $\mathbf{u}$  (рисунок 3.1.1). Как мы уже говорили в предыдущей главе (выражение 2.5.1), плотность полевой среды в некой точке



**Рисунок 3.1.1.** Движение одной частицы относительно другой в процессе их взаимодействия является результатом изменений плотности полевой среды, связанной с этими частицами.

пространства  $\mathbf{r}$  есть функция  $W = W(\mathbf{r}, \mathbf{R})$ , определяемая положением самой рассматриваемой точки среды  $\mathbf{r}$ , а также положением второй частицы  $\mathbf{R}$ , а точнее, относительным расстоянием между частицами. Учитывая траекторию второй частицы  $\mathbf{R} = \mathbf{R}(t)$ , мы можем перейти к виду функции плотности полевой среды  $W = W(\mathbf{r}, t)$ , где зависимость от  $\mathbf{r}$  определяет рассматриваемую точку полевой среды, или другими словами, ее расположение относительно первой частицы, а зависимость от  $t$  – влияние второй частицы.

Таким образом, частная производная по времени от функции плотности полевой среды будет определяться скоростью относительного движения частиц  $\mathbf{u} = \mathbf{u}(t)$ :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial W}{\partial \mathbf{R}} \frac{d\mathbf{R}}{dt} = \nabla_{\mathbf{R}} W \cdot \mathbf{u} \quad (3.1.1)$$

Это уравнение во многом напоминает нам условие непрерывности полевой среды и фактически является другой формой его написания. Теперь нам надо добавить еще волновое уравнение как формализацию

принципа близкого действия и распространения волновых возмущений в полевой среде:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \nabla_r^2 W \quad (3.1.2)$$

Мы теперь рассматриваем динамику единой полевой оболочки частиц и поэтому уже не используем выделенную функцию источника  $U$ .

Для нахождения уравнения движения второй частицы относительно первой нам нужно рассчитать динамику полевой среды в окрестностях нахождения второй частицы, то есть в окрестностях точки  $\mathbf{r} = \mathbf{R}$ . Этот подход отчасти напоминает нам классическую электродинамику, в которой сложное поведение полевой среды заменяется значением поля в точке частицы регистрации. Однако в нашем подходе мы напрямую получим уравнение движения частиц уже с учетом полевой среды. Поэтому наш результат будет содержать много нового. Впоследствии мы рассмотрим возможность существования собственной динамики полевой среды, которая может практически не зависеть от движения частиц, но полностью определять их движение. Это потребует решения уравнений полевой среды во всех точках пространства и будет соответствовать квантовому поведению, которому мы посвятим седьмую главу. А пока нам следует разобраться с более простым классическим поведением.

*Для получения полевого уравнения движения исследуемой частицы относительно частицы-источника необходимо рассчитать динамику полевой среды в окрестностях исследуемой частицы. Динамика полевой среды, в свою очередь, определяется принципами непрерывности и близкого действия.*

Итак, чтобы найти уравнение движения частицы под влиянием полевой среды, мы должны решить систему уравнений в окрестности точки  $\mathbf{r} = \mathbf{R}$ :

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \nabla \cdot (W\mathbf{u}) \quad (3.1.3)$$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \nabla^2 W \quad (3.1.4)$$

Производная по времени от первого уравнения с учетом волнового уравнения приводит к следующему соотношению:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \nabla \cdot \left( \frac{\partial W \mathbf{u}}{\partial t} \right) = c^2 \nabla^2 W \quad (3.1.5)$$

или

$$\nabla \cdot \left( \frac{1}{c^2} \frac{\partial W \mathbf{u}}{\partial t} - \nabla W \right) = 0 \quad (3.1.6)$$

А значит, выражение, стоящее в скобках, является ротором некоторой функции  $\mathbf{H} = \mathbf{H}(\mathbf{r}, t)$

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial W \mathbf{u}}{\partial t} - \nabla W = \nabla \times \mathbf{H} \quad (3.1.7)$$

Теперь для получения полевых уравнений движения нам остается только определить  $\mathbf{H}$ , однако это оказывается не так-то просто. И требует от нас сделать занятное лирическое отступление, которое кто-то наверняка сочтет излишним. Но тем не менее.

### ***3.2. Проблема турбулентности или третий принцип динамики полевой среды***

Вообще говоря, мы не можем определить  $\mathbf{H}$  из написанной выше системы уравнений. И эта проблема носит не математический, а глубокий логический характер. Дело в том, что все наши принципы поведения полевой среды представляют собой неполную логическую систему.

Например, принцип близкодействия связывает производные плотности полевой среды по времени и по пространству, позволяя осуществлять переходы между ними. Принцип непрерывности полевой среды определяет ее истечение – дивергенцию, величину  $\nabla \cdot (W \mathbf{u})$ . Однако ни один из этих принципов не определяет условия турбулентности или поведения вихрей в полевой среде. У нас нет условия, которое определяло бы величину  $\nabla \times (W \mathbf{u})$ .

И этого условия нет не только у нас. Оно до сих пор остается неизученным и непонятым во всех разделах современной физики. В то время как обычное уравнение непрерывности или волновое уравнение являются широко распространенными и достаточно общими соотношениями, описывающими свойства всех сплошных сред, условия возникновения вихрей и турбулентности представляют собой «темный лес». Мы достаточно хорошо можем описать ламинарное движение «сухой» воды, но становимся в тупик при необходимости понять движение реальной «мокрой» воды. Нам до конца не понятны образование внутренних течений и водоворотов в жидкости, рождение океанских волн, возникно-

вение смерчей или тайфунов. Существуют только полуэмпирические приближенные модели, которые позволяют очень условно описать нерегулярное движение сплошной среды.

В классической электродинамике все обстоит не лучшим образом. Как известно, система уравнений Максвелла является неполной, и только на ее основании нельзя решить многие конкретные задачи электродинамики. Поэтому часто вводится дополнительная связь между плотностью тока  $\mathbf{j}$  и напряженностью электрического поля  $\mathbf{E}$  в виде закона Ома:

$$\mathbf{j} = \lambda \mathbf{E} \quad (3.2.1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент проводимости. Мы смогли обойтись без этого соотношения в прошлой главе, потому что рассматривали жестко связанные с частицами полевые оболочки, движение которых полностью ламинарное и не допускает образование вихрей. А неполнота уравнений Максвелла сразу же следует из того, что мы смогли получить ее исходя из наших двух исходных уравнений, которые, увы, не включают в себя понимание принципа образования вихрей в полевой среде.

Почему, несмотря на столь активное изучение сплошных сред в течение последних столетий, ученым так и не удалось выявить закономерности возникновения вихрей и турбулентности? Ведь речь идет не о строении мизерных субатомных частиц и не о возникновении Вселенной? А об обычном течении воды из крана, с которым каждый день имеет дело любая домохозяйка. Может быть, единого принципа, определяющего эти процессы, просто не существует? Или он настолько сложен, а его реализация в разных условиях столь разнообразна, что нам пока не понятна его суть?

Не исключено, что никакого универсального принципа на самом деле и нет, а все разнообразие эффектов вращения в сплошных средах является результатом различных начальных условий и особенностей конфигурации той или иной системы. В этом смысле вращение в полевой среде и во всех механических средах не является жестко определенным, а представляет собой следствие созданных условий. Например, если обеспечить равномерное попадание воды в трубу, то она будет двигаться ламинарно. А если нет, то и движение воды в трубе будет турбулентным. Причем параметры этой турбулентности будут меняться в зависимости от начальных условий попадания воды в трубу. А также от структуры самой трубы.

Другими словами, процессы вращения не являются жестко связанными каким-то единым законом, подобным уравнению непрерывности, реа-

лизация которого всегда приводила бы к одним и тем же результатам. Напротив, отсутствие этого универсального принципа создает почву для различных вариантов поведения сплошных сред и делает вращение своеобразным «переключателем» разных режимов протекания одних и тех же процессов. Например, при одних условиях воздух может полностью покоем, при других – испытывать конвекционное движение, при третьих – возникает тайфун, который будет наращивать свою мощь и все сносить на своем пути.

Если вернуться к представлениям о моделировании нашего Мира, то вращение выглядит своеобразным «тумблером», позволяющим менять модели поведения и вносить разнообразие в похожие процессы. Ведь движение воздуха или воды, электромагнитного поля или плазмы описываются очень похожим набором простых уравнений, и на первый взгляд непонятно, откуда берется столь поразительное разнообразие нашего Мира. Ведь даже обычная вода или воздух в зависимости от режима вращения и нерегулярных процессов могут иметь очень много непохожих вариантов поведения!

Все это очень напоминает работу на компьютере, в процессе которой мы можем постоянно менять протекающие в нем процессы путем нажатия клавиш и перемагничивания ячеек памяти. Возможно, цунами и тайфуны на Земле, коллапсы быстровращающихся звезд и аккреция звездного вещества в космосе являются чем-то похожим на такое «перемагничивание». Ведь все эти процессы зависят от создания условий для нерегулярных вращений. А само магнитное поле – не что иное, как следствие взаимных вращений! И для поддержания разнообразия нашего Мира, похоже, существуют механизмы, время от времени меняющие один режим протекания процессов на другой. Издавна идут дискуссии о том, может ли Творец нашего Мира иногда нажимать на какие-то «кнопки» и вызывать кардинальные изменения в мировой истории? И сможет ли человек когда-нибудь освоить эти «кнопки» и научиться управлять явлениями природы, погодой и процессами в космосе?

Впрочем, на данную тему можно рассуждать вечно. Нам же важно понять то обстоятельство, что наука как таковая вовсе не исключает существование иных форм воздействия в нашем Мире. Изучаемые в физике законы природы представляют собой лишь «запрограммированные» процессы, которые вызывают предсказуемую реакцию объектов в обычных условиях. Однако, озадачившись даже столь банальными вопросами, как турбулентность в сплошных средах или неустойчивые движения, о которых шла речь в прошлой главе, мы начинаем понимать, что в зависимости от созданных изначально условий или от изменения текущих условий результат протекания процесса может оказаться совершенно иным.



И никакие законы физики не могут запретить кому-то создать те или иные начальные условия или изменить эти условия позже. Так экспериментатор может постоянно менять начальные условия, чтобы изучить различные варианты поведения своей установки. То же самое может относиться и к нашему Миру в целом. Все наши уравнения принимают начальные условия как должное, как входящие параметры, на основании которых уже происходит дальнейшее развитие событий.

Нам остается только гадать о первопричинах наличия ярко выраженного вращения нашей Галактики. Правильного соотношения периодов вращения Земли вокруг Солнца и вокруг своей оси, в результате чего на нашей планете становится возможной жизнь. Мы также считаем фундаментальными физическими величинами внутренние вращения элементарных частиц, известные под названием спинов. Все это данность, которая делает наш Мир таким, каким мы его знаем.

### *3.3. Полевое уравнение движения*

Как бы ни была увлекательна поднятая выше тема, нам следует вернуться к более «земным» вопросам. А именно к полевому уравнению движения. Ведь несмотря на все сложности и тайны вихрей и турбулентностей нам надо как-то определить величину  $\mathbf{H}$ , даже несмотря на отсутствие понимания (а может и существования) еще одного фундаментального принципа поведения полевой среды.

И сделать мы это можем только вернувшись к нашему исходному пониманию динамики полевой среды. Мы говорили о том, что изменение плотности полевой среды  $\partial W/\partial t$  в некоей области пространства согласно принципу непрерывности полностью компенсируется ее потоком в соседние области. Это истечение, в свою очередь, и определяет скорость частицы  $\mathbf{u}$ , находящейся в этой области пространства согласно использованному выше уравнению:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \mathbf{u} \nabla W \quad (3.3.1)$$

Данное уравнение означает, что все изменения в полевой среде определяют только ту компоненту скорости частицы  $u_{\parallel}$ , которая параллельна направлению градиента плотности среды в данный момент времени. Таким образом, изменение другой компоненты скорости частицы  $u_{\perp}$ , перпендикулярной направлению градиента плотности, никак не зависит от динамики полевой среды в данный момент времени. Среда про-

сто не влияет на частицу в направлении, перпендикулярном градиенту плотности! Все влияние происходит только в направлении градиента. Подобным образом река несет плот только в направлении течения воды, но не перпендикулярно ему.

Другими словами, если выражение  $\mathbf{u} \cdot \nabla W = \nabla \cdot (W\mathbf{u})$  полностью определяется передаваемым через полевою среду влиянием других частиц, то выражение  $(\nabla W) \times \mathbf{u} = \nabla \times (W\mathbf{u})$ , напротив, не должно зависеть от движения других частиц. Оно может меняться только под действием внутренних процессов самой полевой среды, хотя мы и не знаем их характер. Проще говоря, можно представить ротор  $\nabla \times (W\mathbf{u})$  в виде функции, зависящей только от той или иной области среды  $\mathbf{r}$ , но не зависящей от положения другой частицы  $\mathbf{R}$ , или в нашей терминологии, не зависящей от  $t$ :

$$\nabla \times W\mathbf{u} = \mathbf{Y}(\mathbf{r}) \quad (3.3.2)$$

Мы не знаем вид функции  $\mathbf{Y}(\mathbf{r})$ , которая как раз и должна определять все сложные вихревые движения в полевой среде, и как следствие, во всех материальных средах. Изучение ее вида является важной и интересной задачей, позволяющей нащупать ответы на вопросы, поднятые чуть выше. Тем не менее, сейчас мы можем получить полевое уравнение движения только на основании того обстоятельства, что функция  $\mathbf{Y}$  не зависит от времени, то есть она не связана с движением второй частицы, а выражает собой только внутренние процессы в полевой среде. Пока мы хотим описать движение частиц используя понимание динамики полевой среды только в их непосредственной близости, вид функции  $\mathbf{Y}(\mathbf{r})$  будет нам не важен.

### *Третий принцип динамики полевой среды (принцип турбулентности)*

*Возмущения полевой среды, связанные с взаимодействием частиц, изменяют скорости их движения только в направлении градиента плотности полевой среды. Изменения скоростей частиц в направлении, перпендикулярном градиенту плотности полевой среды, могут быть связаны только с внутренней динамикой самой полевой среды или начальными условиями.*

С философской точки зрения этот принцип напоминает классический закон сохранения момента импульса при движении и вращении объектов. В то время как принцип непрерывности полевой среды созвучен закону сохранения энергии, о чем мы в свое время упоминали. Вообще говоря, эти два закона представляют собой интегралы уравнения движения и являются альтернативным способом его описания. В нашей терминологии один из этих принципов определяет дивергенцию произ-

ведения  $W\mathbf{u}$ , а другой – ее ротор. Как мы увидим позже, сохранение энергии и сохранение момента количества движения в полевой физике также тесно связаны с уравнением движения.

Мы можем взять частную производную по времени от написанного выше выражения (3.3.2):

$$\nabla \times \left( \frac{\partial W\mathbf{u}}{\partial t} \right) = 0 \quad (3.3.3)$$

Решение этого уравнения означает, что величина, стоящая под оператором ротора, есть градиент некоей скалярной функции  $\chi$ :

$$\frac{\partial W\mathbf{u}}{\partial t} = \nabla\chi \quad (3.3.4)$$

Сравнивая это уравнение с полученным ранее выражением (3.1.7):

$$\frac{\partial W\mathbf{u}}{\partial t} = c^2 \nabla W + c^2 \nabla \times \mathbf{H} \quad (3.3.5)$$

мы понимаем, что они согласуются при условии:

$$\chi = Wc^2 \quad (3.3.6)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = 0 \quad (3.3.7)$$

Это приводит нас к полевому уравнению движения:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial W\mathbf{u}}{\partial t} = \nabla W \quad (3.3.8)$$

Полученное уравнение описывает движение частицы со скоростью  $\mathbf{u}$  в полевой среде, которая характеризуется функцией плотности  $W = W(\mathbf{r}, t)$ . Нам осталось сделать еще один шаг, а именно – от общей плотности полевой среды  $W(\mathbf{r}, t)$  перейти к плотности полевой среды в точке исследуемой частицы  $W'(\mathbf{R})$ :

$$W' = W'(\mathbf{R}) = W(\mathbf{r}, \mathbf{R}(t))|_{\mathbf{r}=\mathbf{R}} \quad (3.3.9)$$

Эта функция  $W'$  уже перестает быть плотностью полевой среды как таковой. Ее физический смысл сводится к описанию величины связи двух частиц в полевой среде, находящихся на расстоянии  $R$  друг от друга.

Полная производная этой функции связи  $W'$  равна частной производной по времени от функции плотности  $W$ :

$$\frac{dW'}{dt} = \frac{\partial W'}{\partial \mathbf{R}} \frac{d\mathbf{R}}{dt} = \mathbf{u} \nabla_{\mathbf{R}} W' = \mathbf{u} \nabla_{\mathbf{R}} W = \frac{\partial W}{\partial t} \quad (3.3.10)$$

Чтобы в полученном нами уравнении движения (3.3.8) перейти от функции  $W$  к функции  $W'$ , перепишем его в более удобном виде, путем раскрытия производной произведения:

$$\frac{1}{c^2} \left( \mathbf{u} \frac{\partial W}{\partial t} + W \frac{d\mathbf{u}}{dt} \right) = \nabla W \quad (3.3.11)$$

Теперь мы можем заменить:

$$W = W' \quad (3.3.12)$$

$$\nabla W = \nabla W' \quad (3.3.13)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{dW'}{dt} \quad (3.3.14)$$

Замена приводит нас к окончательному виду уравнения движения:

$$\frac{1}{c^2} \frac{dW' \mathbf{u}}{dt} = \nabla W' \quad (3.3.15)$$

Это и есть полевое уравнение движения. Его физический смысл состоит в описании ускорения частицы, движущейся в полевой среде, которая в этом случае характеризуется упрощенной функцией полевой связи частиц  $W' = W'(\mathbf{R})$ . Пока в этом уравнении нет больше ничего — ни масс, ни зарядов, ни сил. Оно описывает только зависимость между изменением полевой связи частиц и изменением их относительной скорости.

Вид функции связи  $W'(\mathbf{R})$  можно найти из волнового уравнения, которому также удовлетворяет функция  $W'(\mathbf{R})$  как частный случай функции  $W(\mathbf{r}, t)$ . Только для функции  $W'(\mathbf{R})$  выполняется условие  $\partial W'/\partial t = 0$  и, следовательно:

$$\nabla^2 W' = 0 \quad (3.3.16)$$

А это уравнение, как известно, имеет решение:

$$W'(\mathbf{R}) = \frac{\text{const}}{|\mathbf{R}|} = \frac{\text{const}}{R} = W'(R) \quad (3.3.17)$$

которое зависит только от относительного расстояния между частицами.

Как мы уже догадались, функция полевой связи двух частиц имеет смысл потенциальной энергии их взаимодействия или скалярного потенциала. Мы можем использовать оба этих понятия, потому что они отличаются друг от друга только на величину заряда  $q$  рассматриваемой частицы. Волновое уравнение и полевое уравнение движения линейны, а следовательно, они допускают умножение  $W'$  на постоянный коэффициент, в результате чего мы можем интерпретировать функцию полевой связи  $W'$  и как потенциал  $\phi$ , и как потенциальную энергию  $W_p = q\phi$ . В предыдущей главе мы рассматривали движение отдельной частицы, в результате чего функция плотности полевой среды соответствовала скалярному потенциалу (соотношение 2.7.18). В этой главе мы введем заряды и будем интерпретировать функцию полевой связи как потенциальную энергию. В этом смысле использование терминов потенциал или потенциальная энергия логически равнозначно.

Полученное нами уравнение движения в равной степени применимо как к электрической компоненте полевой среды, так и к гравитационной, хотя мы пока и не использовали никаких зарядов или констант. Но чтобы сделать полученные результаты похожими на известные классические формулы, мы можем написать для электрического поля:

$$W'_e = \frac{qQ}{R} = q\phi_e \quad (3.3.18)$$

где  $q$  и  $Q$  – электрические заряды взаимодействующих частиц,  $\phi_e$  – электрический потенциал, а электрическая константа принята равной единице. Для гравитационного поля выражение для функции связи – потенциальной энергии – будет выглядеть так:

$$W'_g = -G \frac{q_g Q_g}{R} = q_g \phi_g \quad (3.3.19)$$

где  $q_g$  и  $Q_g$  – гравитационные заряды (гравитационные массы) частиц,  $\phi_g$  – гравитационный потенциал, а  $G$  – гравитационная константа.

В этом смысле функция полевой связи частиц является своеобразным симбиозом функций плотности полевой среды и интенсивности источника, которые мы использовали в прошлой главе. Теперь они обе фак-

тически вошли в функцию полевой связи. Плотность в виде зависимости от расстояния, а интенсивность — в виде зарядов. Причем если раньше функция интенсивности источника описывала только один заряд, то теперь она соответствует их произведению и характеризует единую полевою оболочку! Поэтому, хотя мы и не использовали ее в явном виде, как в прошлой главе, она вошла в функцию полевой связи частиц в виде константы произведения зарядов. В этом свете применительно к функции полевой связи частиц мы будем использовать как термин «плотность», так и термин «интенсивность», подразумевая под этим единый количественный показатель для сравнения разных полевых сред.

Сделанные выводы еще раз демонстрируют концепцию полевой природы зарядов. Взаимодействие двух частиц определяется не отдельными зарядами, а только их произведением. Мы можем приписать одной частице заряд в  $k$  раз меньший, а другой — в  $k$  раз больший, и ничего не изменится! Именно произведение зарядов является величиной, определяющей интенсивность единой полевой среды, окружающей обе частицы.

### 3.4. Заряды, массы и силы

А теперь пора снимать сливки! Перепишем найденное нами полевое уравнение движения еще раз и получим сразу несколько красивых формул, позволяющих пролить свет на природу давно известных физических величин.

#### *Полевое уравнение движения*

$$\frac{1}{c^2} \frac{dW\mathbf{u}}{dt} = \nabla W \quad (3.4.1)$$

В этом уравнении мы убрали штрих у функции полевой связи частиц  $W$ . В дальнейшем мы для простоты будем использовать ее без штриха. При этом следует помнить, что вообще говоря,  $W$  — функция плотности полевой среды, имеющая определенные значения во всех точках пространства. Но в нашем уравнении присутствует ее упрощенный вариант — плотность полевой среды в окрестностях исследуемой частицы. И эта плотность зависит только от расстояния до второй частицы, взаимодействие с которой и происходит посредством полевой среды. В этом контексте физический смысл  $W$  сводится к функции полевой связи между взаимодействующими частицами. А классическим аналогом этой функции является потенциальная энергия взаимодействия.

Теперь давайте поймем физический смысл самого уравнения движения. Оно говорит нам о том, что в отличие от всех известных нам механик движение частицы не зависит ни от одной из ее классических характеристик! Ни от заряда, ни от массы, ни от чего-то еще. В полевой физике их просто нет! Однако мы можем их создать, чтобы сделать полевую механику похожей на классическую.

Первый шаг мы уже сделали чуть выше и ввели понятие заряда, а точнее, произведения зарядов двух частиц, которое характеризует интенсивность их единой полевой оболочки. Полевая механика при взаимодействии двух частиц приводит к виду функции полевой связи:

$$W(R) = \frac{\text{const}}{R} \quad (3.4.2)$$

*Мы можем ввести понятие характеризующих частицы зарядов –  $Z_1$  и  $Z_2$ , а также некую константу  $k$ , описывающую данное взаимодействие и согласующую размерность величин. Тогда функция полевой связи примет вид:*

$$W(R) = k \frac{Z_1 Z_2}{R} \quad (3.4.3)$$

Это выражение является более знакомым для классической физики.

Далее полевое уравнение движения говорит нам, что изменение скорости исследуемой частицы в процессе взаимодействия определяется изменениями функции полевой связи. Чтобы увидеть в этом уравнении знакомые нам величины и понять механизм его работы, следует привести новое уравнение движения к привычному классическому виду. Для этого надо умножить левую и правую часть полевого уравнения движения на  $-1$ :

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W \quad (3.4.4)$$

и ввести привычные обозначения:

**Формула полевой массы**

$$M = -\frac{W}{c^2} \quad (3.4.5)$$

**Формула силы в полевой среде**

$$\mathbf{F} = -\nabla W \quad (3.4.6)$$

В результате введения этих классических величин полевое уравнение движения приобретает хорошо знакомый вид второго закона Ньютона:

$$\frac{d\mathbf{M}\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (3.4.7)$$

Вот каким образом в полевой физике возникает масса и сила! Они являются динамическими характеристиками полевой среды. Сила определяется изменением плотности полевой среды в пространстве — от одной области поля к соседней. А масса — изменением плотности полевой среды со временем, что подтверждает правильность нашего взгляда на массу как на характерное время реакции системы. Полученный результат является яркой иллюстрацией сформулированного в первой главе принципа двойного действия, согласно которому полевое взаимодействие, с одной стороны, связано с действием на тело силы, а с другой — с изменением инертности (массы) этого тела.

Мы наконец доказали справедливость формулы для полевой массы (1.4.2), которую активно использовали с самой первой страницы этой книги. На самом деле данная формула является не более чем просто определением новой физической величины под названием масса. Ведь именно так она появляется в полевой физике. Однако, учитывая важную роль понятия массы, существующего в физике уже несколько веков, написанная формула носит фундаментальный характер и фактически раскрывает природу этой важнейшей физической величины. Чуть позже мы еще немного пофилософуем о взаимоотношениях формулы полевой массы с известным соотношением  $E = Mc^2$ .

Формула для силы также является в полевой физике определением этой величины. Она приводит к пониманию того, что все фундаментальные силы, связанные с полевыми взаимодействиями, потенциальны. Не потенциальными могут быть только псевдосилы, вроде сил инерции, например, магнитная сила, а также нефундаментальные силы, подобно силам трения, которые формально объединяют влияние множества разнородных причин.

*Полевое уравнение движения задает связь скорости движения исследуемой частицы с функцией плотности полевой среды в ее окрестностях. Величины массы, заряда и силы не фигурируют в полевом уравнении движения в явном виде. Все эти характеристики не принадлежат частице, а определяются полевой средой в ее окрестностях.*

Мы также мимоходом получили еще два важнейших закона классической физики — закон всемирного тяготения и закон Кулона. Если мы используем для функции полевой связи написанное выше выражение (3.4.3), то формула для силы примет вид:



$$\mathbf{F} = -\nabla W = k \frac{Z_1 Z_2}{R^3} \mathbf{R} \quad (3.4.8)$$

Как мы и говорили раньше, оба закона обратных квадратов родственны. Они суть один и тот же закон геометрии, который говорит нам о том, что в трехмерном пространстве площадь сферы растет пропорционально квадрату радиуса, а следовательно, плотность потока спадает обратно пропорционально этой величине. Мы получили закон обратных квадратов из уравнения  $\nabla^2 W = 0$ , что аналогично сформулированному здесь утверждению о сохранении потока, которое имеет эквивалентную математическую форму в виде соотношения  $\nabla \cdot \mathbf{F} = 0$ .

Все полученные в этом разделе формулы объединяет одно важное обстоятельство. Введенные нами физические величины — заряды, массы и силы — оказываются обусловленными едиными свойствами полевой среды и определяются значением функции полевой связи частиц  $W$ . Выражение классических величин через характеристики полевой среды является важным шагом вглубь физики, ведущим к пониманию внутренней природы процессов и явлений, к ответам на вопросы «Почему?» И это важное обстоятельство требует отдельного обсуждения.

### ***3.5. Напряженность поля, потенциал и научное мышление***

Новый взгляд на известные физические величины заметно меняет их приоритетность. Так в полевой физике первостепенная роль переходит к функции полевой связи  $W$ , классическими аналогами которой служат скалярный потенциал и потенциальная энергия. При этом роль силы или напряженности поля, равной градиенту потенциала  $\mathbf{F} = -\nabla W$ , становится почти незаметной. Меняется также и сам подход к определению потенциала.

Как в классической, так и в современной физике скалярный потенциал играет только вспомогательную роль, потому что его величина определена неоднозначно, с точностью до произвольной константы. Физический смысл имеет только разность потенциалов, определяющая величину силы, которая, в свою очередь, поддается измерению в экспериментах. Поэтому абсолютная величина потенциала оказывается в современной физике лишеной смысла и ее нельзя использовать для сравнения интенсивности полей, в результате чего для этих целей используется напряженность.

Вообще говоря, уравнение Лапласа  $\nabla^2 W = 0$ , которое мы использовали для получения выражения функции полевой связи:

$$W(R) = \frac{\text{const}}{R} \quad (3.5.1)$$

имеет еще и тривиальное решение  $W = \text{const}$ . А значит, на основании уравнений полевой среды функция  $W$  тоже определена только с точностью до константы, и нам вместо (3.5.1) следовало бы записать:

$$W(R) = \frac{(\text{const})_1}{R} + (\text{const})_2 \quad (3.5.2)$$

Это обстоятельство является результатом того, что уравнения полевой среды связывают только изменения ее плотности, только производные функции  $W = W(\mathbf{r}, t)$ .

Однако подобный произвол носит только формальный математический характер. Как мы уже поняли, функция  $W(R)$  имеет физический смысл величины связи частиц в полевой среде. И совершенно очевидно, что по мере неограниченного увеличения расстояния между частицами  $R \rightarrow \infty$  подобная взаимосвязь так или иначе должна сходиться на нет  $W(R \rightarrow \infty) \rightarrow 0$ . Проще говоря, логика полевой физики накладывает на потенциал однозначное условие нормировки:

$$W(\infty) = 0 \quad (3.5.3)$$

которому естественным образом соответствует использованное нами выражение (3.5.1).

Впрочем, логически обоснованное условие нормировки является не единственной причиной, повышающей роль скалярного потенциала в полевой физике. Теперь потенциал из вспомогательной величины становится величиной осязаемой, которую можно измерить экспериментально! Каждый раз, измеряя массу некоего тела  $m$ , мы автоматически измеряем абсолютную величину потенциала поля (потенциальной энергии), которое обуславливает наличие этой массы в согласии с формулой  $W = -mc^2$ . В полевой физике потенциал перестает быть промежуточной величиной, нужной только для вычисления напряженности поля, а становится экспериментально измеряемым! Причем речь идет не об измерении разности потенциалов, а об измерении его абсолютной величины!

Например, благодаря взаимодействию с первым источником исследуемое тело приобретает массу  $m$ , а со вторым  $2m$ . Это означает, что в данной области пространства второе поле вдвое интенсивнее первого, а его потенциал вдвое больше (по абсолютной величине). Получается, что именно величина потенциала, а не напряженность поля характеризует его интенсивность! Чем больше потенциал, или на языке полевой физики – плотность (или интенсивность) полевой среды, тем поле сильнее. Потому что влияние такого поля будет создавать всем взаимодействующим с ним телам большую величину инертности.

Это очень важное обстоятельство. В полевой физике мы будем сравнивать поля именно по величине потенциала, по величине создаваемой ими массы, а не по величине напряженности или силы, действующей в этом поле. Мы говорим о том, что самым интенсивным из всех взаимодействий в нашем Мире является глобальное взаимодействие – совокупное поле всех гравитационных источников во Вселенной, потому что оно обуславливает основной вклад в массы всех тел, то есть его потенциал  $W_g$  очень велик. При этом в окрестностях Земли, учитывая малость этой области пространства по сравнению с размерами Вселенной, потенциал глобального поля практически неизменен  $W_g \approx \text{const}$ . Поэтому глобальное поле не приводит к возникновению относительных сил между телами на Земле и его напряженность можно считать равной нулю  $\nabla W_g \approx 0$ . Таким образом, оперируя напряженностями полей, нам следовало бы считать глобальное взаимодействие, наоборот, самым слабым полем, что является крайне абсурдным!

Оказывается, что эквивалентные с точки зрения современной физики условия  $W = \text{const}$  и  $W = 0$  в полевой физике принципиально различны. Нулевое значение потенциала означает отсутствие поля как такового, нулевую плотность полевой среды, нулевой вклад этого поля в массы тел. Постоянное значение потенциала, напротив, означает наличие реальной полевой среды с определенной плотностью, вносящей конкретный вклад в массы объектов. Эти условия схожи только в том, что в обоих случаях не возникает никаких сил, и в современной физике на основании этого обстоятельства делается вывод об эквивалентности подобных условий. Однако полевая физика позволяет понять, что эти два случая принципиально различны.

С философской точки зрения различие подходов к описанию поля, построенных на напряженности и на потенциале, носит важный методологический характер. Напряженность поля во многом является продуктом эмпирического подхода. Фактически это сила, действующая на единицу заряда. И если наше изучение поля связано исключительно с

измерением и сравнением сил, то напряженность является как раз той характеристикой, которой достаточно для поверхностного, но в то же время прагматичного подхода. А потенциал в этом смысле является неким излишним усложнением, требующим напрягать воображение и представлять себе некую абстрактную картину поля.

Но как только мы задаемся целью понять природу и внутренние механизмы действия физических полей, все кардинально меняется. Очень скоро мы начинаем понимать, что известная величина напряженности поля не позволяет нам узнать о нем больше ничего. В то время как функция потенциала дает возможность представить себе полевою среду в виде некой реальной субстанции, распределенной в пространстве с определенной плотностью. А градиент этой функции, описывающий перепады плотности полевой среды в той или иной точке пространства, будет определять величину электрической силы. Более того, при движении зарядов на основе скалярного потенциала можно построить еще и векторный потенциал, который, в свою очередь, позволяет вычислить вектор магнитного поля. А как нам стало понятно в рамках полевой физики, потенциал определяет еще одну хорошо известную эмпирическую величину – массу, а также он оказывается тесно связанным с зарядом. Получается, что вся разрозненная гамма совершенно разных эмпирических характеристик частиц и полей складывается в единую мозаику вокруг всего одной величины – потенциала!

Это обстоятельство позволяет нам сделать важный вывод об особой роли потенциала в описании полевой среды. Теперь мы знаем, с чем связана эта роль. Классический скалярный потенциал оказался инструментом, описывающим плотность невидимой полевой среды, лежащей в основе всех полевых явлений, а также механического движения. Получается, что благодаря функции потенциала мы можем как бы «увидеть» полевою среду, подобно тому, как поверхность моря позволяет нам увидеть воду и ее движение! И именно на основании понятия потенциала Фарадей в свое время смог «увидеть» электрическое поле и построить первую теорию электромагнетизма.

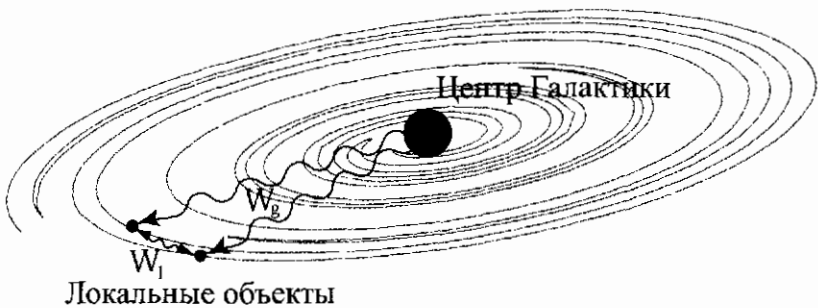
Напряженность поля и потенциал – величины разных уровней понимания физической науки. Напряженность больше подходит для описательной физики, способной отвечать на вопросы «Как?» и развивающейся вширь благодаря эмпирике. Потенциал характерен для физики другого уровня, опирающейся на построение моделей и научное мышление. Для физики, способной отвечать на вопросы «Почему?» Для физики, позволяющей проникнуть вглубь механизмов, положенных в основу нашего Мира.

### 3.6. Классическое движение или пассивная инертность

В этой главе мы получили уже немало красивых формул. А также нашли полевое уравнение движения и сделали его похожим на классическое. Однако перейти к каким-либо конкретным прикладным задачам мы пока не можем, потому что теперь необходимо «вписать» полевое уравнение движения как таковое в реалии земных процессов. Провести его адаптацию. И истинная красота перехода полевой физики к классической состоит в следующем (рисунок 3.6.1).

*На поверхности Земли любое локальное взаимодействие, будь то сила тяжести, электрическое притяжение заряженных шаров или какое-то другое взаимодействие, мы можем описать потенциальной энергией (или просто потенциалом)  $W_l$ . Поведение тел под действием таких локальных полей обычно и интересует экспериментаторов и инженеров.*

*Но чтобы получить правильные результаты поведения отдельных тел на поверхности Земли под действием локальных полей, необходимо принять во внимание тот важный факт, что Земля является частью огромной Вселенной. Как и все изучаемые нами объекты на ее поверхности. И все они постоянно находятся в сильнейшем гравитационном поле, созданном сово-*



**Рисунок 3.6.1.** Любой объект на поверхности Земли или в космосе помимо локальных взаимодействий прежде всего испытывает влияние глобального взаимодействия, обусловленного совокупным гравитационным полем Вселенной.

*купностью всех объектов во Вселенной, которое мы назвали глобальным взаимодействием и будем в дальнейшем описывать потенциалом  $W_g$ .*

Локальные поля и глобальное взаимодействие очень сильно различаются по своим свойствам. Так, глобальное взаимодействие, как правило, гораздо интенсивнее большинства локальных полей, что мы можем выразить следующим соотношением:

$$|W_g| \gg |W_l| \quad (3.6.1)$$

При этом интенсивность глобального взаимодействия в пределах Земли и Солнечной системы можно считать примерно постоянной. Более того, Солнечная система со всеми планетами движется в этом поле как единое целое. Глобальное взаимодействие не приводит к возникновению относительных сил и перемещений между различными телами в Солнечной системе или на Земле. Это обстоятельство мы можем записать так:

$$|\nabla W_g| \ll |\nabla W_l| \quad (3.6.2)$$

или в другой формулировке:

$$W_g \approx \text{const} \quad (\text{в пределах Солнечной системы}) \quad (3.6.3)$$

Движение любого тела на поверхности Земли или в Солнечной системе будет определяться совокупным влиянием этих двух принципиально различных компонент полевой среды. Мы можем ввести суммарный потенциал  $W$ :

$$W = W_g + W_l \quad (3.6.4)$$

Пока речь идет о классическом движении, мы можем довольно смело использовать прямое сложение потенциалов. Однако следует также учесть, что все сказанное в предыдущей главе о принципе суперпозиции имеет отношение к объединению однотипных полевых оболочек частиц, например нескольких электронов, в единую полевую оболочку группы частиц. В случае подобного слияния происходит существенное перераспределение плотности полевой среды, и при сложении отдельных оболочек могут возникать перекрестные слагаемые.

В нашем случае речь идет о принципиально ином сложении. Это одновременное влияние на одно и то же тело двух различных компонент полевой среды, которые при этом не являются взаимозависимыми и не сливаются в одну оболочку. Они даже могут иметь совершенно различную природу. Так, глобальное взаимодействие является гравитационным, а локальное может быть электрическим. В этом случае разные

компоненты полевой среды выглядят совершенно не связанными, а поэтому пропадают и основания для появления в этом случае каких-либо перекрестных членов.

В результате мы должны подставить полный потенциал  $W$  в наше полевое уравнение движения (3.4.1):

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g + W_l}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_g - \nabla W_l \quad (3.6.5)$$

И именно на этом этапе возникает одно из приближений полевой физики под названием классическая механика. Вся красота этого перехода состоит в том, что классическая физика является идеализацией, в которой все массы определяются исключительно глобальным взаимодействием, а все силы носят только локальный характер. Другими словами, наши приближенные условия (3.6.1) – (3.6.2) в классической механике становятся точными:

$$W_g + W_l = W_g \quad (3.6.6)$$

$$\nabla W_g + \nabla W_l = \nabla W_l \quad (3.6.7)$$

*Полевое уравнение движения в классическом приближении принимает вид:*

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_l \quad (3.6.8)$$

***Классическая механика является приближением полевой физики, в котором все массы тел определяются только глобальным взаимодействием, а силы носят только локальный характер. Подобная идеализация приводит к полному разделению двух компонент полевой среды, позволяет оперировать постоянной массой и обеспечивает выполнение законов Ньютона.***

В результате каждый объект на Земле и в Солнечной системе приобретает в классической механике постоянную положительную классическую массу, обусловленную только глобальным взаимодействием:

$$m = -\frac{W_g}{c^2} = \text{const} > 0 \quad (3.6.9)$$

Подобную массу можно рассматривать как внутреннее, или «врожденное», свойство тела. В определенном смысле ее можно интерпретировать как своеобразную «меру количества материи», заключенной в теле.

Однако следует помнить, что в других областях космоса подобная классическая масса будет уже иной. Хотя в каждой отдельной области пространства, ничтожно малой по сравнению с размерами Вселенной, величина этой массы также будет оставаться примерно постоянной. Мы будем называть такую массу пассивной.

*Пассивная инертность создается постоянным внешним полем  $W(\mathbf{r}) = \text{const}$ , имеющим одинаковую величину плотности (функции полевой связи) в рассматриваемой области пространства. В результате такого взаимодействия объект приобретает постоянную массу, а его движение определяется только действием сил. Этот случай соответствует классической механике.*

*Активная инертность связана с наличием переменной интенсивности поля  $W(\mathbf{r})$  в рассматриваемой области пространства, в результате чего объект приобретает массу, которая меняется в процессе его движения. Характер движения объекта с активной инертностью в равной мере зависит как от действия сил, так и от изменения массы. Подобное движение заметно отличается от классического и представляет собой пример принципиально иной механики.*

Мы подробно рассмотрим движение тел с активной инертностью в пятой и шестой главах. В классической же механике масса почти не влияет на динамику тел и является лишь постоянным коэффициентом.

С другой стороны, силы, определяющие движение тел в классической механике, определяются только локальными полями. Роль глобального взаимодействия в масштабах Земли и Солнечной системы сводится только к созданию постоянных масс тел, но не создает заметных сил, которые приводили бы к относительному движению объектов. В результате возникает полное разделение двух компонент полевой среды — глобальной и локальной. Первая определяет массы, а вторая — силы. Такое положение дел приводит к известному набору следствий, являющихся приложениями второго закона Ньютона, к которому в классическом приближении свелось полевое уравнение движения:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = \frac{d m \mathbf{u}}{dt} = m \frac{d \mathbf{u}}{dt} = -\nabla W_l = \mathbf{F} \quad (3.6.10)$$

Механизм работы этого уравнения и все его следствия изучены достаточно подробно. И пока мы имеем дело с классическими условиями, удовлетворяющими написанным выше соотношениям (3.6.6) – (3.6.7), классическое уравнение движения идеально описывает все явления природы. Но как только обстоятельства начинают меняться, возникают серьезные проблемы.



Первый класс проблем связан с тем, что далеко не все локальные взаимодействия дают пренебрежимо малый вклад в массу. Мы видели это уже в первой главе на примере полевой добавки, обусловленной обычными электромагнитными полями. Когда речь заходит о сильных полях — взаимодействиях элементарных частиц или ядерных силах, то вклад в массу таких локальных полей может оказаться намного больше обычной классической массы. Отчасти подобные явления формально описаны релятивистскими формулами, однако полевая физика вносит в эту область очень много нового.

Другое отклонение от классического поведения связано с тем, что глобальное взаимодействие не приводит к действию относительных сил только для сравнительно малых областей космоса и только в первом приближении. Как мы уже видели на примере аномального смещения перигелия Меркурия, влияние глобального взаимодействия разрушает классическую идиллию даже в Солнечной системе, хотя эти отклонения и очень малы. Если же рассматривать движение объектов за пределами Солнечной системы, движение Солнечной системы относительно центра нашей Галактики или динамику нашей Галактики в целом, то механика Ньютона оказывается совершенно неприменимой.

Есть и еще одна область явлений, в которых классическое поведение не работает. Речь идет о квантовых процессах. И лежит она даже за пределами написанного нами уравнения движения. Потому что мы вывели его исходя из представлений о том, что возмущения полевой среды могут быть связаны только с движением исследуемых частиц. В этом случае полевая среда подобна спокойному морю в хорошую погоду, а частицы своим движением лишь слегка возмущают ее. Но как мы уже говорили, квантовое поведение возникает тогда, когда полевая среда становится подобной бушующему океану, и частицы во многом следуют за ее движением.

Для описания процессов в этом случае нам потребуется учесть возможность существования собственных возмущений и внутренних движений в полевой среде, которые могут оказаться определяющими для движения исследуемых частиц. Более того, в этом случае будет уже недостаточно найти поведение полевой среды только в окрестности исследуемой частицы, а придется вычислять функцию плотности во всех точках пространства. У полевой среды в этих условиях появляется набор собственных частот, а также устойчивых состояний, которые во многом и определяют характер движения частиц, в том числе неустойчивость и дискретность.

К тому же есть еще более сложные процессы, о которых мы говорили в конце предыдущей главы. Это образование и разрыв связанных состоя-

ний частиц и полевой среды, преобразование одних частиц в другие и прочие до конца не понятные явления. Поэтому, несмотря на широкий охват классической физикой большинства обыденных явлений, в фундаментальном смысле она представляет собой лишь очень узкую область физики.

### ***3.7. Абсолютное и относительное движение***

На этом разговор о классической механике можно было бы закончить. Мы уже поняли, как возникает это приближение полевой физики, получили классическое уравнение движения, и дальше становится совершенно ясно, как получить все остальные результаты. Такой подход был бы справедлив, если бы полевая физика служила лишь продолжением классической физики на более широкий круг явлений и процессов. Однако это не так.

Полевая физика не расширяет, а полностью заменяет практически все основные представления классической физики. Меняет почти все ее постулаты и основные принципы. Поэтому наш обзор этой области знаний только начинается. И обещает обнаружить еще очень много нового и интересного в самых обыденных вещах, которые веками лежали у нас «под носом».

Рассмотрим самый простой пример. Одну-единственную изолированную частицу. В классической физике принято считать, что такая частица обладает некой массой  $m$ . Более того, она может двигаться относительно выбранной системы отсчета с некой скоростью  $\mathbf{u}$ .<sup>12</sup> Согласно Ньютону – относительно некоего абсолютного пространства. Согласно более поздним представлениям – относительно неподвижного эфира. Но так или иначе классическая физика (как и современная физика) вынуждена выделить некий особенный класс инерциальных систем отсчета, относительно которых скорость движения изолированной частицы будет оставаться неизменной.

А теперь давайте посмотрим, как все это будет выглядеть с позиций полевой физики. Прежде всего следует отметить, что полностью изолированная частица вообще не обладает массой! Ее масса равна нулю! Полевое уравнение движения в данном случае становится тривиальным. Из-за условия  $W = 0$  оно приобретает вид  $0 = 0$ . Другими словами, движение изолированной частицы вообще лишено смысла. И примечательным является то, что в окружающем нас мире полностью изолированных объектов просто не существует! Изолированный объект – иллюзия!

Более того, для изолированной частицы является неопределенной скорость ее движения  $u$ . По той простой причине, что в полевой физике скорость, как и местоположение, могут быть определены только относительно каких-либо других тел, с которыми взаимодействует данная частица. А если других тел нет, то не имеет смысла ни скорость частицы, ни ее местоположение!

Но почему же все эти обстоятельства не возникают в классической физике? Потому что классическая физика на самом деле никогда не рассматривает изолированные объекты! Как только мы приписали нашей частице некую массу  $m$ , она сразу же перестала быть изолированной! Как мы теперь знаем, наличие у частицы некой массы означает, что она уже вовсе не изолированная, а находится под воздействием внешнего гравитационного поля, под влиянием глобального взаимодействия. Пусть даже источник этого поля находится очень далеко и полностью выпадает из обыденного внимания.

Тем не менее, мы можем даже определить величину такого внешнего поля. Потенциальная энергия связи частицы массой  $m$  с глобальным гравитационным полем есть:

$$W_g = -mc^2 \quad (3.7.1)$$

Пусть гравитационный заряд нашей частицы равен  $q_g$ , тогда величина потенциала глобального поля в данной точке пространства равна:

$$\varphi_g = -\frac{mc^2}{q_g} \quad (3.7.2)$$

А если мы смогли хотя бы примерно определить местоположение основного источника этого глобального поля и расстояние до него, то сможем даже вычислить его гравитационный заряд! Вот сколько информации об окружающей нас Вселенной можно получить только на основании того, что мы приписали нашей частице некую массу  $m$ ! Несколькими разделами позже мы используем этот подход для того, чтобы «взвесить» нашу Галактику!

Более того, заметив наконец существование глобального взаимодействия, мы начинаем понимать, что у нас появился ориентир для определения положения и скорости нашей частицы. Мы определяем ее местоположение не относительно некоего абсолютного пространства или какой-то умозрительной системы отсчета, а относительно источника глобального взаимодействия! Это может быть, например, наиболее массивный центр нашей Галактики, или так называемая система непо-

движных звезд. И именно относительно центра Галактики имеет смысл отсчитывать скорость движения нашей частицы.

И все это имеет очень важное значение для закона инерции. Ведь если масса нашей частицы определяется наличием внешнего глобального поля, то именно относительно него частица и будет сохранять постоянную скорость, когда на нее не действуют никакие иные силы! Именно система неподвижных звезд является той самой инерциальной, или предпочтительной, системой отсчета, относительно которой скорость свободной частицы будет оставаться постоянной. А Земля и Солнечная система могут считаться инерциальными только с натяжкой, когда мы пренебрегаем их движением относительно системы неподвижных звезд.

Хотя во многом равномерное и прямолинейное движение — это тоже идеализация классической механики. Потому что если существует внешнее глобальное взаимодействие, которое обуславливает массу частицы, то это же самое поле будет приводить и к действию силы! Даже если нет больше никаких локальных полей. Поэтому под действием глобального взаимодействия частица, вообще говоря, не будет двигаться равномерно и прямолинейно. Она будет вращаться вокруг центра Галактики, как это происходит с Солнечной системой и другими звездными системами. Однако в очень малых областях космоса, которые рассматривает классическая механика, это криволинейное движение вокруг источника глобального взаимодействия будет казаться отрезком прямой!

Математически это выглядит так. Если на тело не действуют никакие локальные силы, то  $\nabla W_i = 0$ . В малых областях космоса, таких как Земля и Солнечная система, можно считать  $W_g = \text{const}$ . В результате этого масса исследуемой частицы остается постоянной  $m = -W_g/c^2 = \text{const}$ , а дополнительные силы, вызванные глобальным взаимодействием, тоже отсутствуют,  $\nabla W_g = 0$ .

Вообще говоря, эти силы могут быть достаточно велики, даже если и потенциал  $W_g$  является почти постоянным. Это происходит за счет очень большой величины гравитационного заряда Галактики по сравнению с зарядами обычных тел на поверхности Земли. Но эти силы не проявляются в земных экспериментах, так как Земля и Солнечная система движутся под их влиянием как единое целое. Так что суть результата от этого не меняется.

Итак, в земных условиях при отсутствии локальных полей частица будет двигаться равномерно и прямолинейно в согласии с уравнением движения:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = 0 \quad (3.7.3)$$

которое теперь принимает более знакомый вид:

$$\frac{d\mathbf{m}\mathbf{u}}{dt} = m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = 0 \quad (3.7.4)$$

В этом и состоит суть принципа инерции Галилея. Он выполняется только в малых областях космоса и является, по сути, только локальным земным правилом.

Важно отметить, что согласно нашей логике полевое уравнение движения для отдельной частицы должно быть записано в системе поля, связанной с источником глобального взаимодействия. А значит, частица будет сохранять свою скорость не относительно пространства как такового или некой инерциальной системы отсчета, а относительно системы неподвижных звезд или центра нашей Галактики. Хотя с учетом оговорки, приведенной выше, сохранение величины скорости движения будет происходить и относительно Земли. В результате чего Земля для большинства классических явлений становится подходящей инерциальной системой.

Если же мы говорим о движении частицы уже не в малой области космоса, то принцип инерции Галилея существенно меняется. Даже при отсутствии локальных полей уравнение движения частицы приобретает вид с переменной величиной  $W_g$ :

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_g \quad (3.7.5)$$

Это уравнение описывает уже далеко не равномерное прямолинейное движение. Даже если рассматривать движение частицы только относительно Земли, которая также вместе с Солнечной системой движется под действием глобального взаимодействия как единое целое, то это позволяет исключить из уравнения только слагаемое  $\nabla W_g$ , как внешнюю силу, не приводящую к относительным перемещениям объектов на Земле. При этом уравнение движения приобретает вид с переменной величиной  $W_g$ :

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = 0 \quad (3.7.6)$$

или

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\frac{W_g}{c^2} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \frac{\mathbf{u}}{c^2} \frac{dW_g}{dt} = \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \cdot (\mathbf{u} \cdot \nabla W_g) \quad (3.7.7)$$

Получается, что даже при отсутствии всяких внешних сил скорость частицы не остается постоянной! Возникает некая внутренняя сила инерции, стоящая в правой части уравнения движения. И зависит эта сила инерции от изменения потенциала глобального поля. В этих условиях скорость частицы определяется соотношением:

$$\mathbf{u} \cdot W_g = \text{const} \quad (3.7.8)$$

и без какого-либо действия внешних сил возрастает или уменьшается по мере перемещения частицы в область меньшего или большего (по модулю) потенциала глобального поля! Это типичный пример движения тела с активной инертностью, совершенно непривычный и новый как с точки зрения классической механики, так и всей современной физики, которая не имеет подобных аналогов. Мы подробно разберемся с этим режимом движения в пятой и шестой главах.

*Принцип инерции Галилея является локальным правилом, справедливым только для малых областей космоса. По мере перемещения тела из области более сильного поля в область более слабого поля, или наоборот, даже при отсутствии всяких внешних сил его скорость меняется за счет изменения величины инертности.*

*При движении тела в малых областях космоса, в которых глобальное поле можно считать постоянным, состояние равномерного прямолинейного движения сохраняется. Это происходит не по отношению к какой-либо системе отсчета, а по отношению к источникам массы тела — основным гравитирующим объектам нашей Галактики.*

Таким образом, мы теперь на более основательном уровне пришли к осознанию нескольких принципов, интуитивно сформулированных в первой главе. И прежде всего к принципу предпочтительной системы отсчета.

*Система неподвижных звезд, или центр нашей Галактики, является предпочтительной или инерциальной системой отсчета для всех классических явлений. А точнее, для всех тех объектов, чью массу обуславливает глобальное взаимодействие. Если другую часть массы тела обуславливает не глобальное, а иное локальное взаимодействие, то для этой компоненты массы инерциальной системой будет источник именно этого локального поля. Что мы и получили в первой главе.*

*В полевой физике теряет смысл выделенное положение инерциальных систем отсчета, в которых справедливо классическое уравнение движения. Первостепенное значение приобретают системы отсчета, связанные с источниками полей, которые мы назвали системами поля. Именно в системе поля является справедливым полевое уравнение движения. И если необходимо рассчитать движение какого-то объекта, то следует сначала определить, что является источником поля, под воздействием которого объект движется, и записать полевое уравнение движения в системе отсчета, связанной с источником этого поля. В следующей главе мы научимся записывать полевое уравнение движения в произвольной системе отсчета.*

Полевое уравнение описывает только относительное движение. Движение исследуемого объекта относительно другого объекта, с которым происходит взаимодействие. В полевой физике нет абсолютного пространства, абсолютного движения и абсолютных скоростей. И абсолютных систем отсчета, каковыми являются все инерциальные системы. В полевой физике имеют смысл только относительные системы отсчета, призванные описывать движение одного взаимодействующего тела относительно другого.

В следующей главе мы поставим точку в вопросах относительности. А именно, мы окончательно выведем правила комбинации нескольких движений, когда исследуемый объект взаимодействует одновременно с разными телами, движущимися неодинаково, и существует сразу несколько различных систем поля. А пока, рассматривая движение тела под влиянием одновременно локального и глобального взаимодействий, мы вынуждены совмещать системы поля этих двух источников. Другими словами, наше уравнение движения справедливо пока только для тех случаев, когда источник локального взаимодействия покоится относительно системы поля глобального взаимодействия, то есть относительно системы неподвижных звезд. Или проще говоря — относительно Земли, если пренебречь ее движением и вращением.

В следующей главе мы также научимся записывать уравнение движения не только в системе поля, а в любой другой системе отсчета. Без разницы, является ли она инерциальной в понимании классической механики или неинерциальной. Потому что в полевой физике различия между этими классами систем отсчета полностью стираются.

### **3.8. Принцип эквивалентности**

Пожалуй, в современной физике трудно найти другой такой фундаментальный принцип, который за период всего своего существования на

протяжении нескольких веков почти не подвергался критике и с легкостью принимался на веру. Одной из причин этого служит его хорошее экспериментальное подтверждение. Хотя это даже не самая основная причина.

Истинная причина состоит в том, что на протяжении всех этих столетий не возникло ни одной заметной физической концепции, которая указывала бы на несостоятельность принципа эквивалентности. Просто современная физика не мыслит себе Мир без принципа эквивалентности! И если бы вдруг кто-то из экспериментаторов случайно обнаружил условия, в которых соотношение инертной и гравитационной масс перестает быть пропорциональным, то этот факт очень сильно озадачил бы весь научный мир. Потому что в современной научной парадигме этого не может быть, потому что этого не может быть никогда!

Мы уже неоднократно говорили о принципе эквивалентности. В частности, о том, почему в земных условиях возникает видимое равенство двух типов масс. И почему все современные эксперименты его подтверждают. И как можно экспериментально зарегистрировать отклонения от этого равенства. Мы вновь вернулись к этой теме еще раз по нескольким причинам.

Во-первых, чтобы показать иллюзию возникновения эквивалентности двух типов масс не только на основании интуитивных догадок, а математически, с помощью полевого уравнения движения. Во-вторых, чтобы еще раз намекнуть экспериментаторам на то, что перед ними открывается возможность поставить эксперимент века. И открыть дверь в иное измерение физики уже на прикладном уровне. Открыть дверь, ведущую к возможности управления массами тел. А в-третьих, получить на основании нашего понимания природы массы еще ряд красивых соотношений.

Когда в нашем классическом варианте полевого уравнения движения:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_l \quad (3.8.1)$$

$W_l$  имеет электрическую природу, то правая и левая части уравнения оказываются несвязанными между собой. Возникает широкий спектр возможных значений отношения электрического заряда тела к его массе. Если потенциал глобального взаимодействия в окрестностях Земли постоянен  $\Phi_g = \text{const}$ , потенциал локального электрического поля равен  $\Phi_l$ , а гравитационный и электрический заряды исследуемого тела —  $Q_g$  и  $q_e$ , то возникают следующие соотношения:



$$W_g = q_g \varphi_g \quad (3.8.2)$$

$$W_l = q_e \varphi_l \quad (3.8.3)$$

Уравнение движения принимает вид:

$$-\frac{q_g \varphi_g}{c^2} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -q_e \nabla \varphi_l \quad (3.8.4)$$

или

$$m_l \frac{d\mathbf{u}}{dt} = q_e \mathbf{E} \quad (3.8.5)$$

где  $m_l = -q_g \varphi_g / c^2 = \text{const}$  – инертная масса исследуемого тела, а  $\mathbf{E} = -\nabla \varphi_l$  – напряженность электрического поля. В этих условиях ускорение тела определяется соотношением электрического заряда и инертной массы:

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = \frac{q_e \mathbf{E}}{m_l} \quad (3.8.6)$$

и может быть разным для разных тел.

Но если локальное поле тоже является гравитационным, например, это сила тяжести Земли, то между обеими частями уравнения возникает связь. Пусть теперь  $\varphi_l$  – потенциал поля тяжести Земли на ее поверхности. Тогда  $W_l = q_g \varphi_l$ , а уравнение движения принимает вид:

$$-\frac{q_g \varphi_g}{c^2} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -q_g \nabla \varphi_l \quad (3.8.7)$$

и обнаруживает важное свойство. И правая, и левая части уравнения оказываются пропорциональны гравитационному заряду тела! В этом случае гравитационный заряд просто сокращается, и уравнение движения принимает вид:

$$\frac{d\mathbf{u}}{dt} = c^2 \frac{\nabla \varphi_l}{\varphi_g} = \mathbf{g} \quad (3.8.8)$$

Таким образом, ускорение  $\mathbf{g}$  падающего в поле силы тяжести тела становится вообще не зависящим от самого тела! Оно определяется соотношением трех величин. Одна из них – константа скорости света  $c$ . Вторая – напряженность поля силы тяжести на поверхности Земли  $\nabla \varphi_l$ . Оно может варьироваться в зависимости от точки поверхности, высоты

над ней и прочих подобных факторов, однако все это – незначительные поправки.

Третья величина наиболее интересна. Это потенциал глобального взаимодействия в окрестностях Земли  $\varphi_g$ . Он является функцией местоположения Солнечной системы в космосе:

$$\varphi_g = \varphi_g(R_{Sol}) \quad (3.8.9)$$

где  $R_{Sol}$  может быть, например, расстоянием от Солнца до центра нашей Галактики. Потенциал глобального взаимодействия может существенно меняться только по мере заметного приближения или удаления Солнечной системы от сильногравитирующих объектов. Поэтому в обычных земных условиях все эти три величины с хорошей точностью остаются постоянными. Вот какова природа постоянства ускорения свободного падения любого тела на поверхности Земли!

Мы можем математически выразить суть принципа эквивалентности еще и немного по-другому. Согласно полученной нами формуле инертная масса тела на поверхности Земли определяется соотношением:

$$m_i = -\frac{W_g}{c^2} = -\frac{q_g \varphi_g}{c^2} \quad (3.8.10)$$

А потенциал глобального взаимодействия в окрестностях Земли и Солнечной системы, созданный распределением гравитирующих объектов во Вселенной с зарядами  $(Q_g)_k$ , находящимися на расстоянии  $R_k$  от Солнечной системы, равен:

$$\varphi_g = \sum_k (\varphi_g)_k = -G \cdot \sum_k \frac{(Q_g)_k}{R_k} = -G \cdot S(R_{Sol}) \quad (3.8.11)$$

где  $S(R_{Sol})$  выражает величину суммы отношений гравитационных зарядов космических объектов к их расстоянию до области нахождения Земли и Солнечной системы, а  $G$  – гравитационная постоянная. Тогда инертная масса любого тела на поверхности Земли и в Солнечной системе оказывается пропорциональной его гравитационному заряду:

$$m_i = \frac{G}{c^2} \cdot S(R_{Sol}) \cdot q_g = K(R_{Sol}) \cdot q_g \quad (3.8.12)$$

Такова структура магической пропорциональности инертной и гравитационной масс! Коэффициентом пропорциональности служит величина  $K$ , которая является разной для разных областей космоса. По мере

приближения к сильногравитирующим объектам, и в частности к центру нашей Галактики, инертные массы всех тел возрастают. По мере удаления — уменьшаются. Однако в пределах сравнительно небольших областей Вселенной, таких как наша Солнечная система, величина  $K$  фактически не меняется. Это и создает иллюзию равенства двух типов масс. В Солнечной системе и на Земле единица гравитационного заряда тела всегда обеспечивает ему наличие фиксированной величины инертной массы.

С помощью определенного выбора системы единиц можно сделать коэффициент пропорциональности  $K$  равным единице для одной из областей космоса и говорить о полной эквивалентности двух типов масс в этом месте. Что и было сделано еще очень давно. Полное равенство двух типов масс в пределах Земли и Солнечной системы было обеспечено за счет выбора величины гравитационной постоянной  $G = 6,67 \cdot 10^{11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$ . Эта величина как раз и была введена так, чтобы ускорение единичного гравитационного заряда в поле тяготения Земли соответствовало ускорению инерции единичной инертной массы.

Проще говоря, благодаря известному значению гравитационной постоянной в окрестностях Земли и в Солнечной системе обеспечивается выполнение условия:

$$K(R_{\text{Sol}}) = 1 \quad (3.8.13)$$

или:

$$m_1 = q_g \text{ (в пределах Солнечной системы)}$$

для любого тела. Такое значение гравитационной константы удовлетворяет соотношению:

$$G = \frac{c^2}{S(R_{\text{Sol}})} \quad (3.8.15)$$

и определяет также потенциал глобального взаимодействия  $\varphi_g$  в окрестностях Земли:

$$\varphi_g(R_{\text{Sol}}) = -c^2 \quad (3.8.16)$$

Это, пожалуй, самая простая и красивая формула во всей истории физики! Особенно учитывая значение величин, которые она связывает. Потенциал глобального взаимодействия — суммарный вклад во влияние на Землю всех объектов во Вселенной — равен просто квадрату скорости света! А знак минус является результатом того, что речь идет о по-

де притяжения. Похоже, что фанаты красивых формул будут просто счастливы. Это выражение может посоперничать даже со знаменитой формулой  $E = mc^2$ .

Более того, такой выбор гравитационной константы придает наиболее простой вид нашей формуле (3.8.8) ускорения свободного падения на поверхности Земли. Оно оказывается совпадающим с напряженностью поля силы тяжести  $\mathbf{E}_g$ :

$$\mathbf{g} = c^2 \frac{\nabla \varphi_l}{\Phi_g} = -\nabla \varphi_l = \mathbf{E}_g \quad (3.8.17)$$

Впрочем, мы уже неоднократно предупреждали, что видимая красота часто бывает обманчива. И непостоянна. Потому что для обеспечения эквивалентности двух типов масс в любой другой области космоса следует использовать уже другую гравитационную константу! И это крайне неприятное обстоятельство. Оно расходится с самой логикой использования констант как таковых.

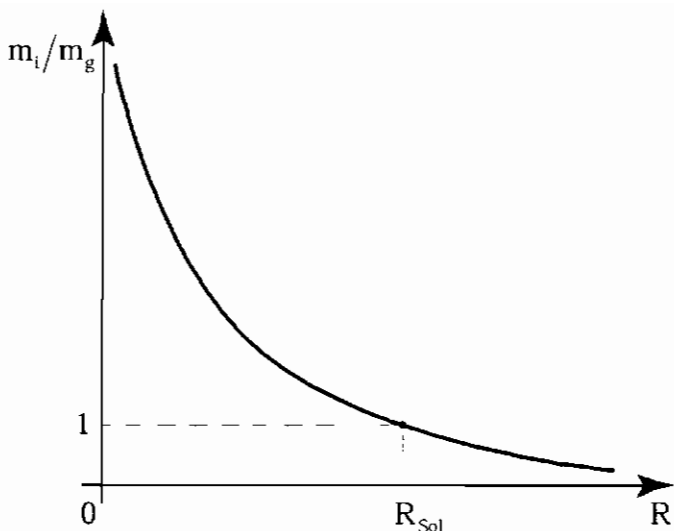
Поэтому разумнее будет использовать для гравитационной постоянной фиксированное известное значение и рассматривать ее как меру интенсивности гравитационного взаимодействия. Подобно электрической постоянной. Это значение гравитационной константы будет обеспечивать равенство двух типов масс только в пределах Земли и Солнечной системы, однако в других областях космоса  $R$  инертные массы объектов уже не будут равны гравитационным. Их следует вычислять по формуле (рисунок 3.8.1):

$$m_i(R) = \frac{G}{c^2} \cdot S(R) \cdot q_g = \frac{S(R)}{S(R_{Sol})} q_g \quad (3.8.18)$$

Все становится еще хуже, когда появляются взаимодействия иной природы, способные конкурировать по величине с глобальным взаимодействием. В этом случае пропадает пропорциональность инертной массы гравитационному заряду даже для объектов на поверхности Земли, и принцип эквивалентности нарушается полностью (рисунок 3.8.2):

$$m_i(R_{Sol}) = -\frac{W_g + W_{others}}{c^2} = \frac{G \cdot S(R_{Sol}) \cdot q_g - W_{others}}{c^2} = q_g - \frac{W_{others}}{c^2} \quad (3.8.19)$$

Эффект отклонения от равенства инертной и гравитационной масс не был обнаружен в результате многочисленных экспериментов, потому что в них намеренно исключались все внешние воздействия. В процессе борьбы с появлением дополнительных сил, влияющих на величину



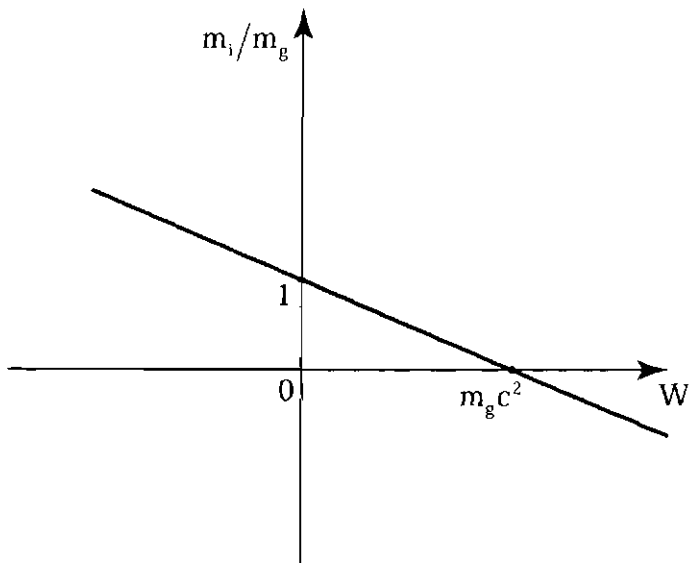
**Рисунок 3.8.1.** Отношение инертной и гравитационной масс всех объектов равно единице только в окрестностях Земли и Солнечной системы. Это отношение заметно возрастает по мере приближения к центру нашей Галактики и уменьшается по мере удаления от него.

ускорения свободного падения, автоматически исключались и все взаимодействия, вносящие инертность негравитационного происхождения. И в этом состоит величайшая ирония судьбы! Или красивый трюк Творца, которому было угодно оставить возможность постановки столь яркого и исторически значимого эксперимента современным исследователям.

Чтобы зарегистрировать отклонение от пропорциональности между инертной массой и гравитационным зарядом, или другими словами, обнаружить вариации ускорения свободного падения тел, следует добавить взаимодействие, не приводящее к появлению вертикальной силы, но вносящее вклад в общую массу тела. В качестве варианта это может быть горизонтальное электрическое поле. А возможно и что-то более изощренное.

### ***Полевой принцип эквивалентности***

***1. Инертная и гравитационная массы являются принципиально разными физическими характеристиками объектов. Инертная масса (просто масса или инертность) характеризует величину изменения скорости объ-***



*Рисунок 3.8.2. Поля негравитационной природы разрушают равенство инертной и гравитационной масс объектов даже на Земле.*

*екта под действием внешних сил, а гравитационная масса (гравитационный заряд) – интенсивность участия объекта в гравитационном взаимодействии.*

*2. В подавляющем большинстве земных явлений основной вклад в инертность объектов вносит взаимодействие с гравитационным полем Вселенной – глобальное взаимодействие. Когда все остальные взаимодействия пренебрежимо малы по сравнению с ним, наблюдается эффект пропорциональности инертной массы тела его гравитационному заряду.*

*3. Коэффициент пропорциональности между двумя типами масс зависит от области космоса, возрастая по мере приближения к сильногравитирующим объектам и уменьшаясь по мере удаления от них.*

*4. Равенство коэффициента пропорциональности единице в области Земли и Солнечной системы обеспечивается путем введения гравитационной постоянной с известным значением. Этот прием создает видимость равенства инертной и гравитационной масс объектов на Земле.*

*5. Наличие полей негравитационной природы приводит к нарушению пропорциональности между двумя типами масс и предоставляет возможность независимого изменения этих свойств объектов. А также экспериментального обнаружения отклонения от равенства инертной и гравитационной масс.*

### **3.9. Является ли эксперимент критерием истины или несколько слов о бритве Оккама**

История с принципом эквивалентности как ни что иное поднимает давно назревший методологический вопрос. Можно ли вообще считать эксперимент критерием истины, как это принято делать в современной физике? Или же это неоднозначный метод, который не реже вводит в заблуждение, чем дает правильное понимание природы вещей?

Эксперимент в физике можно сравнить со своеобразным «зрением». «Зрением», позволяющим «видеть» положение дел и характер протекающих процессов. Но даже эта простая аналогия с человеческим органом чувств указывает на обратную сторону экспериментального метода. Несмотря на всю важность зрения для человека мы знаем, что нередко видимая сторона дела сильно отличается от реального положения вещей. Людей, которые судят о делах только по внешнему виду, нередко считают ограниченными и недалекими. Потому что внешность обманчива!

Считается, что наука началась именно с экспериментального метода, когда Галилей и другие ученые противопоставили опытные данные абстрактным рассуждениям философов. Так возникла классическая механика да и физика вообще. С тех пор экспериментальная проверка всех теорий и принципов считается в физике основным необходимым и достаточным критерием истины. И этот подход не лишен логики.

Но давайте теперь посмотрим на ситуацию с другой стороны. Экспериментальные данные привели Галилея к представлению о принципе инерции, согласно которому предоставленное самому себе тело сохраняет состояние равномерного прямолинейного движения. А похожее поведение всех тел в каюте покоящегося и равномерно движущегося корабля явилось причиной появления принципа относительности. Согласно ему нельзя экспериментально различить состояние покоя и состояние равномерного прямолинейного движения. Чуть позже экспериментальные данные позволили Ньютону сделать выводы о равенстве инертной и тяжелой массы, что во многом явилось завершением идей Галилея о независимости ускорения свободного падения тела от его состава.

Все эти утверждения — результат многочисленных экспериментальных данных. Многократно проверенных, улучшенных и уточненных. Они составляют основной фундамент как классической, так и современной физики. И этот фундамент просто рассыпался у нас на глазах в нескольких предыдущих разделах. И все это очень нездоровый симптом всей известной физической методологии.

Как нам стало понятно, все перечисленные выше «фундаментальные» принципы, надежно подтвержденные экспериментально, оказались не

более чем локальными земными правилами. В силу изложенных выше причин эти правила действительно неплохо выполняются в пределах Земли, о чем и свидетельствуют многочисленные экспериментальные данные. Но как только мы начинаем смотреть на наш Мир чуть шире, то получается, что предоставленное самому себе тело лишено смысла, а любой реальный объект участвует, по крайней мере, в глобальном взаимодействии. И его скорость даже при отсутствии всех сил, вообще говоря, не остается постоянной. Состояние покоя имеет смысл только по отношению к источникам полей и его можно отличить от состояния движения по отношению к ним. А инертная и гравитационная массы тела могут вообще иметь любое наперед заданное соотношение за счет вклада в инертную массу электрической компоненты.

Почему это случилось? Почему отшлифованный веками фундамент современной физики так легко дал трещины и просто развалился, увлекая за собой все здание? Должны ли мы теперь предъявить претензии экспериментальному методу или проблема в чем-то еще?

Похоже, что виной всему является даже не сам экспериментальный метод как таковой, а его переоцененное значение в рамках современной физической методологии и господствующего научного мировоззрения. Нет ничего плохого в том, чтобы начать изучение какой-то проблемы с обзора фактов и деталей. Или по мере появления версии соотнести ее следствия с видимым положением дел. И возможно, даже понять, почему создается та или иная видимость происходящего. Но крайне опрометчиво и неверно сразу принимать за чистую монету только видимое положение вещей, не исследовав возможность наличия совершенно иной подоплеки такой видимости.

Мы могли бы провести здесь некую параллель с работой детектива. Ведь изучение законов природы и поиск устройства Мира во многом похожи на работу сыщика, который тоже пытается распутать клубок изначально непонятных обстоятельств и событий с целью выявления реальных мотивов поступков и истинной сути произошедшего. Множество захватывающих книг посвящено тому, как видимое положение дел указывает вовсе не на настоящего преступника, а на невиновного человека, просто по несчастливой случайности оказавшегося не в том месте и не в то время или по беззаботности сделавшего какой-то опрометчивый поступок, бросающий на него тень. А нередко преступник старается подставить кого-то, чтобы отвести от себя подозрение.

В подобных книгах и фильмах мы обычно встречаем двух персонажей. Первый – недалекий сыщик, как правило, с формальным подходом к делу. Он быстро собирает улики и делает, казалось бы, самый простой и естественный вывод. Виновен тот, на кого указывает большинство улик. И зачем гадать дальше, если собранных данных уже достаточно для



принятия решения и закрытия дела. Такой подход кажется даже вполне практичным — ведь нельзя же вечно возиться с каждым отдельным случаем. Хотя нередко бывает, что потом могут возникнуть новые подробности, которые укажут на невиновность арестованного. И тогда тот самый недалекий сыщик, скорее всего, начнет изобретать какие-нибудь небылицы, пусть даже и корявые по смыслу, но согласующие новые обстоятельства с уже принятым решением.

Второй персонаж детективного жанра — изощренный сыщик, некий Шерлок Холмс, который посмотрит на вещи совсем по-другому. Он, конечно же, примет к сведению имеющиеся улики. Но подвергнет сомнению их видимое толкование, возникающее при беглом взгляде, которое его коллега сразу же принял за правду. Потом изощренный сыщик применит дедуктивный метод мышления, интуицию, опыт и заметит, что все видимые обстоятельства картины вообще-то не совсем стыкуются между собой и выглядят неестественно. Более того, есть некоторые детали, которые все остальные вообще не заметили. И тогда у него возникнет гипотеза о том, что имеет место совсем иное положение дел, чем всем показалось изначально. Он начнет искать подтверждение своей версии, причем нередко в совершенно неожиданных местах, потому что без исходных идей заглянуть именно туда никто никогда не догадался бы. Но благодаря этому он раскроет истинные причины произошедшего и распутает дело.

Параллель с нашими научными поисками здесь очевидна. Ее суть состоит в том, что работа любого физика помимо сбора и систематизации экспериментальных данных должна включать в себя нечто большее. Экспериментальный метод, безусловно, важен и полезен, если не переоценивать его значение. Потому что если наша наука ограничится только экспериментами, то мы станем подобными тому недалекому сыщику, который делает окончательные выводы исключительно на основании видимости ситуации. Есть видимая пропорциональность двух типов масс — значит, они суть одно и то же. Кажется невозможным различить состояние равномерного прямолинейного движения и состояние покоя, значит, они эквивалентны. И подобных примеров немало.

Вот почему еще более важным, чем эксперимент, для физика должно быть научное мышление, о котором мы уже неоднократно упоминали. Это путь построения моделей, поиска механизмов происходящих процессов. Научное мышление подобно дедукции сыщика, с помощью которой он ищет скрытые мотивы поступков и проверяет на логическое соответствие собранный набор улик. И дедуктивный подход к фундаментальным физическим принципам приводит уже к совершенно иным выводам, нежели прямой экспериментальный метод. Пусть даже в процессе экспериментов и создается видимость существования тех или

иных правил, и мы пока можем не понимать, почему эта видимость создается. Но мы можем задать естественные логические вопросы.

Почему инертная масса эквивалентна гравитационному заряду, ведь это принципиально разные с логической точки зрения величины? Ведь гравитационный заряд, скорее, аналогичен заряду электрическому, который не эквивалентен инертной массе. Почему инерциальные системы отсчета кажутся выделенными на фоне всех остальных? Ведь любая система отсчета — это лишь способ описания явлений, и все они должны быть логически равнозначны. Эти и подобные им вопросы уже даже на интуитивном уровне создают ощущение, что с подобными правилами что-то не так. И похожие мысли неоднократно высказывали ученые в разные времена. Именно размышления над подобными вопросами и привели к созданию полевой физики.

Мы не зря упомянули здесь термин «интуиция». Ведь если эксперимент подобен зрению человека, то дедуктивное мышление подобно некому «шестому чувству». Чувству, позволяющему отрицать те или иные выводы и результаты как неестественные и чувствовать существование невидимых связей в различных явлениях, на первый взгляд совершенно не похожих друг на друга. Это подобно своеобразной вере в то, что одни выводы никак не похожи на истину, хотя они и соответствуют видимому поведению тел в экспериментах, а другие являются как раз попаданием «в точку», хотя они пока не очень-то стыкуются с опытными данными.

Мы здесь не говорим о мистике или о чем-то подобном. А напротив, об очень важной и объективной стороне физической методологии, которой на протяжении всей истории науки не уделялось должного внимания. Например, общеизвестно, что Эйнштейн ни за что не мог примириться с квантовой механикой, считая ее неестественной и временной, хотя он сам стоял у ее истоков. Даже когда факты и экспериментальные данные требовали от него другого, и он был вынужден постепенно соглашаться с этой теорией, он все равно не переставал считать ее не более чем теорией переходного периода.

Фарадей пришел к интуитивному ощущению существования некоего невидимого поля и неплохо оперировал им в построении своей электродинамики. Как в последствии и Максвелл. Хотя многие ученые того времени с большим трудом и сомнениями воспринимали их модели. Не то чтобы они не могли их понять. Похоже, что они не могли их почувствовать, проникнуться похожим восприятием и мировоззрением.

Другим примером является Коперник, предложивший гелиоцентрическую систему Мира, хотя увидеть ее буквально, со стороны, или вывести напрямую из имевшихся тогда экспериментальных данных он не мог. Подобным образом Менделеев составил таблицу химических элемен-

тов, когда значительная часть из них вообще еще не была известна, а большинство известных тогда элементов имели неточно измеренные параметры, а также представляли собой смесь различных изотопов.

Большинство фундаментальных физических открытий связано с проявлением подобного «шестого чувства», со своеобразной интуицией ученого, с яркими догадками, озарениями «свыше». А сами эти открытия просто невозможно было бы сделать, последовательно опираясь только на экспериментальные данные. И нередко подобное физическое мышление, связанное со способностью мысленно «увидеть» целостную картину как нечто прекрасное и законченное, позволяет компенсировать недостаток или даже полное отсутствие экспериментальных данных. Во многом подобное «шестое чувство» является результатом образа мышления и мировоззрения ученого.

Фактически мы пришли к обсуждению справедливости того философского понятия, которое известно под названием бритвы Оккама. Суть этого принципа состоит в том, что не следует искать более сложного объяснения явления там, где уже существует более простое. И экспериментальный подход к построению науки во многом является воплощением бритвы Оккама. Согласно ему устройство нашего Мира представляет собой не что иное, как совокупность закономерностей, которые мы видим в экспериментах. А значит, не следует фантазировать сверх того, что удастся измерить или реально наблюдать.

Принцип бритвы Оккама многим представляется симпатичным и правильным. Особенно актуальным он оказался в период средневековья, на этапе рождения классической физики, потому что в те времена философия была явно перегружена догматами и абстрактными умозрениями. Возможно, нечто созвучное с утверждением бритвы Оккама несет в себе известная фраза Ньютона «Гипотез не измышляю». Есть объективные данные экспериментов, которые и составляют почву для выводов, а все остальное – «от лукавого».

Но несмотря на всю привлекательность подобного принципа простоты, мы начинаем обнаруживать, что на самом деле в нем что-то не так. Бритва Оккама столь же проста и красива, сколь и обманчива. Так же, как и все простые и красивые вещи в нашем Мире. Потому что наш Мир не прост, а значит, самое простое объяснение может быть верным далеко не всегда. И даже, скорее всего, оно будет неверным.

Вернемся к нашим сыщикам. Применение бритвы Оккама требовало бы от них всегда арестовывать и наказывать того, на кого сразу же падает подозрение, и больше не забивать себе голову этим вопросом. Но такой подход может оказаться верным только в непреднамеренных наивных преступлениях, вроде глупых бытовых ссор. Настоящий же преступник

всегда изощрен, и он обязательно позаботится о том, чтобы свалить свою вину на кого-то другого. И применение бритвы Оккама приводит нас к тому, что видимость вины на самом деле невинного человека уже не требует дальнейших разбирательств и поиска настоящего преступника.

А устройство нашего Мира изощрено еще больше. И искать законы его устройства с помощью бритвы Оккама является очевидной наивностью. Поэтому лишь в редких случаях видимость протекания процесса, измеренная в физическом эксперименте, является истинным отражением внутренних механизмов самого процесса. На языке детективного жанра мы могли бы сказать, что равенство столь важных и разных физических сущностей как инертная и гравитационная масса является слишком подозрительным, слишком простым, слишком красивым. Другими словами – неестественным, фальшивым. А значит, именно здесь сокрыта тайна истинного положения дел! Это и есть та самая потайная дверь, скрывающая от нас нечто важное! В то время как бритва Оккама требовала бы от нас отбросить подобные подозрения и принять самое простое из возможных объяснений. Массы равны, потому что они равны, это доказывают экспериментальные факты, и говорить здесь больше не о чем.

Вот в чем состоит порочность переоценки значения экспериментального метода. Эксперимент может показать нам только видимое положение дел, в то время как реальные причины и природа явлений могут быть совершенно иными. И на страницах этой книги мы нашли уже немало подобных примеров. Принцип относительности и принцип эквивалентности являются не фундаментальными физическими принципами, а только локальными земными правилами. Массы и заряды тел не являются их внутренними «врожденными» характеристиками, а суть внешние свойства, обусловленные наличием невидимой полевой среды. Частицы не обладают волновыми свойствами, а поля – корпускулярными. Подобное поведение – не более чем видимость в результатах тех или иных экспериментов. Да и вся наша бесконечная Вселенная, как нам еще предстоит понять, есть не что иное, как просто видимость, иллюзия. Глобальный космический мираж.

Все это никогда невозможно было бы понять и осознать на основании экспериментального подхода. Может быть, именно поэтому современная наука и зашла в тупик, исчерпав фундаментальные открытия и принципиально новые темы для исследований. Рост экспериментального материала, увеличение его точности, удорожание оборудования и усовершенствование промышленных технологий уже не приводят к ярким открытиям и принципиальным прорывам.

Со времени создания теории относительности и квантовой теории – с начала XX века – в фундаментальной физике не появилось практически ни одной принципиально новой концепции. Да и сами эти теории

постоянно подвергаются критике за нарушение логики и противоречие здравому смыслу. Потому что большинство их руководящих идей — видимые результаты экспериментов, возведенные в ранг фундаментальных принципов, каковыми они на самом деле не являются. Получается, что экспериментальная бритва Оккама вместе с нежелательными сложностями обрезала еще и нечто очень важное для науки. А именно, научную глубину, построение моделей и осознание невидимых внутренних механизмов физических процессов. В результате этого физика превратилась лишь в описательную науку с ответами на вопросы «Как?» Но без ответов на вопросы «Почему?» Потому что такие вопросы получили статус непознаваемых.

Но не является ли изложенная здесь философия своеобразным шагом назад? Откатом физики от объективности эксперимента к субъективным моделям, мистической интуиции и абстрактной философии? Возвратом к тем вещам, от которых с таким трудом удалось уйти в период становления науки? И в этом свете можно отметить лишь то обстоятельство, что с появлением материализма, математического формализма и экспериментального подхода наука не перешла от плохого к хорошему, а лишь переметнулась из одной крайности в другую.

В современной физике мы находим очень многие негативные черты, с которыми эта наука в свое время была призвана бороться. Субъективные мнения философов древности заменились не менее субъективными данными экспериментов. Потому что данные любого эксперимента не есть объективная истина, а лишь замер видимого протекания того или иного процесса в тех или иных условиях с той или иной точностью. И ни один эксперимент не может служить абсолютным доказательством справедливости и фундаментальности ни одного физического принципа.

Например, на протяжении нескольких веков было поставлено множество экспериментов по проверке фундаментального принципа эквивалентности. Но несмотря на весь этот огромный труд, никогда нельзя будет утверждать, что принцип эквивалентности справедлив всегда, а значит, является фундаментальным. Равенство двух типов масс было экспериментально доказано только на Земле, только в определенных условиях (при исключении влияния всех внешних полей) и только с конечной точностью. Но этот результат совершенно не означает, что равенство масс также будет сохраняться в любой точке Вселенной или даже на Земле, но с участием дополнительных полей (которые всегда в таких экспериментах исключались), или во всех иных условиях, а также с любой точностью.

Провозгласить принцип эквивалентности фундаментальным можно только в рамках той или иной модели Вселенной, которая на основании этого принципа приводила бы к существованию непротиворечивых взаимосвязей между всеми объектами и явлениями в нашем Мире. И

объясняла бы наблюдаемые закономерности всех процессов, измеренные в многочисленных экспериментах. И в этом контексте уже не важно, является ли эксперимент только видимым отражением истинного положения дел или нет. Такая модель должна объяснять происхождение подобной видимости. Как с помощью полевой физики нам стало понятно, почему в земных условиях наблюдается видимое равенство инертной и гравитационной масс, в то время как эти величины имеют совершенно разную физическую природу.

В свете вышесказанного следует упомянуть еще одно негативное обстоятельство, свойственное современной физике. Речь идет о чрезмерном увлечении математическим формализмом. Как мы уже не раз видели, заложенные в ту или иную математическую модель правила становятся порой серьезным препятствием для понимания и описания физических процессов. Современная математика во многом похожа на своеобразные догматы или религиозные традиции времен средневековья. И подобно тому, как последние служили серьезным ограничением для развития новых идей в средние века, так и применяемые сегодня математические модели создают существенные границы для развития новых адекватных физических представлений, выходящих за рамки аксиом используемой математики.

В современной физике существует множество неестественных искажений физической реальности с целью ее согласования с принятым математическим формализмом. Это прежде всего относится к геометризации физики, использованию многомерных пространств, наделению физическими свойствами пространства и времени, использованию их искажений и превращений, а также к принципу наименьшего действия, «игре» с подгонкой лагранжиана, применению виртуальных частиц и полей, формализму операторов, перенормировок, калибровок, суперсимметрий и многим подобным абстракциям и формальным приемам.

Нельзя сказать, что математический метод, как и экспериментальный, плох сам по себе. Но следует помнить, что это тоже лишь инструмент для формализации наших идей и представлений. Своеобразный язык, с помощью которого мы можем записать и передать свои мысли. Но всегда мысли должны руководить использованием языка, а не наоборот. Нельзя использовать случайный набор слов языка, чтобы сформировать мысль при отсутствии идей.

То же самое мы можем сказать и про эксперимент. Он не более чем инструмент, позволяющий нам собрать улики о видимом характере протекания тех или иных явлений или процессов. Но при этом следует помнить, что экспериментальная видимость ситуации еще не позволяет напрямую судить о том, каков истинный механизм того или иного процесса или явления, потому что он может оказаться гораздо более сложным или совсем

иним. Нельзя данные локальных и ограниченных экспериментов (а иные нам проводить не дано...) распространять на абсолютно все явления природы в любых условиях как фундаментальные принципы.

Тот или иной принцип может быть объявлен фундаментальным только в рамках определенной модели Мира. И логической предпосылкой для этого могут служить данные тех или иных экспериментов. Нечто подобное мы и сделали в модели полевой среды, сформулировав принцип непрерывности и принцип близкодействия. Но потом эта модель должна оказаться непротиворечивой и жизнеспособной, и в результате ее успеха данные принципы можно будет действительно считать фундаментальными. Возможно, до тех пор, пока не появится более совершенная модель, в рамках которой мы поймем, что «корни» Мироздания – фундаментальные физические принципы – на самом деле совсем иные.

Экспериментальный метод и математический формализм могут оказаться эффективными инструментами в руках ученого, вооруженного главным – физическим мышлением. Это мышление подразумевает наличие здравого мировоззрения и жизненных ценностей, понимания законов логики и моделирования, элементов дедукции и интуиции. Или даже своеобразную веру. Веру в разумное начало и целесообразность, гармонию и красоту, заложенные в наш Мир при его создании. Веру в здравый идеализм, которая вселяет надежду на возможность познания Мира и дает силы для продолжения поисков.

Мы не говорим здесь о возврате к нездоровой мистике. Напротив, мы говорим о том, что мистика – это одна крайность. А современный научный материализм, или даже так называемый «реализм», – другая крайность. Крайность, построенная на переоцененной роли видимых экспериментальных фактов и абстрактного математического формализма. Крайность, принимающая за «реальность» видимое положение вещей и их формальное описание в согласии с выбранным набором математических правил и аксиом. Похоже, что физика может успешно развиваться только при наличии разумного баланса, при достижении некой «золотой» середины между двумя этими крайностями. Когда смелые идеи, фантазия, воображение и вера ученого в должной мере уравновешены логикой, разумом, математическими расчетами и опытными данными. У древних философов было в избытке первое, но недоставало второго. У современных ученых чаще бывает наоборот.

На эту тему можно говорить бесконечно. И как уже стало понятно, полевая физика не очень-то жалуется ортодоксальную физическую парадигму и бытующее научное мировоззрение. Но если бы это было не так, то нам никогда не удалось бы шагнуть за их пределы. Чтобы вырваться за границы автострады, порой приходится снести ограждающий бордюр. Подобно тому, как Коперник однажды снес бордюр догматов своего

времени. А все выдающиеся ученые разных времен нередко вынуждены были ломать бытовавшие тогда представления. Похоже, что это естественный процесс развития науки. Хотя и не самый простой. Наверное, многим людям больше пришелся бы по душе плавный и последовательный переход от старых представлений к новым. Но, похоже, что так не бывает. Революция есть революция!

### 3.10. Как «взвесить» Галактику?

Немного устав от философии, отвлечемся на более простой вопрос, который, тем не менее, опять с претензией. Как и все в полевой физике. И на этот раз мы решили сделать ни много, ни мало, а именно «взвесить» нашу Галактику. Почему бы и нет!

Определение Кавендишем гравитационной константы  $G$  считается «взвешиванием» Земли. Потому что при известном значении константы  $G$  все величины в выражении ускорения свободного падения  $g$  на поверхности Земли являются известными, кроме массы (гравитационного заряда) последней  $(Q_g)_{\text{Earth}}$ :

$$g = G \frac{(Q_g)_{\text{Earth}}}{(R_{\text{Earth}})^2} \quad (3.10.1)$$

где  $R_{\text{Earth}}$  – радиус Земли, который можно определить, зная протяженность экватора.

Нечто подобное мы можем проделать и с определением массы, а точнее гравитационного заряда всей нашей Галактики! «Взвешивание» Галактики становится возможным благодаря пониманию динамической природы массы. Как мы уже говорили, масса  $m_i$  любого тела на Земле определяется глобальным взаимодействием:

$$m_i = -\frac{W_g}{c^2} = -\frac{q_g \Phi_g}{c^2} \quad (3.10.2)$$

где  $q_g$  – гравитационный заряд этого же тела, а  $\Phi_g$  – потенциал глобального поля. Более того, использование известного значения гравитационной константы обеспечивает численное равенство инертной и гравитационной масс тел в окрестностях Земли  $m_i = q_g$ , что определяет величину потенциала глобального взаимодействия в этой области космоса:



$$(\varphi_g)_{\text{Earth}} = -c^2 \quad (3.10.3)$$

Теперь осталось только понять структуру потенциала глобального взаимодействия  $\varphi_g$ . По своей логике это суммарное влияние всех гравитационных полей во Вселенной. Однако наибольший вклад для Земли имеет, очевидно, гравитационное поле нашей Галактики. Причем это влияние в первом приближении можно представить в виде влияния всей массы Галактики, сосредоточенной в ее центре. Подобно тому как притяжение Земли мы считаем как притяжение всей ее массы, сосредоточенной в центре.

В этом, хотя и грубом, приближении (потому что распределение объектов в нашей Галактике далеко не однородно) потенциал глобального поля в окрестности Земли можно записать в виде:

$$(\varphi_g)_{\text{Earth}} = -G \frac{(Q_g)_{\text{Galaxy}}}{R_{\text{Galaxy}}} \quad (3.10.4)$$

где  $(Q_g)_{\text{Galaxy}}$  – гравитационный заряд (гравитационная масса) нашей Галактики, который мы и хотим найти, а  $R_{\text{Galaxy}}$  – расстояние до ее центра от Земли. Тогда, подставив это выражение в предыдущую формулу, мы получим следующее соотношение:

$$(Q_g)_{\text{Galaxy}} = \frac{c^2}{G} R_{\text{Galaxy}} \quad (3.10.5)$$

Таким образом, гравитационный заряд нашей Галактики определяется только расстоянием между ее центром и Землей. Хотя, как мы уже говорили, подобный результат во многом является следствием выбора численного значения величины  $G$ . Исходя из сегодняшних оценок  $R_{\text{Galaxy}} \approx 10.000$  парсек  $\approx 3 \cdot 10^{20}$  метров, мы получаем:

$$(Q_g)_{\text{Galaxy}} = \frac{c^2}{G} R_{\text{Galaxy}} \approx \frac{9 \cdot 10^{16} \cdot 3 \cdot 10^{20}}{6,7 \cdot 10^{11}} \approx 4 \cdot 10^{47} \text{ кг} \quad (3.10.6)$$

Такова гравитационная масса, или точнее говоря, гравитационный заряд нашей Галактики. Конечно, следует помнить, что это только очень грубая оценка. Однако сразу же бросается в глаза, что она заметно превышает современные эмпирические оценки массы нашей Галактики, находящиеся в пределах  $10^{40}$ – $10^{43}$  кг.

И причин такого несоответствия немало. Если говорить об эмпирической стороне проблемы, то в первую очередь на ум приходит следующее

обстоятельство. Визуальный подсчет количества звезд, конечно же, дает только нижнюю оценку их количества. Из такого подсчета выпадает очень много слабосветящихся объектов, звездная пыль, газ и иная материя. В современной физике существует даже представление о «темной материи», согласно которому видимая материя составляет не более нескольких процентов от полной массы нашей Галактики.

С другой стороны, распределение гравитационных источников в Галактике неоднородно, что может вносить дополнительные немалые корректировки в рассчитанную нами величину гравитационного заряда. Более близкие к Земле объекты обуславливают большую величину инертной массы, а следовательно, требуется меньший суммарный гравитационный заряд. В итоге наша оценка может оказаться несколько завышенной.

Однако полевая физика вскрывает более глубокие причины подобного несоответствия цифр. Новое понимание природы вещей разделяет понятия инертной массы и гравитационного заряда. Эти величины численно совпадают только в окрестностях Солнечной системы. Но по мере движения от края Галактики к ее центру единица гравитационного заряда начинает обуславливать каждому телу наличие большей инертной массы за счет меньших взаимных расстояний между объектами (формула 3.8.18). В результате каждое тело в центральных областях Галактики слабее реагирует на действие всех внешних сил за счет своей большей инертности. А это в свою очередь создает иллюзию, что поля гравитирующих объектов слабее, чем есть на самом деле, так как их влияние на динамику тел оказывается меньше классического!

*Массы звездных систем и их скоплений, а также масса ядра Галактики определяются на основании анализа динамики тел в их гравитационных полях. Но по указанной выше причине с точки зрения классической механики величина этих полей кажется меньшей, чем есть на самом деле, а значит, меньшими оказываются и оценочные величины масс (гравитационных зарядов) звезд и ядра Галактики, которые эти поля создают. С позиций полевой механики, учитывающей динамическую природу массы, гравитационные заряды космических объектов должны быть выше используемых сегодня величин масс, причем поправочный коэффициент приблизительно определяется соотношением расстояний до центра Галактики от Солнечной системы и от рассматриваемой звезды.*

Если мы говорим о ядре Галактики, размеры которого составляют всего несколько парсек, то поправка к величине его массы (гравитационного заряда) имеет порядок  $10^4$ , учитывая что Солнечная система удалена от центра Галактики на  $10^4$  парсек. Для других источников центральной области Галактики, удаленных от ее центра чуть дальше, эта корректировка оказывается меньше. Но так или иначе, эти поправки увеличива-

ют эмпирические оценки масс (гравитационных зарядов) большинства звездных систем и ядра Галактики на три-четыре порядка. А следовательно, эмпирическая оценка полной массы (гравитационного заряда) нашей Галактики оказывается на несколько порядков выше и становится достаточно близкой к вычисленному нами значению.

Оценка величины гравитационного заряда нашей Галактики позволяет нам также вычислить силу глобального взаимодействия в пределах Земли. Величина напряженности глобального поля на Земле равна:

$$E_g = \frac{G \cdot (Q_g)_{\text{Galaxy}}}{(R_{\text{Galaxy}})^2} = \frac{c^2}{R_{\text{Galaxy}}} \approx \frac{9 \cdot 10^{16}}{3 \cdot 10^{20}} \approx 3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2 \quad (3.10.7)$$

Она оказывается на несколько порядков меньше напряженности поля силы тяжести Земли, которое совпадает с величиной ускорения свободного падения  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ . Не говоря уже о более сильных электромагнитных взаимодействиях. Этот расчет подтверждает использованное нами утверждение (3.6.2) о том, что глобальное взаимодействие, внося основной вклад в массы всех объектов на Земле, не приводит к появлению заметных сил. Просто окрестности Земли являются слишком малой областью по сравнению с размерами Галактики, и потенциал глобального поля остается в этой области практически неизменным!

### ***3.11. Динамическая инерция и принцип Маха***

Может ли один человек заметно опередить развитие всей науки? И не на год или два, а на целое столетие? А может, даже и больше. Причем речь идет не о древнем мире, когда темп истории был иным, а о нашем времени. На первый взгляд, подобное кажется просто невероятным!

Тем не менее, такие примеры существуют, и сейчас мы собираемся упомянуть один из них. Речь идет об ученом, жившем во второй половине XIX и начале XX века. Его имя – Эрнст Мах. Человек очень неординарный и неоднозначно воспринимаемый как его современниками, так и учеными и философами более поздней эпохи. Однако это человек, оставивший неизгладимый след в истории науки. Этот след в первую очередь связан с критическим анализом господствовавшей в то время классической механики.

Мы не будем сейчас подробно обсуждать все воззрения Маха. Большинство из них очень спорны. Мы обратим внимание только на одну из его идей, известную во многом благодаря Эйнштейну, под названием принципа Маха. Речь идет о следующем.

Мах подверг критике представления Ньютона об абсолютном пространстве и абсолютном движении. В то время это было, в общем-то, вполне естественно — проблема относительности обсуждалась вовсю. Но Мах пошел еще дальше и сделал утверждение, что не только всякое поступательное движение является исключительно относительным, но и любое вращательное движение также может быть только относительным! И никакой принципиальной разницы между этими типами движения быть не должно.

А раз любое движение относительно, то о нем имеет смысл говорить только по отношению к другим объектам, которые выглядят условно неподвижными. Мах предложил использовать в качестве подобного ориентира для всех движений наиболее массивные небесные тела, или так называемую систему неподвижных звезд. Нечто подобное нашему наиболее массивному центру Галактики, который является главным гравитационным источником нашего Мира. В подходе Маха система неподвижных звезд стала альтернативой абсолютному ньютоновскому пространству.

Далее Мах сделал вывод о том, что хоть любое движение может быть только относительным, то и закон инерции Галилея должен иметь исключительно относительный характер. При отсутствии сил любое тело будет сохранять состояние равномерного и прямолинейного движения не относительно пространства как такового, а относительно системы неподвижных звезд!

Все эти идеи вполне могли быть применимы к поступательному движению в силу выделенного положения инерциальных систем отсчета в классической механике (как и после в релятивистской механике). Однако использование такого же подхода и к вращательному движению, которое казалось абсолютным, выглядело не совсем понятно.

Мах рассматривал известный пример с вращающимся сосудом, в котором вода начинает разбегаться от центра к стенкам, что является очевидным свидетельством наличия внутри сосуда центробежных сил, а также доказательством его абсолютного вращения. А не вращения всей остальной Вселенной относительно этого сосуда. И здесь Мах сделал гениальный вывод.

Силы инерции при вращении сосуда с водой по отношению к Вселенной действуют именно на воду в сосуде, а не на все прочие тела во Вселенной, потому что Вселенная намного больше сосуда! Она является как бы определяющей системой отсчета. А если бы мы представили себе, что стенки сосуда стали заметно увеличиваться и выросли бы до размеров Вселенной, то при таком относительном вращении силы инерции стали бы действовать уже не на воду внутри сосуда, а на все остальные тела вне

него. Другими словами, если бы сосуд можно было поменять местами со Вселенной, то поменялось бы местами и действие сил инерции!

В данном контексте мы изложили несколько вольную трактовку книги Маха. Тем не менее, это изложение передает основную суть его идей. Потому что дальше Мах делает вывод о том, что раз все движения могут быть только относительными, как и закон инерции, то тогда и мера инерции тел — масса — тоже должна быть относительной! То есть масса каждого тела не является его «врожденным» параметром, как в классической механике, а должна определяться взаимодействием этого тела со всеми остальными телами во Вселенной. Телами, относительно которых данное тело движется, и по отношению к которым проявляется свойство инерции! Именно это представление и составляет содержание принципа Маха.

Гениально! В книге XIX века мы находим ряд фундаментальных идей, которые стали понятны нам только благодаря полевой физике лишь в XXI веке! Во-первых, это представления о предпочтительных системах отсчета, примером которой у Маха выступает система неподвижных звезд. Во-вторых, идея о динамической, а не «врожденной» природе массы. В-третьих, определение массы тел посредством взаимодействий со всеми телами во Вселенной, и в первую очередь с массивными звездными системами. Если учесть, что в XIX веке были известны только электромагнитные и гравитационные взаимодействия, то когда речь идет о связи с системой неподвижных звезд, вывод о типе взаимодействия очевиден.

Идеи Маха так сильно повлияли на Эйнштейна, что он грезил ими на протяжении почти всей своей жизни. Справедливости ради следует отметить, что изначально релятивизм, или относительный подход к физическим явлениям, выглядел примерно так, как его понимал Мах. Все уравнения физики должны включать в себя только относительные расстояния, относительные скорости и даже относительную инерцию. Поэтому Маха нередко считали основоположником релятивизма. Однако в рамках специальной, а потом и общей теории относительности изначальные идеи изменились до неузнаваемости, составив предмет современного релятивизма.

Эйнштейн настолько высоко ценил принцип Маха, что однажды поставил его наравне с принципом относительности и принципом эквивалентности как составляющий вместе с ними три основных принципа, на которые должна опираться любая теория тяготения и вообще единая теория поля. Стоит ли еще раз упоминать о ключевой роли принципа относительности для специальной, а принципа эквивалентности — для общей теории относительности? И такую же роль Эйнштейн отводил принципу динамической инерции Маха.

Однако, несмотря на титанические усилия, Эйнштейну так и не удалось включить принцип Маха в общую теорию относительности. В этой теории оказалось возможным найти динамическое объяснение только малой доле масс тел, связанной с локальными полями. Что-то вроде сделанного нами в первой главе, когда добавка к массе оказывалась динамической, в то время как основная масса тела по-прежнему оставалась постоянной величиной классической природы.

Теперь мы понимаем причину неудач Эйнштейна. Все дело в том, что принцип Маха и принцип эквивалентности являются альтернативными и взаимоисключающими способами описания природы инертных свойств тел. Либо инертная масса определяется согласно принципу Маха, и тогда она увеличивается по мере приближения к сильногравитирующим объектам и уменьшается по мере удаления от них. Другими словами, отношение инертной массы к гравитационному заряду является переменным и зависит от той или иной области космоса. Либо инертная масса жестко связана знаком тождества с гравитационным зарядом, и тогда для принципа Маха просто не остается места.

Как бы сильно Эйнштейн ни любил принцип Маха, но пожертвовать принципом эквивалентности он был не готов. Поэтому общая теория относительности стала такой, какой мы ее знаем. Массы тел остались столь же туманными характеристиками, как и в классической физике, а принцип Маха после смерти Эйнштейна канул в Лету и был почти что забыт. За прошедшее столетие современная физика ушла еще дальше от реализации идей Маха. И если бы не появилась полевая физика, то мы говорили бы о том, что Мах опередил всю физическую науку своего времени не на сто, а может быть, на двести или триста лет, а может быть, и навсегда.

Полевая физика не опирается на принцип Маха и не использует его в своих построениях. Изначально представления о динамической инерции возникли во многом именно так, как изложено в этой книге. Важную роль в успехе сыграло неоднократно упомянутое на страницах книги виденье устройства Мира как целостной конструкции, а также представления о существовании глобального взаимодействия и невидимой полевой среды. Принцип Маха попал в поле зрения уже после. И тем не менее, именно полевая физика смогла материализовать те интуитивные догадки, о которых говорил Мах.

В полевой физике динамическая масса, определяемая в первую очередь глобальным взаимодействием, полностью воплотила основную идею Маха. Нашлись даже формулы для выражения этой связи. А также уравнение движения полностью приобрело относительный вид и пропало выделенное положение инерциальных систем отсчета. Даже умозрительное суждение Маха о том, что если бы вращающийся сосуд вырос

до размеров Вселенной, то силы инерции стали бы действовать уже не на него, а на все остальные тела, нашло свое воплощение! Мы увидели это, когда в первой главе выводили выражение для силы Лоренца из сил инерции. Тогда, чтобы правильно описать движение, нам пришлось признать, что для электрической компоненты массы не сама маленькая заряженная частица, а вся громадная Вселенная движется неинерциально и подпадает под действие полевых сил инерции!

Мах не конкретизировал свои идеи в виде конечных выводов и не облек их в какую-либо количественную форму. Говоря о том, что массы тел определяются взаимодействием со всеми остальными телами во Вселенной, он не оставил никаких намеков на то, как именно эта связь выглядит. Говоря об относительности любого движения и отнесении его к системе неподвижных звезд, он не оставил никаких советов о том, как для этого следует преобразовать классическое уравнение движения и как проводить конкретные расчеты. Возможно, именно поэтому его идеи и были незаслуженно забыты. Они оказались интересными, но не практичными.

Все это очень напоминает нам рассуждения о Фарадее и Максвелле, которые мы проделали главой ранее. К сожалению, большинство ученых и простых людей оказываются неспособными разделить эстетическое наслаждение гениальными идеями, а также проникнуться новым способом мышления и мировоззрения. И если нет формул и практических результатов, то нет и смысла всем этим заниматься. Какой близорукий и примитивный подход! Подобная прагматичность еще была бы оправданна для коммерсантов, но вряд ли для ученых. Хотя, возможно, наука уже давно превратилась в индустрию, где поиску истины и эстетическому наслаждению красотой устройства Мира уже просто не остается места.

Каждый человек индивидуален, и возможно, в этом состоит проявление одного из важнейших принципов устройства нашего Мира. И вопреки логике мы наблюдаем то, что нередко один человек оказывается способным превзойти целую систему, гигантский механизм, с которым, казалось бы, вообще невозможно соперничать. Мы не будем сейчас говорить о других сферах жизни, где можно найти множество похожих примеров. Поговорим о том, что нам ближе, — о физике.

В свое время Коперник в одиночку преодолел господствующее мировоззрение, на долгое время опередив мышление своего века и оставив нам важнейший исторический пример. Подобное можно сказать и о Галилее и ряде его современников. Мы уже говорили о Фарадее, который вопреки мировоззрению научного мира своей эпохи в одиночку предвосхитил создание концепции полевой среды. И нам пришлось воссоздавать ее снова спустя почти два столетия бурного развития науки. Развития, ко-

торое, похоже, происходило не совсем в нужном направлении. А вот теперь пример Маха — и снова гениальное открытие ученого-одиночки, намного опередившее свое время, но снова незаслуженно забытое.

Интересно, что в итоге ждет полевую физику? Быть может, тоже полное забвение еще лет на сто? Или суд ученой инквизиции? Несмотря на широкий размах полевой физики, она создана усилиями всего одного человека. Без какой-либо помощи или содействия со стороны мирового научного сообщества. Просто на основании искреннего желания познать устройство нашего Мира. Полевая физика стала своеобразным хобби, достойным самого глубокого смысла жизни. Возможно, в этом и состоит изощренность Творца нашего Мира, дающего возможность одному человеку постичь гораздо больше, чем это удастся всей мировой научной системе. Потому что несмотря на множество примеров, человечество так и не смогло проникнуться основными творческими и духовными принципами, необходимыми для понимания устройства Мира. Быть может, в этом и состоит глубокая логика и педагогическая подоплека, заложенная Творцом в наш Мир.

### *3.12. Электромагнитная масса*

Рассуждая о вечном, нам следует уделить немного внимания еще одной яркой попытке понять природу массы. Этот подход получил развитие примерно в то же время, что и идеи Маха. Однако он в большей степени был близок к классическим представлениям о массе и содержал те же недостатки, а поэтому и получил гораздо большую популярность. Речь идет о концепции электромагнитной массы.

Следует отдать должное этой идее как первой более-менее значимой и обоснованной попытке понять природу введенного Ньютоном коэффициента, обозначаемого буквой  $m$ . Коэффициента, значение которого для каждого конкретного тела давалась до этого как бы «свыше», было доступно путем взвешивания, а гадать о природе возникновения этой самой массы в классической физике не было никаких возможностей.

Первые догадки в направлении концепции электромагнитной массы появились тогда, когда при изучении электрических токов было обнаружено явление самоиндукции. При выключении тока в цепи возникала ЭДС, стремящаяся этот ток сохранить, а при включении, наоборот, воспрепятствовать ему. Такое поведение очень напоминало сопротивление тела изменению его скорости, которое и выражалось свойством массы! Более того, характер уравнений, описывающих эти явления, оказался полностью аналогичным!



Первым делом были предприняты попытки объяснить электромагнитную индукцию с помощью законов механики. То есть реализовать что-то подобное тому, как мы получили вихревое электрическое поле из соответствующей силы инерции. Однако без концепции полевой массы этот переход сделать не удалось, и тогда появилась обратная идея. Объяснить обычную классическую массу с помощью электромагнитного поля.

И логика здесь была примерно следующая. Покоящийся заряд, например электрон, не создает магнитного поля. Однако если он начинает двигаться, то магнитное поле возникает, на что расходуется энергия. А взятая эта энергия может только за счет работы внешней силы, которой электрон будет оказывать сопротивление. Подобно тому, как обычная классическая масса оказывает сопротивление при изменении своего движения, и это отражается на затратах работы по увеличению кинетической энергии электрона.

Математически это выглядит так. Если считать электрон частицей, имеющей обычную классическую массу  $m$ , то при разгоне внешней силой он приобретает кинетическую энергию  $E_k$ :

$$E_k = \frac{m}{2} v^2 \quad (3.12.1)$$

где  $v$  — скорость электрона. Однако если говорить только об электромагнитной стороне вопроса, то по мере разгона возрастает энергия магнитного поля  $E_m$ , создаваемого движущимся электроном, которая тоже оказывается пропорциональна квадрату скорости электрона! Расчет дает:

$$E_m = \frac{1}{3} \frac{e^2}{R_e c^2} v^2 = \frac{\mu}{2} v^2 \quad (3.12.2)$$

а

$$\mu = \frac{2}{3} \frac{e^2}{R_e c^2} \quad (3.12.3)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $R_e$  — его радиус (в модели частицы-шарика),  $c$  — скорость света. В этой формуле величина  $\mu$ , называемая электромагнитной массой, обуславливает те же свойства электрона, что и обычная классическая масса! Поэтому можно сказать, что никакой классической массы у электрона вообще нет, а эффект ее наличия обусловлен исключительно электромагнитными эффектами.

Эта концепция была очень популярна на рубеже XIX–XX вв. Однако впоследствии в ней обнаружился целый ряд объективных и субъективных сложностей, что привело к постепенному отказу от этих взгля-

дов и возврату к обычной классической трактовке массы. Одной из таких проблем послужила необходимость использовать конечный радиус электрона  $R_e$ , так как для точечной частицы энергия магнитного поля, как и электромагнитная масса, получались бесконечными. А конечный размер электрона требовал существования неких сил неэлектромагнитной природы, которые удерживали бы разные части электрона вместе. Ведь одноименно заряженные части электрона должны были бы отталкиваться. Эти силы получили название «резинок» Пуанкаре. В одной из следующих глав мы неожиданно обнаружим решение этой проблемы. И найдем механизм стабильности неточечной заряженной частицы. Однако в рамках классической и современной физики подобных возможностей не существовало.

И тем не менее, если смотреть на эту проблему с позиций полевой физики, то становится понятно, что основным недостатком концепции электромагнитной массы послужила попытка снова связать свойство массы с отдельной изолированной частицей. Подобно классической массе — «врожденной» характеристике материальной частицы, электромагнитная масса также приписывалась только одной отдельно взятой частице. С той лишь разницей, что теперь эта собственная масса частицы оказывалась связанной не с материей внутри этой частицы, а с окружающим ее магнитным полем. В противоположность полевой массе, которая возникает только при взаимодействии пары частиц.

Понятие электромагнитной массы, тем не менее, можно свести к полевой массе с помощью следующих искусственных шагов. Наличие магнитного поля означает ни что иное, как движение исследуемой частицы относительно некой другой заряженной частицы. В результате этого и возникает магнитное поле — соответствующая сила инерции. Поэтому описанная нами в классических терминах отдельная частица, окруженная магнитным полем, в полевой физике означает частицу, движущуюся относительно другой заряженной частицы. Их взаимодействие и обуславливает наличие массы у рассматриваемой частицы.

Причем чтобы объяснить этим способом появление всей известной массы электрона, обе частицы должны находиться друг от друга на очень малом расстоянии классического радиуса электрона  $R_e$ . Но как мы уже понимаем, все устроено не совсем так. Потому что основная часть массы электрона обусловлена глобальным взаимодействием, которое классическая физика тоже не учитывает. А локальные электромагнитные поля вносят лишь небольшое дополнение к этой массе, потому что в классических условиях электроны никогда не сближаются до таких малых расстояний.

### 3.13. Гравитационное красное смещение и замедление времени

В контексте рассмотренных нами вопросов имеет смысл упомянуть еще один интересный эффект. Эффект, достаточно очевидный с точки зрения полевой физики, но сильно нашумевший своим мистическим толкованием в релятивистской теории. Речь идет о следующем.

Как мы уже говорили, обычные классические массы тел обусловлены глобальным взаимодействием. Оно связано с совокупностью сильногравитирующих звездных систем, и прежде всего, с центром нашей Галактики. Эта компонента поля обеспечивает всем телам наличие основной части массы, которая с хорошей точностью остается постоянной в пределах небольших областей космоса.

Однако в окрестностях того или иного крупного гравитирующего объекта массы всех остальных тел приобретают локальную добавку. Например, на поверхности Земли величина этой добавки равна:

$$(\delta\mu)_{\text{Earth}} = -\frac{W_{\text{Earth}}}{c^2} = G \frac{q_g (Q_g)_{\text{Earth}}}{R_{\text{Earth}} c^2} \quad (3.13.1)$$

где  $(Q_g)_{\text{Earth}}$  и  $R_{\text{Earth}}$  – гравитационный заряд (масса) и радиус Земли,  $q_g$  – гравитационный заряд некого пробного тела,  $G$  и  $c$  – известные константы. Как мы помним, используемое значение гравитационной постоянной обеспечивает равенство инертной и гравитационной масс тел в окрестности Земли. Поэтому основная часть инертной массы тела, которую мы обозначим  $m_i$ , равна гравитационному заряду тела  $q_g$ . А относительная добавка к инертной массе на поверхности Земли составляет:

$$\left(\frac{\delta\mu}{m_i}\right)_{\text{Earth}} = G \frac{(Q_g)_{\text{Earth}}}{R_{\text{Earth}} c^2} \approx \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 6 \cdot 10^{24}}{6,4 \cdot 10^6 \cdot 9 \cdot 10^{16}} \approx 7 \cdot 10^{-10} \quad (3.13.2)$$

На поверхности Солнца аналогичная добавка вычисляется похожим образом, только вместо массы и радиуса Земли надо взять массу и радиус Солнца  $(Q_g)_{\text{Sol}}$  и  $R_{\text{Sol}}$ :

$$\left(\frac{\delta\mu}{m_i}\right)_{\text{Sol}} = G \frac{(Q_g)_{\text{Sol}}}{R_{\text{Sol}} c^2} \approx \frac{6,7 \cdot 10^{-11} \cdot 2 \cdot 10^{30}}{7 \cdot 10^8 \cdot 9 \cdot 10^{16}} \approx 2 \cdot 10^{-6} \quad (3.13.3)$$

Если мы будем говорить о более массивных звездных системах, то добавка может получаться больше. Но так или иначе, в большинстве случаев она невелика и на несколько порядков меньше основной компоненты массы, обусловленной глобальным взаимодействием.

Подобная поправка к основной массе тел, связанная с локальными гравитационными источниками, вычисляется по достаточно простой общей формуле:

$$(\delta\mu)_k = -\frac{W_k}{c^2} = -\frac{q_g \Phi_k}{c^2} \quad (3.13.4)$$

в которой  $W_k$  – потенциальная энергия взаимодействия пробного тела с гравитационным полем некоего  $k$ -ого космического объекта, а  $\Phi_k$  – потенциал этого же поля. Для близкого к нам космоса можно считать  $m_i = q_g$ , поэтому:

$$\left(\frac{\delta\mu}{m_i}\right)_k = -\frac{\Phi_k}{c^2} = \frac{\Phi_k}{\Phi_g} \quad (3.13.5)$$

В этой формуле мы учли то обстоятельство, что квадрат скорости света как раз равен величине потенциала глобального взаимодействия  $\Phi_g$  (с обратным знаком) в близком к Земле и Солнечной системе космосе (выражение 3.8.16). Как и следовало ожидать, относительная добавка к инертным массам тел в локальных гравитационных полях есть отношение потенциала этого локального поля к потенциалу глобального взаимодействия.

*В локальных гравитационных полях звезд и других космических объектов происходит пропорциональное увеличение инертных масс всех тел. А это, в свою очередь, приводит к пропорциональному замедлению темпов протекания всех процессов, так как масса имеет смысл характерного времени реакции тела на те или иные изменения, например, изменения скорости тела. Чем больше инертная масса какого-то объекта, тем дольше этот объект реагирует на действие тех или иных причин, тем медленнее становятся темпы протекания процессов с участием этого тела.*

В первой главе мы записали (выражение 1.4.7), что характерное время протекания процесса  $\tau$ , например, изменение скорости тела, является пропорциональным его инертной массе  $m_i$ :

$$\tau \sim m_i \quad (3.13.6)$$

А если инертная масса тела оказывается увеличенной на добавку  $\delta\mu$ , то и характерное время протекания процесса  $\tau_0$  увеличивается соответственно на величину  $\delta\tau$ :

$$\frac{\tau_0 + \delta\tau}{\tau_0} = \frac{m_i + \delta\mu}{m_i} = 1 + \frac{\delta\mu}{m_i} = 1 - \frac{\Phi_k}{c^2} \quad (3.13.7)$$

Вот в чем состоит природа мистического замедления времени! Конечно же, нет никакого искривления пространства, как нет и влияния происходящих процессов на время как таковое. Механизм этого явления состоит в том, что в гравитационных полях планет, звезд и звездных систем инертные массы всех объектов являются увеличенными по сравнению с массами таких же объектов, но находящихся вне этих полей. А пропорционально завышенные инертные массы всех тел приводят к пропорциональному увеличению характерных времен протекания всех процессов! Именно это обстоятельство и привело в релятивистской физике к мистическому представлению о замедлении самого времени.

Характерное время протекания всех процессов в гравитационном поле с потенциалом  $\Phi_k$  возрастает на величину  $|\Phi_k/c^2|$ . (Следует иметь в виду, что потенциал поля притяжения отрицателен.) Если же мы хотим оперировать не временами, а частотами  $\nu$ , то нам следует воспользоваться соотношениями  $\nu = 1/\tau$ , и  $\delta\nu/\nu = -\delta\tau/\tau$ . Тогда изменение частоты в гравитационном поле будет иметь вид:

$$\delta\nu = -\frac{\delta\tau}{\tau} \nu = \frac{\Phi_k}{c^2} \nu \quad (3.13.8)$$

В этом и состоит механизм так называемого красного смещения. Все частоты в гравитационном поле с потенциалом  $\Phi_k$  оказываются уменьшенными на величину  $\delta\nu < 0$  в силу того, что в поле притяжения  $\Phi_k < 0$ . Этот эффект неоднократно наблюдался и считается одним из немногих экспериментальных подтверждений общей теории относительности. Расчет полевой физики приводит к точно такому же результату исключая всю мистику, связанную с представлениями о замедлении времени и искривлении пространства.

Увеличение темпов протекания процессов является естественным и наглядным объяснением эффекта красного смещения. Нас совершенно не удивляет то, что период колебаний часового маятника на поверхности Земли зависит от ускорения свободного падения, или другими словами, от напряженности поля силы тяжести. Поэтому при увеличении или уменьшении притяжения часы будут идти по иному. Хорошо известно, что на экваторе за счет центробежной силы ускорение свободного падения меньше, поэтому период колебания маятника там другой, нежели в средних широтах и время течет как бы по-другому. И это не более чем еще одна видимая иллюзия!

Темпы протекания процессов являются физическими величинами. Они определяются условиями, в которых тот или иной процесс протекает. В зависимости от изменения этих условий темпы протекания процессов могут как уменьшаться, так и возрастать. При этом понятие времени является всего лишь математическим инструментом, применяемым для описания и сравнения темпов разных процессов. Следует понимать, что само время не является физической сущностью, поэтому оно не может подвергаться физическому влиянию или само влиять на процессы. Время – это свособразная тетрадь, в которую мы записываем последовательность тех или иных событий. Поэтому все спекуляции с понятием времени в современной физике являются не более чем мистикой.

### *3.14. Природа флуктуаций*

Введение в классическую физику глобального взаимодействия приводит к появлению еще одного крайне важного эффекта. Этот эффект играет очень интересную роль в возникновении случайностей и разрушении классической предопределенности нашего Мира. Речь идет о природе флуктуаций.

Рассматривая глобальное взаимодействие, мы сказали, что в пределах Земли и Солнечной системы его потенциал является примерно постоянным. И заметно меняется только при переходе к другим областям космоса. Это приводит к образованию у всех тел на Земле постоянной классической массы  $m$ :

$$m = -\frac{W_g}{c^2} = -\frac{q_g \phi_g}{c^2} \quad (3.14.1)$$

где  $W_g$  – потенциальная энергия взаимодействия данного тела с глобальным полем, а  $\phi_g$  – потенциал этого поля.

Однако все это является верным только в первом приближении. Пока мы говорим о потенциале глобального взаимодействия, усредненном по времени. Если же подойти к этому вопросу более досконально, то мы должны были бы, вообще говоря, считать потенциал глобального взаимодействия в данной области пространства, например в окрестностях Земли, сложной функцией времени.

Во-первых, это связано с тем, что все источники глобального взаимодействия не стоят на месте. Наша Галактика испытывает сложную динамику, в результате которой суммарный потенциал всех гравитационных полей в данной области космоса представляет собой сложную сумму пе-

ременных слагаемых. В первом приближении он, конечно же, остается примерно постоянным, но его текущее значение все время «плавает».

Вторая причина состоит в наличии собственных колебаний космического гравитационного поля. Нечто подобного космическому фону электромагнитного излучения. Рождение новых звезд и разрушение старых, столкновение крупных космических объектов, взрывы, выбросы струй вещества и многие другие подобные процессы могут становиться источниками как незначительного гравитационного фона, так и резких гравитационных импульсов. Учитывая огромные массы (гравитационные заряды) космических объектов и немалые скорости их движения, особенно в центральных областях Галактики, можно ожидать возникновения достаточно сильных гравитационных импульсов, хотя и краткосрочных. Все такие возмущения впоследствии распространяются в полевой среде и становятся причинами искажений гравитационного потенциала в тех или иных областях космоса.

Третьей причиной является движение самой Земли. Прежде всего, это движение вместе с Солнечной системой по отношению к центру нашей Галактики и другим звездам, скорость которого является немалой (около 250 км/с). В процессе этого движения Земля проходит различные области пространства, как с пониженной, так и с повышенной величиной потенциала глобального гравитационного поля. Эти изменения могут быть связаны хотя бы с элементарным сокращением или увеличением расстояния до ближайших звездных систем, которые тоже вносят свой вклад в массы всех тел на Земле. Помимо этого, вращение Земли вокруг Солнца приводит к тому, что она регулярно уходит в тень по отношению к одним источникам гравитации, например, по отношению к центру нашей Галактики, и выходит из тени по отношению к другим источникам.

Все эти, а также другие причины приводят к необходимости считать потенциал глобального взаимодействия в той или иной области космоса, и в том числе в области Земли, очень сложной функцией времени  $\varphi_g = \varphi_g(t)$  (рисунок 3.14.1). Причем, учитывая всю сложность и различные влияния каждого отдельного источника гравитации или каждой отдельной причины искажения гравитационного фона, мы с хорошей точностью можем считать эту зависимость от времени случайной! Это позволяет нам разделить потенциал глобального взаимодействия на две части – не зависящую от времени компоненту  $(\varphi_g)_0$ , которая представляет собой среднее значение потенциала, и случайный фон  $\delta\varphi_g(t)$ :

$$\varphi_g(t) = (\varphi_g)_0 + \delta\varphi_g(t) \quad (3.14.2)$$

где

$$\langle \varphi_g \rangle_0 = \langle \varphi_g(t) \rangle \quad (3.14.3)$$

$$\langle \delta \varphi_g(t) \rangle = 0 \quad (3.14.4)$$

а символы  $\langle \dots \rangle$  означают усреднение по времени.

Учитывая все сказанное выше, мы понимаем, что должно выполняться следующее условие:

$$\langle \varphi_g \rangle_0 \gg \max(|\delta \varphi_g(t)|) \quad (3.14.5)$$

то есть, хотя дополнительный случайный фон и существует, он является значительно меньшим, чем основное значение потенциала  $\langle \varphi_g \rangle_0$ . Тогда все классические массы определяются именно средним значением потенциала глобального взаимодействия:

$$m = -\frac{W_g}{c^2} = -\frac{q_g}{c^2} \langle \varphi_g \rangle_0 \quad (3.14.6)$$

и именно среднее значение является той самой величиной, которую мы использовали во всех разделах этой главы.



**Рисунок 3.14.1.** Потенциал глобального гравитационного поля все время «плавает», приводя к аналогичному поведению масс всех объектов. Особенный интерес могут представлять резкие всплески гравитационного фона.



Однако теперь мы должны посмотреть на все наши классические результаты уже с совсем иной точки зрения. Несмотря на примерное постоянство, глобальное гравитационное поле на самом деле испытывает сложнейшие вариации, хотя они в большинстве случаев являются незначительными. А значит, массы всех тел на поверхности Земли испытывают те же самые вариации:

$$M = -\frac{Q_g}{c^2} \left( (\varphi_g)_0 + \delta\varphi_g(t) \right) = m + \delta m(t) \quad (3.14.7)$$

где  $\delta m(t)$  как раз описывает переменную добавку к массе каждого тела, обусловленную гравитационным фоном.

*Масса любого классического объекта является только примерно постоянной! На самом же деле она всегда включает в себя переменную компоненту, связанную с вариациями глобального гравитационного поля, которые носят практически непредсказуемый или случайный характер! Принимая во внимание ключевую роль, которую играет масса практически во всех явлениях и процессах, становится предельно ясной природа возникновения так называемых «флуктуаций» или «шумов», известных ученым и инженерам любой сферы деятельности.*

К этим вездесущим флуктуациям можно отнести различные вариации параметров материалов, постоянно «плавание» результатов экспериментов и настроек приборов, различные фоновые шумы, помехи и многие другие похожие вещи. Вот почему в нашем Мире все можно измерить и посчитать только примерно — тогда все сходится. Но когда мы начинаем пытаться увеличить точность, то неизбежно упирасмся в вездесущие вариации и шумы, не позволяющие достичь идеала. Они суть влияние глобального вселенского гравитационного фона на все наши земные явления и процессы.

Отдельный интерес могут представлять заметные скачки гравитационного фона. Речь идет о том, что фон от большинства указанных выше причин является статистически предсказуемым и имеет примерно постоянную амплитуду. Но отдельные космические процессы, такие как взрывы или столкновения крупных объектов, могут приводить к образованию резких скачков гравитационного поля, амплитуда которых заметно превышает среднестатистическую амплитуду флуктуаций. Подобные гравитационные возмущения могут представлять собой нечто аналогичное ударным волнам в воздухе, возникающим в результате взрыва. Не исключено, что именно такие нечастые всплески гравитационной компоненты космической полевой среды являются причинами множества необычных явлений, в том числе, и на Земле.

Впрочем, пока мы говорим только о классическом движении, наличие флуктуаций оказывается не очень существенным. Это является следствием устойчивости большинства классических явлений. Как мы уже говорили, для них незначительные изменения в начальных условиях и параметрах системы не приводят к кардинальным различиям в результатах. В большинстве случаев в процессе протекания классических явлений небольшие начальные различия и вовсе исчезают.

Совсем по-иному дело обстоит с микрочастицами. Ведь для них даже незначительные флуктуации массы могут означать очень многое. Как мы уже говорили, движение микрочастиц часто оказывается неустойчивым, когда даже небольшие изменения в параметрах системы или начальных условиях могут привести к совершенно различным результатам. Например, находящийся в возбужденном состоянии атом или квазистабильное ядро могут перейти в иное состояние при наличии даже малой вариации масс частиц, составляющих данную систему. И причиной таких вариаций становится глобальный гравитационный фон, который и приводит к явлениям «спонтанного» излучения или «спонтанной» радиоактивности!

Существование вариаций глобального поля замыкает круг наших рассуждений о природе квантовых явлений. Очевидно, что именно эта причина, приводящая к вариациям масс элементарных частиц, инициирует большинство так называемых «спонтанных» процессов, которые сегодня могут быть описаны только статистически. А также она служит поводом к сосуществованию нескольких альтернативных каналов протекания процессов, например, распадов, в то время как в тех или иных условиях, казалось бы, всегда должен был реализовываться только какой-то один из них! Но благодаря флуктуациям масс все время немного изменяются условия протекания процессов, а в результате неустойчивости большинства квантовых систем это отражается в частом «переключении» между разными режимами поведения. Подобные обстоятельства создают видимость полного логического абсурда в поведении микрочастиц с точки зрения классического детерминизма!

Впрочем, переменный гравитационный фон может играть существенную роль даже в самых обычных классических условиях. Например, скачки космического гравитационного поля могут оказывать серьезное влияние на тектонические процессы внутри Земли и приводить к возникновению землетрясений или извержений вулканов. Другими примерами могут служить резкие перепады погоды, образование тайфунов, цунами, сильные скачки давления и температуры воздуха, а также иные подобные явления. И к таким эффектам, в первую очередь, могут приводить именно резкие скачки гравитационного фона, упомянутые чуть выше.

Давно отмечено, что для людей существуют благоприятные и неблагоприятные дни. Дни повышенной нервозности, плохого самочувствия,

рассеянного внимания. Нередко эти эффекты связывают с так называемыми «магнитными бурями» или переменами солнечной активности. Однако, учитывая все сказанное выше, мы можем утверждать, что первостепенной причиной таких эффектов должны являться именно перепады космического гравитационного фона — потенциала глобального взаимодействия. И развитие практических служб по измерению и мониторингу внешнего гравитационного фона может явиться важным инструментом в понимании и прогнозировании природных катаклизмов. Инструментом гораздо более мощным и эффективным, нежели традиционный прогноз погоды.

### ***3.15. «Чудеса в решетке» или знаки Зодиака***

В продолжение этой темы мы можем отметить еще одно интересное обстоятельство. В течение календарного года по мере движения Земли вокруг Солнца она последовательно оказывается повернутой к одному из сегментов космоса и закрытой Солнцем от влияния противоположных сегментов. Таким образом, на каждом отрезке своего вращения вокруг Солнца Земля в большей степени находится под влиянием вариаций гравитационного фона, приходящих именно из данного сегмента. Мы говорим сейчас не об основной составляющей глобального взаимодействия, влияющей на Землю в любом случае, а именно о фоне, который в большей степени может отражаться или гаситься Солнцем.

Мы можем условно разделить весь космос на двенадцать сегментов, подобно разделению полного круга циферблата на двенадцать часов (рисунки 3.15.1). Тогда Земля в процессе своего движения вокруг Солнца будет находиться в каждом из сегментов в течение месяца. И на протяжении этого срока наибольшее влияние на нее будут оказывать вариации гравитационного поля, пришедшие из данного сегмента космоса. Мы можем даже связать тот или иной сегмент космоса с наиболее характерным для него созвездием. И дать сегментам такие названия, как Стрелец, Козерог или Весы.

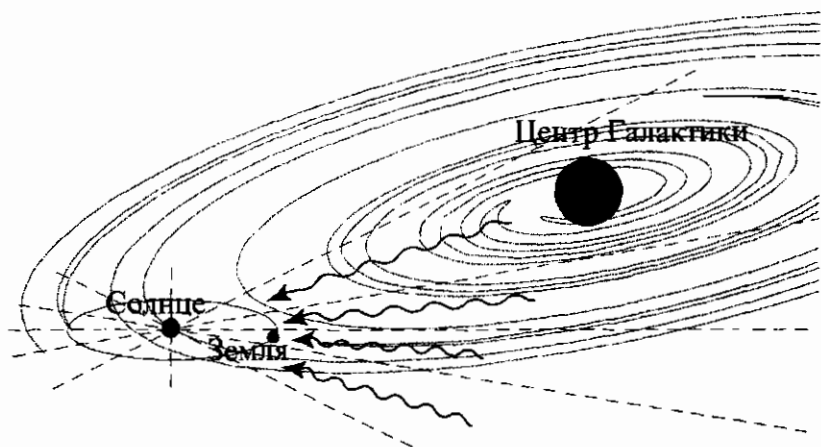
По мере движения вокруг Солнца Земля из года в год будет снова и снова проходить все эти сегменты. В результате этого, по крайней мере в первом приближении, гравитационный фон также окажется периодичным. В одни и те же месяцы разных лет он будет определяться одними и теми же источниками, а значит, будет иметь схожую структуру и интенсивность!

Как мы уже отмечали, вариации глобального взаимодействия оказывают определяющее влияние на процессы в микромире. В том числе, и на

живые клетки. Если принять во внимание, что в процессе зачатия каждый человек состоит только из одной живой клетки, то именно в этот период флуктуации внешнего гравитационного поля могут оказать заметное влияние на особенности ДНК и генетического кода. И это влияние будет одинаковым для людей, зачатых в одно и то же время или в аналогичные периоды времени разных лет!

Схожее влияние гравитационного поля на этапе зачатия людей может приводить к схожим особенностям организма, а следовательно, к схожим способностям, чертам характера, поведения, инстинктивной реакции и другим подобным вещам. Например, люди с более быстрой реакцией, скорее всего, будут успешны в тех видах деятельности, которые требуют умения быстро ориентироваться в обстановке, налаживать контакты с людьми, постоянно перестраиваться, быстро принимать решения. В то время как люди с замедленной реакцией будут в большей степени склонны к спокойной деятельности, более привычной и традиционной, связанной с неторопливыми размышлениями и постепенным поиском ответов.

Эти особенности могут сказываться на выборе профессии, хобби, карьерном росте, выборе круга общения или спутника жизни, на отношении к тем или иным вещам или событиям. А также на таких подсозна-



**Рисунок 3.15.1.** По мере своего движения вокруг Солнца Земля периодически оказывается повернутой к одним сегментам космоса и экранированной Солнцем от других сегментов.

тельных категориях, как схожие симпатии, предпочтения, вкусы, интуитивные ощущения. Возможно, что эти схожие особенности действительно могут являться достаточно заметными, что и привело еще в глубокой древности к возникновению представлений о влиянии звезд на человеческую судьбу. И хотя большинство подобных взглядов являются не более чем суевериями, нередко складывается ощущение, что в этом подходе есть некое рациональное «зерно».

Полевая физика не поддерживает какие-либо конкретные астрологические представления, связанные с той или иной школой. Речь идет лишь о том, что в полевой физике благодаря учету глобального взаимодействия впервые в науке появилось объективное основание, указывающее на существование тесной связи между гравитирующими космическими объектами — звездными системами — и обычными земными процессами. И в том числе эта связь может оказаться крайне важной и определяющей именно в момент зачатия человека, что и приводит к возможной схожести людей, зачатых в одно и то же время, а также к схожести их характеров и жизненных путей.

Именно такому подходу созвучны широко известные представления о принадлежности каждого человека к тому или иному знаку Зодиака. Правда, сейчас связь с конкретным знаком основана на дате рождения человека, а не на дате его зачатия. Но если принять во внимание, что срок между этими двумя датами для разных людей примерно одинаков, то все сходится! Хотя некоторые различия в продолжительности этого срока могут служить как раз одной из причин, нарушающих систему. Люди, родившиеся в один день под одним знаком Зодиака, могли быть зачаты не в один и тот же момент времени. Проще говоря, принадлежность к тому или иному знаку следует производить не по дате рождения человека, а по дате его зачатия.

Также следует понимать, что подобное влияние космического гравитационного поля может способствовать только возникновению своеобразной предрасположенности у людей, но не более того. Каждый человек индивидуален, и схожая предрасположенность может вовсе и не приводить к одним и тем же действиям или поступкам. Это означает, что любая астрологическая система может носить только вероятностный характер и работать от случая к случаю, как это и происходит. Хотя метеорологический прогноз порой работает не лучше.

Полевая физика открывает широкое поле для объективного научного изучения возможных взаимосвязей между космическим гравитационным полем и особенностями людей. В том числе, путем регулярного мониторинга гравитационного фона и сбора статистики. Возможно, со временем мы станем лучше понимать взаимосвязь между звездами и яв-

лениями на Земле и делать более осмысленные прогнозы. И тогда прозорливость и интуиция древних, позволившие за тысячи лет до возникновения науки усмотреть столь сложные связи людей со звездами, покажутся нам настоящим чудом!

### ***3.16. Полевая физика и классическая механика***

Принято считать, что при любых переменах в развитии физики классическая механика всегда останется верной. Своеобразным частным случаем любой более общей теории. Так было с теорией относительности, когда классическая механика была расширена сначала на область больших скоростей, а потом — сильных гравитационных полей, описанных в рамках неевклидовой геометрии. Аналогичные слова можно сказать и о квантовой механике, когда произошло обобщение классических законов на случай малых расстояний и малых частиц. Но теперь мы, похоже, разрушили и эту иллюзию.

Полевою физику вряд ли можно считать обобщением классической механики. Безусловно, вся классическая физика является важным шагом в развитии нашего понимания устройства Мира, и мы должны отдать должное как ей, так и ее создателям. Однако в отличие от предыдущих расширений полевая физика в своем построении практически не использует никакие представления классической механики. За исключением, быть может, только двух достаточно общих свойств поведения сплошных сред, которые в равной мере можно рассматривать как характерный результат большинства наблюдений, а не следствие какой-то теоретической концепции.

Помимо этого, полевая физика не обобщает, а полностью заменяет практически все руководящие принципы и представления классической механики. Вместо абсолютного пространства классической механики (или относительного неевклидова пространства-времени теории относительности) полевая физика использует полевою среду. Ориентирами для движения перестают быть системы отсчета, в том числе инерциальные, и их место занимают другие объекты, условно называемые источниками полей, с которыми взаимодействует исследуемый объект. Для большинства явлений таким ориентиром служит система неподвижных звезд нашей Галактики, и прежде всего, ее наиболее массивный центр, по отношению к которым и выполняется принцип инерции. А эквивалентность движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга инерциальных систем отсчета пропадает, потому что такое движение, как нам стало понятно, можно разделить даже экспериментально.

В полевой физике претерпели существенное изменение ключевые понятия массы, заряда и силы. Все они оказались параметрами, характеризующими полевую среду, а не сами объекты. Концепция неизменной классической массы тела (или неизменной массы покоя), его внутренней «врожденной» характеристики — меры количества материи в этом теле, заменилась концепцией динамической массы, обусловленной только взаимодействием двух тел. Помимо этого, в полевой физике возникло понятие гравитационного заряда. И стала очевидной несостоятельность принципа эквивалентности двух типов масс, а также возникла возможность экспериментального обнаружения этого обстоятельства.

Другими словами, от прежней классической физики, какой мы ее знали до того момента, как открыли первую страницу этой книги, почти ничего не осталось. Мы могли бы вообще дальше не развивать полевую физику и не рассматривать релятивистское, квантовое и иные типы движения. Потому что полевая физика уже состоялась даже на базе существенного пересмотра одного только классического поведения! Сделав только краткий обзор данной области, мы уже нашли достаточно новых явлений в самых обычных классических условиях, каждое из которых может быть обнаружено и проверено экспериментально. Вот почему мы можем считать, что полевая физика — это принципиально новый этап в развитии всего нашего мировоззрения и представлений об устройстве нашего Мира.

И все же, в чем основная разница между классическим уравнением движения:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (3.16.1)$$

и полевым уравнением движения

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_i \quad (3.16.2)$$

адаптированным к классическому случаю?

Ведь по сути дела оба этих уравнения идентичны. Как и их результаты. При этом классическое уравнение движения выглядит более простым. В него входит меньше величин. По сути оно говорит нам о том, что для определения ускорения тела надо действующую на него силу поделить на его массу и все!

С полевым уравнением движения все выглядит намного сложнее. Хотя бы потому, что теперь вместо измеряемой обычными средствами (например, величиной растяжения пружины) силы и массы нам приходит-

ся напрячь воображение и представить себе некую функцию плотности  $W$ , характеризующую невидимую полевою среду. Пусть даже в данном случае эта функция плотности крайне проста и совпадает с видом обычного кулоновского (или ньютоновского) потенциала, но это уже заметный шаг за пределы классической механики в область теории поля.

Помимо этого, все не ограничивается взаимодействием только локальных тел, расположенных в нашей земной лаборатории. Потому что для описания даже таких элементарных процессов, как колебание груза на пружине или движение бильярдного шара, нам следует принять во внимание существование множества звездных систем и всей нашей Галактики, которые определяют величину  $W_g$ ! Хотя в обычном классическом случае эта функция — всего лишь константа, но чувство некоторого смятения такая глобальность подхода все же создает.

Более того, для классической механики представляет явную неприятность величина скорости света  $c$ , потому что в данном разделе физики такой константы, вообще говоря, нет. И хотя ее примерное значение было измерено Ремером уже достаточно давно, введение этой величины в механику требует привлечения еще и оптических представлений, а лучше — уравнений электродинамики, что снова выводит нас за рамки чистой классической механики.

Вот почему большинство людей предпочли бы более простую первую формулу. Для студента ее проще запомнить и после написать на экзамене. С помощью нее легче решать обычные задачи из учебника. Для инженеров и экспериментаторов этого выражения вполне хватит для расчета более сложных задач, где тел побольше да и связаны они посложнее. Но всем этим телам уже приписаны массы и другие классические параметры, поэтому необходимости в полевом уравнении движения вроде как не возникает.

По большому счету мы можем указать всего две основные причины, делающие полевое уравнение движения более предпочтительным, нежели классическое. Это те самые причины, по которым необходимо поменять обычную гоночную машину, более удобную и приспособленную для езды по автостраде, на неуклюжий внедорожник, без которого нам не удалось бы достичь тех мест, куда автострада не ведет.

Первая причина связана с неизбежным выходом за рамки классических приближений. И к большому сожалению для стройной классической физики, это оказалось возможным не только где-то в далеком космосе, но и в большинстве земных явлений. (Будь иначе, люди могли бы вообще никогда не узнать о нарушении классических законов!) Новые эксперименты на рубеже XIX—XX веков привели к сильному шоку в физи-



ческой науке, когда ученым после столетий классического успеха пришлось вдруг столкнуться с совершенно абсурдными явлениями. Ведь любая идиллия когда-нибудь кончается. И именно в рамках полевого уравнения движения становится очевидным, как естественным образом перейти к описанию новых неклассических явлений, чем мы и займемся в следующих главах.

Второй важной причиной, делающей полевое уравнение движения более предпочтительным, является скрытая в нем возможность продвинуться в глубь понимания устройства нашего Мира. Ведь хотя величины массы, силы или заряда являются удобными для решения простых задачек из учебника, они не позволяют понять того, что стоит за этими характеристиками объектов, как у тел возникают подобные свойства, с чем они связаны и как их менять. Мы переходим на совершенно иной, новый уровень понимания физики, когда расшифровываем величину, обозначаемую буквой  $M$ , и начинаем понимать, с чем связано это свойство тела, и как им можно управлять!

Эта вторая причина является, пожалуй, наиболее важной. Ведь именно для этих целей и создавалась полевая физика. В конце концов, неклассические явления можно с тем или иным успехом рассчитать и на базе теории относительности или квантовой теории. Но только в полевой физике мы смогли, наконец, понять природу массы, а также природу возникновения других физических величин и внутренние механизмы протекания казалось бы давно известных процессов. И в этой главе мы постарались увидеть, как много нового может принести полевая физика даже в области обычных классических явлений.

И тем не менее, что-то вечное в классической механике все-таки есть. Наверное, это ее тесная связь с нашими обыденными представлениями, жизненным опытом, привычным положением дел. Ведь даже несмотря на существенный пересмотр подоплеку всех классических процессов, соотношения классической механики в обычной жизни все равно остались примерно правильными.

Пусть инертная масса – не мера количества материи, и она не «сидит» внутри тела. И в особых условиях массы объектов можно изменять на целые порядки. Но вряд ли из-за этого люди перестанут оперировать количеством килограммов при покупке товаров в магазине, потому что в обычных земных явлениях большинству тел мы по-прежнему можем приписать давно известный параметр  $m$ , и в первом приближении он будет неплохо описывать ситуацию. Пока дело не дойдет до быстрых частиц, сильных полей и прочих, искусственных с точки зрения обывателя условий. Пусть инертная и гравитационная массы – совершенно разные вещи. Но опять же, на поверхности Земли массы тел вполне можно определять простым взвешиванием на весах, и падать они будут при-

мерно с одним и тем же ускорением. Проще говоря, «гастрономический» смысл массы, который мы используем, когда идем после работы в магазин, чтобы купить два кило картошки и полкило мяса, вряд ли когда-нибудь изменится.

Человеку свойственно воспринимать Мир в согласии со своими органами чувств, привычными ассоциациями, понятными примерами. И классическая физика — это буквальный взгляд на наш Мир. Описание того, как он выглядит, каким он нам кажется. Поэтому данная ступень человеческого знания останется вечной. Уже потом отдельные люди могут захотеть разобраться в том, что же на самом деле стоит за этим видимым поведением, каковы его внутренние механизмы, и как все устроено на самом деле. Тогда становится понятно, что даже классические явления имеют совсем не ту подопку, как нам казалось в классической механике. Но, может быть, для счастливой и спокойной жизни лезть в дебри устройства нашего Мира вовсе и не надо? А следует относиться к нему совсем по-другому? Воспринимать его таким, каким он нам кажется? Быть может, счастье в неведении?

Мы живем в Мире, где многие люди предпочитают ездить на хороших машинах, но при этом редко интересуются тем, что находится под капотом. Любят смотреть зрелишные спецэффекты на экране кинотеатра или компьютера, не заботясь о том, чтобы покопаться в компьютерных кодах этой графики. Хотят выглядеть красиво и оставаться вечно молодыми, не утруждая себя тем, чтобы заглянуть в глубины биологии. Наш Мир наполнен «пользователями», которые как бы «включают компьютер», рождаясь на этот свет. Они хотят, чтобы Система работала максимально просто и надежно, показывала им красивые картинки, запускала увлекательные игры, дарила приятные ощущения и оставляла хорошие впечатления вплоть до своего «выключения» в момент смерти человека.

Люди приходят в этот Мир с желанием радоваться жизни и получать удовольствие, любоваться красивыми вещами и найти счастье. Им не очень-то хочется разбираться в том, из какой субстанции все это сделано, как поля создают какие-то массы, и к каким траекториям движения все это приводит. Людей больше заботит любовь и ненависть, красивая одежда и вкусная еда, азарт и острые ощущения. Но наш Мир выглядит мало приспособленным для счастья. Хотя, может быть, дело даже не в его физическом устройстве. А в том, как люди используют предоставленные им возможности.

Бывает, что отдельных людей не устраивает роль быть просто «пользователями» этой Системы. И тогда они начинают искать внутренний механизм ее устройства. Они пытаются отодвинуть в сторону внешнюю «обложку» и добраться до внутреннего «кода», в согласии с которым работают «программы». Таких людей можно условно назвать «программиста-

ми», которые со временем приобретают понимание элементов «кода» «операционной системы Мира» и становятся способными «допрограммировать» небольшие собственные «модули». Одни из них научились передавать мысли на расстоянии с помощью радио и телефонов. Другие научились летать с помощью подъемной силы крыла или реактивной струи газа. И даже смогли долететь до соседней планеты. А кто-то смог побороть серьезные болезни и продлить жизнь другим людям. Мы называем этот процесс наукой. Хотя, как и следовало ожидать, таких «программистов» совсем немного на фоне народных масс простых «пользователей».

Есть в нашем Мире еще и другие персонажи. Мы можем условно назвать их «системными администраторами». Это люди, которые тоже предпочли подняться над уровнем обычного «пользователя». Но не путем постижения устройства Мира, а благодаря занятию в нем выгодных позиций. Они взяли на себя роль администраторов, призванных упорядочить общее сосуществование в Системе. Эти люди понаставили в Системе множество «паролей», разграничили «права доступа» к тем или иным «ресурсам», создали различные службы контроля. И хотя все подобные манипуляции всегда проводились под эгидой благих намерений, как показывает история, чаще такие «сисадмины» приносили «пользователем» и Системе больше вреда, нежели пользы.

Крайне редко в нашем Мире появляются личности еще одного типа — «разработчики» этой Системы. Те, кто создал и запустил ее. Возможно, самый яркий пример подобного «явления», о котором помнит история, произошел около 2000 лет назад. Хотя личности подобного рода неоднократно появлялись в разные времена у разных народов. Мы на самом деле очень мало знаем о них, и еще меньше понимаем их цели и мотивы. Возможно, они стремятся что-то проверить или исправить в Системе нашего Мира. Или научить людей правильно ею пользоваться, не во вред себе. И все это создает крайне разнообразный круговорот событий, благодаря которому наш Мир трудно назвать скучным. Хотя и нередко он вызывает разочарования.

# Глава IV

## Полевая механика – релятивистское движение

*Все относительно.  
Даже теория относительности.  
Философское замечание*

### **4.1. Переменная добавка к массе или релятивистское движение**

Мы покидаем пологую равнину классической физики. Когда-то ученым казалось, что весь Мир ограничивается только ею. И в этом взгляде были свои преимущества, выраженные в простоте и прозрачности устройства Мира. Однако простота имеет и обратную сторону – скудность и примитивность. Хорошо это или плохо, но наш Мир не таков. За пределами пологой классической равнины мы наблюдаем гораздо более обширные области холмов и склонов, горных вершин и ущелий, которые имеют свое очарование и красоту, хранят свои тайны и секреты. И делают наш Мир разнообразным и непредсказуемым.

Теперь, когда мы более-менее освоились на равнине нового научного континента, у нас есть все необходимое, чтобы двинуться дальше. И перед нами лежит холмистая местность, по которой нам предстоит пройти в этой главе. Как вскоре станет понятно, нечто похожее также существует и в современной физике, однако в совершенно ином виде и в совершенно иной интерпретации.

Вернемся к нашему начальному полевому уравнению движения, которое мы получили исходя из основных принципов динамики полевой среды:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W \quad (4.1.1)$$

Как мы помним, в этом уравнении скорость движения исследуемой частицы  $\mathbf{u}$  определяется функцией полевой связи  $W$  этой частицы с другими частицами и объектами, а  $c$  – константа скорости света. Причем оказалось, что в классической интерпретации функция связи есть нечто иное, как потенциальная энергия взаимодействия.

Для описания физических явлений на Земле мы даже смогли разделить функцию  $W$  на две принципиальные составляющие. Первую составляющую  $W_l$  мы связали с влиянием локальных полей, которые обусловлены действием других объектов на Земле. Движение под влиянием таких полей обычно и изучается в подавляющем большинстве прикладных задач. Другая составляющая  $W_g$  связана с наличием глобального взаимодействия, обусловленного влиянием на все земные объекты и процессы совокупного гравитационного поля Вселенной.

Дополнительно следует упомянуть, что наше полевое уравнение движения записывается в системе поля, связанной с объектом-источником. А так как источников у нас получилось как минимум два, то пока они должны покоиться друг относительно друга. Это означает, что написанное выше уравнение движения справедливо для тех случаев, когда источник локального взаимодействия покоится относительно источника глобального взаимодействия – системы неподвижных звезд. Или, в некотором приближении, относительно Земли. Чуть позже мы сможем обобщить полевое уравнение движения на тот случай, когда два или большее количество источников поля движутся совершенно произвольно друг относительно друга, и существует несколько систем поля. Для этого нам необходимо окончательно разобраться с динамическими добавками к статическим силам в случае движения источников, чему во многом и посвящена эта глава.

Итак, полевое уравнение движения некоего исследуемого тела на поверхности Земли выглядит так:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g + W_l}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_g - \nabla W_l \quad (4.1.2)$$

И к этому виду уравнения движения мы будем возвращаться еще неоднократно. Потому что оно представляет собой важную развилку, на которой в зависимости от тех или иных приближений или условий возникают разные классы движений. Одни из них соответствуют основным разделам современной физики, а другие являются вообще неизвестными ей.

В предыдущей главе мы рассмотрели классическое движение. Оно оказалось приближением, согласно которому массы всех тел определяются только глобальным взаимодействием, а силы имеют только локальный характер:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_l \quad (4.1.3)$$

Однако ограниченность подобного приближения была очевидна еще с первых страниц этой книги. Хотя бы благодаря нашему рассмотрению роли переменной добавки к массе, которой мы посвятили почти всю первую главу. Например, для электрона и протона, составляющих атом водорода, величину электрической добавки к массе можно определить следующим образом:

$$\delta\mu = -\frac{W_{ep}}{c^2} = \frac{e^2}{R_{ep}c^2} \approx 4,8 \cdot 10^{-35} \text{ кг} \approx 0,5 \cdot 10^{-4} m_e \quad (4.1.4)$$

где  $e$  и  $m_e$  – заряд и масса электрона, а  $R_{ep}$  – радиус первой боровской орбиты – расстояние между электроном и протоном в атоме водорода,  $W_{ep}$  – потенциальная энергия их взаимодействия. Подобную добавку гравитационного характера в полях Земли и Солнца мы упоминали в прошлой главе.

Часто добавка к массе, обусловленная локальными полями, оказывается на несколько порядков меньше постоянной составляющей массы, связанной с глобальным взаимодействием. Однако, как мы уже видели в первой главе, даже такая небольшая поправка нередко играет решающую роль, приводя к возникновению магнитных сил, вихревого электрического поля, а также к ряду других вполне осозаемых эффектов. Более того, по мере увеличения интенсивности локальных полей переменная составляющая массы может сравняться с постоянной компонентой и даже превзойти ее! Например, для электрона это происходит при сближении с протоном до расстояния классического радиуса электрона, то есть примерно до  $2,8 \cdot 10^{-15}$  метра. Вот почему теперь нам важно уделить серьезное внимание учету роли переменной добавки к массе, связанной с локальными полями.

В этом случае нам следует от классического приближения перейти к более полному виду полевого уравнения движения:

$$\frac{d}{dt} \left( -\frac{W_g + W_l}{c^2} \mathbf{u} \right) = -\nabla W_l \quad (4.1.5)$$

В этом уравнении мы по-прежнему не учитываем действие сил, связанных с глобальным взаимодействием, считая, что Земля и Солнечная система движутся под их влиянием как единое целое. Формально это обстоятельство также можно отразить с помощью условия  $W_g = \text{const}$  в пределах рассматриваемой локальной области космоса. Однако теперь мы не пренебрегаем вкладом локальных полей в массы тел.

*Следующим после классического приближения является класс движений, при котором массы тел определяются не только глобальным взаимодействием, но и небольшой добавкой, обусловленной локальными полями. В этом случае массы всех тел становятся переменными, хотя их изменения, как правило, невелики.*

Чтобы разделить две составляющие массы каждого тела, мы введем постоянную классическую массу  $m$ :

$$m = -\frac{W_g}{c^2} \quad (4.1.6)$$

определяемую глобальным взаимодействием. А также переменную добавку к массе  $\mu$ :

$$\mu = -\frac{W_l}{c^2} \quad (4.1.7)$$

Также мы будем в дальнейшем вместо  $W_l$  использовать просто  $W$ , помня, что в данном контексте речь идет только о локальных полях, которые и описывает величина  $W$ . Тогда наше полевое уравнение движения с учетом поправки к массе, созданной локальными полями, примет вид:

$$\frac{d}{dt}((m + \mu)\mathbf{u}) = \frac{d}{dt}\left(\left(m - \frac{W}{c^2}\right)\mathbf{u}\right) = -\nabla W = \mathbf{F} \quad (4.1.8)$$

Этот вид уравнения движения мы будем называть релятивистским уравнением движения. Потому что оно содержит в себе всю релятивистскую механику, составляющую содержание специальной теории относительности. В чем нам и предстоит сейчас убедиться.

## **4.2. Релятивистская механика**

Написанный выше вариант полевого уравнения движения обнаруживает интересные особенности. Полная масса  $M$  исследуемого тела в отличие от классического случая уже не является неизменной, а выражается следующей формулой:

$$M = m + \mu = m - \frac{W}{c^2} \quad (4.2.1)$$

где  $m$  — постоянная компонента массы, обусловленная глобальным взаимодействием, а  $\mu$  — добавка к массе, связанная с локальными по-

лями. По этой причине мы уже не можем вынести величину массы из-под знака производной, в результате чего аналог классического уравнения движения выглядит теперь так:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.2.2)$$

то есть сила  $\mathbf{F}$  приводит уже не к изменению скорости тела, а к изменению произведения скорости на массу, то есть к изменению импульса тела.

Попробуем теперь все же выделить в этом уравнении движения ускорение частицы, раскрыв производную произведения:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\nabla W - \mathbf{u} \frac{dM}{dt} = -\nabla W + \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \frac{dW}{dt} = -\nabla W + \frac{1}{c^2} \mathbf{u} (\mathbf{u} \nabla W) \quad (4.2.3)$$

Мы использовали то обстоятельство, что в нашем случае функция связи  $W = W(\mathbf{R})$ , где  $\mathbf{R}$  описывает местоположение исследуемой частицы относительно частицы-источника, помещенной в начало координат. А следовательно, полная производная от  $W$  по времени равна пространственной производной  $dW/dt = \mathbf{u} \nabla W$ .

Если теперь использовать величину силы  $\mathbf{F} = -\nabla W$ , то уравнение движения примет вид:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - \frac{1}{c^2} \mathbf{u} (\mathbf{u} \mathbf{F}) \quad (4.2.4)$$

или чуть по-другому с использованием двойного векторного произведения

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) + \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{F} \times \mathbf{u}) \quad (4.2.5)$$

Другими словами, наличие переменной добавки к массе приводит к поправкам в силе, имеющим порядок  $u^2/c^2$ . Более того, это уравнение движения имеет следующее свойство. Если сила сонаправлена со скоростью  $\mathbf{F} \parallel \mathbf{u}$ , то есть она меняет последнюю по величине, то возникает эффект уменьшения силы:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) \quad (4.2.6)$$

или увеличения инертности:



$$\frac{M}{1-u^2/c^2} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.2.7)$$

Если же сила перпендикулярна скорости  $\mathbf{F} \perp \mathbf{u}$  и меняет только ее направление, а не абсолютную величину, то уравнение движения принимает обычный вид:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.2.8)$$

Люди, знакомые с теорией относительности, уже успели заметить в нашем полевом уравнении движения много схожих свойств. Ведь точно к такому же эффекту приводит релятивистская зависимость массы от скорости! Если мы вместо нашей формулы полевой массы используем формальную релятивистскую зависимость

$$M(u) = \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (4.2.9)$$

где  $M_0$  обозначает так называемую массу покоя, то получим аналогичный результат!

Если сила сонаправлена со скоростью  $\mathbf{F} \parallel \mathbf{u}$ , то релятивистское уравнение движения имеет вид:

$$\frac{dM(u)\mathbf{u}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \mathbf{u} \right) = \frac{M_0}{(1-u^2/c^2)^{3/2}} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \frac{M(u)}{1-u^2/c^2} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.2.10)$$

Если же сила перпендикулярна скорости  $\mathbf{F} \perp \mathbf{u}$  и модуль скорости не меняется, то

$$\frac{dM(u)\mathbf{u}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \mathbf{u} \right) = \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \frac{d\mathbf{u}}{dt} = M(u) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.2.11)$$

**Полная масса частицы, обусловленная влиянием глобального и локального взаимодействий, может быть представлена в виде формальной зависимости от скорости частицы. И эта зависимость совпадает с релятивистской формулой массы!**

$$M(R) = m - \frac{W(R)}{c^2} = M(u) = \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (4.2.12)$$

Суть этого результата вполне понятна. В процессе своего движения под влиянием локального поля частица проходит различные точки пространства  $\mathbf{R}$ , в которых значение потенциала  $W = W(\mathbf{R})$  обуславливает ей наличие соответствующей добавки к массе. А то или иное значение массы, в свою очередь, влияет на траекторию частицы и приводит к прохождению тех или иных областей поля  $\mathbf{R}$ . Если из этого механизма исключить траекторию, то есть положение частицы  $\mathbf{R}$ , то получится формальная зависимость массы от скорости движения частицы  $M = M(u)$ !

Физический смысл этой зависимости состоит в следующем. Чем больше скорость частицы, тем больше интенсивность поля, в которое частица может проникнуть. А чем интенсивнее поле, в которое проникает частица, тем значительнее будет полевая добавка к ее массе. Формально это и выглядит как рост массы со скоростью! И приводит к условной замене зависимости массы частицы от ее местоположения зависимостью от ее скорости!

Мы могли бы получить формальную связь массы и скорости частицы даже не обращаясь к соотношениям теории относительности. А как раз путем исключения зависимости от расстояния в полевом уравнении движения. Если мы станем считать полную массу частицы не функцией ее местоположения, а функцией скорости, то есть положим:

$$M(u) = m - \frac{W}{c^2} \quad (4.2.13)$$

то, дифференцируя это выражение по времени, мы получим:

$$\frac{dM(u)}{dt} = -\frac{1}{c^2} \frac{dW}{dt} = -\frac{1}{c^2} (\mathbf{u} \nabla W) = \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \mathbf{F} \quad (4.2.14)$$

Подставив теперь величину  $\mathbf{F}$  из полевого уравнения движения (4.2.2), мы получим:

$$\frac{dM(u)}{dt} = \frac{\mathbf{u}}{c^2} \frac{dM(u)\mathbf{u}}{dt} \quad (4.2.15)$$

Это уравнение легко интегрируется путем разделения переменных:

$$\frac{dM(u)}{M(u)} = \frac{1}{1 - u^2/c^2} \frac{\mathbf{u} d\mathbf{u}}{c^2} = -\frac{1}{2} \frac{d(1 - u^2/c^2)}{1 - u^2/c^2} \quad (4.2.16)$$

и мы получаем искомую формальную зависимость массы от скорости:

$$M(\mathbf{u}) = \frac{M_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \quad (4.2.17)$$

Так называемая «масса покоя»  $M_0$  представляет собой просто константу интегрирования, подобно константе полной энергии. Она не характеризует свойства самой частицы, а является лишь следствием созданных начальных условий! В зависимости от них масса покоя для одной и той же частицы может быть разной! Чуть позже мы подробнее обсудим это важное обстоятельство, кардинально меняющее все современные представления об иерархии элементарных частиц.

*Полевое уравнение движения с учетом переменной добавки к массе и имеющее вид:*

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = (m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - \frac{1}{c^2} \mathbf{u}(\mathbf{u}\mathbf{F}) = \mathbf{F} \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) + \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{F} \times \mathbf{u}) \quad (4.2.18)$$

*полностью эквивалентно релятивистскому уравнению движения с зависящей от скорости массой:*

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{M_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \mathbf{u} \right) = \mathbf{F} \quad (4.2.19)$$

Мы получили очень важный результат. Фактически релятивистская физика, а именно специальная теория относительности, оказалась еще одним следствием полевой механики! Причем все сделанные нами вычисления проводились исключительно в рамках евклидовой геометрии и не требовали введения сокращения пространства или замедления времени. А также их объединения в пространство-время. Это позволяет нам сделать очень важные выводы.

Пожалуй, впервые за последние сто лет удалось нащупать истинные физические причины тех эффектов, которые носят в современной физике название релятивистских поправок. Оказалось, что переход от классического уравнения движения к релятивистскому и рост массы со скоростью вовсе не являются следствием преобразований Лоренца, сокращения расстояний или замедления времени. Они связаны с объективными физическими механизмами, в согласии с которыми сильные поля приводят к заметным добавкам к массам частиц, а также к большим скоростям их движения. В полевой физике релятивистские эффекты перестают носить мистический характер и приобретают наглядное физическое обоснование.

На полученный нами результат можно посмотреть и с другой стороны. Ведь в мире все относительно! И сказать, что полевая физика позволяет нам понять, почему формальные соотношения специальной теории относительности правильно работали на протяжении целого столетия и совпадали с результатами экспериментов. Ведь логика этой теории, призванная объяснить реальные физические процессы формальными математическими приемами и искажением геометрии, у многих специалистов вызывала вопросы и сомнения, начиная с момента ее появления и вплоть до наших дней. Однако о философской роли теории относительности мы поговорим в конце этой главы, а сейчас нам важно разбраться еще в нескольких принципиальных вопросах.

### 4.3. Силы инерции первого и второго рода

Полевое уравнение движения и полевая механика предоставляют нам возможность со всей должной строгостью подойти к решению тех вопросов, которые были интуитивно обозначены еще в первой главе. В частности, тогда мы попытались вывести силу Лоренца исходя из сил инерции и получили ряд «лишних» слагаемых, которые не вписывались в известное выражение для силы. Но нам тогда также стало ясно, что все эти «лишние» слагаемые все же присутствуют в силе Лоренца, но не явным образом, а в виде релятивистских поправок, таких как искажение электростатической силы или появление переменной массы, зависящей от скорости. Теперь мы смогли это увидеть уже на совершенно ином уровне.

Следует отметить, что пока еще мы не перешли к рассмотрению движущихся источников. Полученное выше уравнение (4.2.18) описывает движение исследуемой частицы относительно покоящегося источника, влияние которого и представлено потенциалом локального взаимодействия  $W_i$ . А само уравнение движения записано в системе неподвижных звезд, которую с некоторым приближением можно также связать и с Землей. Но даже в этом сравнительно простом случае, когда все источники полей покоятся, мы можем отметить ряд важных моментов.

Появление переменной добавки к массе приводит к возникновению поправок к обычной статической силе, которую мы специально обозначим  $\mathbf{F}_0 = -\nabla W$ . Такой статической силой может быть кулоновское взаимодействие двух заряженных частиц или ньютоновское тяготение. Возникающие поправки строятся на основе статической силы и имеют порядок  $u^2/c^2$ , где  $\mathbf{u}$  – скорость движения рассматриваемой частицы. Этот результат очень похож на наши манипуляции из первой главы,

когда усложнение движения приводило к возникновению новых слагаемых – полевых сил инерции.

В релятивистском подходе то же самое движение описано по иному. Вместо наглядной поправки к силе используется завуалированная поправка. Она состоит в формальной зависимости массы от скорости и, как мы видели, приводит к точно такому же результату. Однако это во многом всего лишь математический трюк. Потому что явная зависимость массы от скорости, вообще говоря, не имеет прямого физического смысла, как и изменение характера движения при такой поправке совершенно не наглядно.

Именно об этом и шла речь в первой главе. Мы говорили, что все релятивистские поправки в современной электродинамике можно заменить «потерянными» силами инерции. В результате этого получится полная сила Лоренца, которая будет эквивалентным образом описывать движение без релятивистских поправок в рамках обычных преобразований Галилея. Подобно тому, как полученное нами полевое уравнение движения оказалось эквивалентно релятивистскому уравнению движения. И эти уравнения – частный случай силы Лоренца, записанный для покоящейся частицы-источника.

Но откуда вообще возникла поправка к силе в полевом уравнении движения (4.2.18) – некая сила инерции, учитывая наличие покоящегося источника и полностью неподвижной системы отсчета? Чтобы ответить на этот вопрос, нам необходимо кардинально расширить свои представления о силах инерции и открыть силы инерции второго рода. Силы, которые по непонятным причинам вообще оказались вне поля зрения современной физики.

Представления о силах инерции возникли благодаря развитию классической механики. Хотя некоторые их проявления, например, центробежная сила, были известны и ранее. В рамках классического уравнения движения силы инерции возникают следующим образом. Если в инерциальной системе отсчета движение некоего тела с массой  $m$  и скоростью  $\mathbf{u}$  под действием силы  $\mathbf{F}$  описывается следующим уравнением:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.3.1)$$

то в неинерциальной системе, совершающей движение с некой произвольной скоростью  $\mathbf{v}$ , это же уравнение принимает вид:

$$m \frac{d(\mathbf{u} + \mathbf{v})}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.3.2)$$

или

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F} + (\mathbf{F}_i)_I \quad (4.3.3)$$

Другими словами, ускорение исследуемого тела в подобной системе отсчета определяется не только действием силы, но еще и изменениями скорости движения самой системы.

*Именно такие обычные силы инерции  $(\mathbf{F}_i)_I$ , связанные с неравномерным движением тел, мы и назовем силами инерции первого рода. Все эти силы хорошо знакомы и понятны еще из классической механики.*

Впрочем, в классической механике иных сил инерции возникнуть просто не могло. Как их и не возникло даже в современной физике. Дополнительно следует отметить, что силы инерции первого рода вообще могут рассматриваться без понятия массы, как соответствующие ускорения при переходе из одной системы отсчета в другую.

Полевая физика заметно меняет картину, потому что теперь массы тел перестают быть постоянными. И для тел с переменной массой  $M$  уравнение движения приобретает вид:

$$\frac{dM\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.3.4)$$

а при переходе в другую систему отсчета, движущуюся со скоростью  $\mathbf{v}$ :

$$\frac{dM(\mathbf{u} + \mathbf{v})}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.3.5)$$

или

$$\frac{dM\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - \frac{dM\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{F} - M \frac{d\mathbf{v}}{dt} - \mathbf{v} \frac{dM}{dt} = \mathbf{F} + (\mathbf{F}_i)_I + (\mathbf{F}_i)_{II} \quad (4.3.6)$$

Это означает, что силы инерции определяются, вообще говоря, не изменениями скорости подвижной системы, а изменениями произведения  $M\mathbf{v}$ . И распадаются на две части. Силы инерции первого рода  $(\mathbf{F}_i)_I$ , связанные только с изменениями скорости и силы инерции второго рода  $(\mathbf{F}_i)_{II}$ , связанные с изменениями массы тела.

*Силы инерции второго рода  $(\mathbf{F}_i)_{II}$  возникают при движении тел в полях с переменной интенсивностью. Переход тела из области сильного поля в область слабого поля или наоборот приводит к изменению инертности (массы) тела, что, в свою очередь, сказывается на изменении скорости его*

*движения. Подобное изменение скорости тела можно описать в терминах новых сил инерции, аналогичных обычным силам инерции.*

Примечательно, что силы инерции второго рода возникают даже при отсутствии всякого движения системы отсчета! В написанных выше формулах мы можем положить  $\mathbf{v} = 0$ , то есть рассматривать покоящуюся систему поля. И тем не менее, в этой системе отсчета движение тела будет описываться уравнением:

$$\frac{dM\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.3.7)$$

или

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - \mathbf{u} \frac{dM}{dt} = \mathbf{F} + (\mathbf{F}_i)_\mathbf{u} \quad (4.3.8)$$

Получается, что даже если внешние силы отсутствуют или скомпенсированы, то есть  $\mathbf{F} = 0$ , в уравнении движения остается еще второе слагаемое. Оно приводит к изменению скорости движения тел без влияния каких-либо внешних сил! Это слагаемое и есть сила инерции второго рода.

Один из примеров действия силы инерции второго рода мы уже упоминали в предыдущей главе, когда обсуждали принцип инерции Галилея (соотношения 3.7.6–3.7.7). Мы говорили тогда о том, что даже при отсутствии внешних сил скорость тела может меняться. Эти изменения происходят за счет перемещения тела из области поля с одной интенсивностью в область поля с другой интенсивностью. При этом движении меняется инертная масса тела, что и приводит к появлению силы инерции второго рода. В полевой физике мы встретим еще очень много примеров сил инерции второго рода и сможем привыкнуть к их физическому смыслу.

Представления о силах инерции второго рода вполне могли бы возникнуть уже в рамках теории относительности. Ведь релятивистское уравнение движения, так же как и полевое уравнение движения, описывает изменение импульса тела – произведения массы на скорость. И это еще один пример, когда математический формализм сыграл злую шутку с пониманием природы физических явлений!

И дело здесь вот в чем. Использование формальной зависимости массы тела от его скорости приводит к тому, что изменение релятивистской массы оказывается возможным только синхронно с изменением скорости. И силы инерции, возникающие только за счет изменения массы при неизменной скорости тела, в этом подходе просто теряются! Чтобы вернуть их на место, следует от формальной зависимости массы от скорости перейти к формуле полевой массы.

Мы можем теперь записать развернутое выражение для сил инерции второго рода исходя из формулы полевой массы и зависимости  $W = W(\mathbf{R})$ :

$$\begin{aligned}
 (\mathbf{F}_i)_\Pi &= -\mathbf{u} \frac{dM}{dt} = \frac{\mathbf{u}}{c^2} \frac{dW(\mathbf{R})}{dt} = \\
 &= \frac{\mathbf{u}}{c^2} (\mathbf{u} \nabla W) = \frac{u^2}{c^2} \nabla W - \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\nabla W \times \mathbf{u})
 \end{aligned}
 \tag{4.3.9}$$

Именно это выражение и входит в релятивистский вариант полевого уравнения движения (4.2.18). Расширив классическое уравнение движения на случай дополнительной добавки к массе, обусловленной локальными полями, мы фактически пришли к появлению сил инерции второго рода. Сил, не известных современной физике, но формально описанных релятивистскими поправками, и в частности, формальной зависимостью массы от скорости.

Природа сил инерции второго рода предельно проста. Она состоит в том, что масса тела меняется при движении в поле с переменной интенсивностью. А изменение массы компенсируется изменением скорости тела. Если масса тела уменьшается, то тело начинает ускоряться. Если она увеличивается, то тело, наоборот, тормозит. Этот процесс подобен движению тележки, из которой выливается вода, или движению ракеты, выбрасывающей струи газа. Даже в классической физике хорошо известно, что в процессе подобного движения тела с переменной массой оно приобретает ускорение. А само движение называется реактивным.

Силы инерции второго рода открывают широкие возможности для реализации полевого аналога реактивного движения. Только такое движение будет осуществляться не за счет изменения массы объекта путем сжигания и выброса тонн топлива, а за счет манипуляций интенсивностью полевой среды и массой движущегося объекта. Интенсивные локальные поля могут на порядки изменять массы объектов, а значит, и существенно менять скорости их движения!

Другая интересная возможность заключена в структуре естественных космических гравитационных полей. И состоит она в том, что интенсивность этих полей изменяется по мере приближения или удаления от массивных звездных систем. В результате этого любой объект, приближаясь к звездной системе, будет испытывать действие силы торможения за счет увеличения его массы, а по мере удаления от системы — действие разгоняющей силы. Не исключено, что понимание и использование этих процессов станет ключом к космическому транспорту будущего. А современные разработки, использующие большие объемы



сжигаемого топлива, просто канут в вечность, как каменные орудия древних людей.

#### 4.4. Силы инерции и релятивистские поправки

Мы не просто так назвали новый класс сил, возникающих в связи с существованием переменной массы тел, силами инерции. Потому что их структура оказывается полностью идентичной обычным силам инерции! И мы можем в этом непосредственно убедиться. Более того, с помощью сил инерции второго рода можно также придать нашему полемому уравнению движения совершенно неожиданный вид.

Пусть для определенности локальное поле является электрическим. Оно описывает взаимодействие исследуемой частицы, имеющей заряд  $q$ , с неподвижной частицей-источником, имеющей заряд  $Q$ . Скорость движения исследуемой частицы относительно неподвижной равна  $\mathbf{u}$ , а ее полная масса по-прежнему складывается из двух частей  $M = m + \mu$ . Вектор, проведенный от частицы-источника к исследуемой частице, мы обозначим буквой  $\mathbf{R}$ , а его модуль равен расстоянию между частицами. Функция полевой связи  $W = qQ/R$ , а  $\mu = -W/c^2 = -qQ/Rc^2$ . Также полученное ранее уравнение движения исследуемой частицы (4.2.18) имеет вид:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = (m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\nabla W \cdot \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) - \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\nabla W \times \mathbf{u}) \quad (4.4.1)$$

Подобно подходу первой главы мы можем представить себе движение одной взаимодействующей частицы относительно второй в виде некоего вращения. Угловая скорость  $\boldsymbol{\omega}$  такого вращения будет равна:

$$\boldsymbol{\omega} = \frac{\mathbf{u} \times \mathbf{R}}{R^2} \quad (4.4.2)$$

В этих обозначениях первое слагаемое в правой части (4.4.1) представляет собой обычную статическую силу  $\mathbf{F}_0$ :

$$\mathbf{F}_0 = -\nabla W \quad (4.4.3)$$

Второе слагаемое, выступающее поправкой к статической силе, есть не что иное, как центробежная сила:

$$\frac{u^2}{c^2} \nabla W = -\frac{qQR}{R^3} \frac{u^2}{c^2} = -\frac{qQ}{Rc^2} \frac{u^2}{R^2} \mathbf{R} = \mu \boldsymbol{\omega}^2 \mathbf{R} = \mathbf{F}_c \quad (4.4.4)$$

Третье слагаемое похоже на силу Кориолиса:

$$\begin{aligned}
 -\frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\nabla W \times \mathbf{u}) &= \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times \left( \frac{qQ\mathbf{R}}{R^3} \times \mathbf{u} \right) = \\
 &= -\frac{qQ}{Rc^2} \mathbf{u} \times \left( \frac{\mathbf{u} \times \mathbf{R}}{R^2} \right) = \mu \mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} = \frac{1}{2} \mathbf{F}_k
 \end{aligned}
 \tag{4.4.5}$$

Только оно оказывается равным всего лишь половине силы Кориолиса. Значит, мы где-то «потеряли» ее вторую половину. И для этого нам следует теперь обратить внимание на левую часть уравнения движения (4.4.1), а именно на ее второе слагаемое  $\mu d\mathbf{u}/dt$ .

Оперируя вращением одной частицы относительно другой, мы можем теперь представить полную скорость движения исследуемой частицы  $\mathbf{u}$  в виде суммы скорости поступательного движения  $\mathbf{u}_0$  и скорости вращения  $\boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}$ , то есть  $\mathbf{u} = \mathbf{u}_0 + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}$ . Следовательно, второе слагаемое в левой части уравнения движения можно записать в виде:

$$\mu \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mu \frac{d}{dt} (\mathbf{u}_0 + \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{R}) = \mu \frac{d\mathbf{u}_0}{dt} + \mu \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} \times \mathbf{R} + \mu \boldsymbol{\omega} \times \mathbf{u} = -\mathbf{F}_r - \frac{1}{2} \mathbf{F}_k
 \tag{4.4.6}$$

Последнее слагаемое в этой формуле как раз и есть вторая половина силы Кориолиса! А первые два представляют собой обычные силы инерции  $\mathbf{F}_r$ , связанные с изменением поступательной и вращательной скоростей движения.

И этот результат оказывается очень интересным по следующим причинам. Исходное уравнение движения:

$$\frac{dM\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F}
 \tag{4.4.7}$$

мы можем представить несколькими альтернативными способами.

Первым способом является полученное нами ранее полевое уравнение движения (4.2.18) с учетом полевой добавки к массе:

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = (m + \mu) \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\nabla W \cdot \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right) - \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\nabla W \times \mathbf{u})
 \tag{4.4.8}$$

Вторым — эквивалентное ему релятивистское уравнение движения (4.2.19) с массой, зависящей от скорости:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \mathbf{u} \right) = \mathbf{F} \quad (4.4.9)$$

А третьим способом является обычное классическое уравнение движения, записанное с учетом полевых сил инерции второго рода, структура которых полностью аналогична структуре обычных сил инерции:

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - \frac{d\mu\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} - \mu \frac{d\mathbf{u}_0}{dt} - \mu \frac{d\boldsymbol{\omega}}{dt} \times \mathbf{R} + \\ + 2\mu\mathbf{u} \times \boldsymbol{\omega} + \mu\boldsymbol{\omega}^2 \mathbf{R} = \mathbf{F} + (\mathbf{F}_i)_{II} \quad (4.4.10)$$

Удивительно! Мы могли бы вообще забыть полевую физику и теорию относительности. И прийти к правильному описанию тех же самых закономерностей просто путем добавления к обычному классическому уравнению движения известного набора сил инерции! Что мы и попытались сделать в первой главе. Правда, это не совсем обычные силы инерции.

Если посмотреть на ситуацию с чисто механистической точки зрения, то никаких оснований для возникновения сил инерции просто нет! Мы исследуем движение частицы в инерциальной системе отсчета, в которой источник поля покоится, и должна присутствовать только электростатическая сила. И причин для возникновения каких-либо иных сил в философии классической механики просто нет. Теория относительности дает формальное решение и согласует классическую механику с экспериментом просто путем замены постоянной массы на переменную, зависящую от скорости. Полевая физика указывает на физическую причину возникновения переменной массы — появление добавки к массе, связанной с наличием локального электрического поля.

И тем не менее мы можем решить эту же задачу еще и третьим способом. Для этого нам надо придать системе отсчета, связанной с источником поля, статус неинерциальной, считая, что наша исследуемая частица движется в ней с наличием обычных сил инерции. А неинерциальной эта система отсчета является по той простой причине, что она вращается с угловой скоростью  $\boldsymbol{\omega}$  и движется поступательно со скоростью  $\mathbf{u}_0$  относительно нашей исследуемой частицы!

Круг замкнулся! Релятивистское движение можно описать чисто классическим способом, если использовать схему самонеинерциальной системы отсчета. Таким способом любая система отсчета может быть описана как неинерциальная благодаря использованию двойного перехода

в любую иную произвольно движущуюся систему отсчета, а потом — обратно. Хотя следует заметить, что это все же искусственный прием. И срабатывает он только потому, что структура сил инерции второго рода оказывается полностью аналогичной системе обычных сил инерции. И поэтому никакого неинерциального движения в описанном случае, вообще говоря, нет. А тот же самый эффект создается за счет сил инерции второго рода, связанных не с реальным движением, а с переменным характером массы частицы! И определяются эти силы инерции не полной массой частицы  $m$ , а только полевой добавкой к массе  $\mu$ .

Математически это сразу же следует из симметричного положения массы и скорости в выражении производной  $dMu/dt$ . Все дополнительные слагаемые, связанные с переменной массой, то есть силы инерции второго рода, имеют такую же структуру, что и слагаемые, связанные с переменной скоростью. Вот почему эффект наличия обычных сил инерции в условиях неинерциального движения аналогичен эффекту действия сил инерции второго рода в условиях покоящейся системы отсчета и покоящегося источника поля!

Мы уже практически доказали большинство утверждений первой главы. А именно то обстоятельство, что релятивистские поправки, описывающие движение частиц в современной физике, можно заменить альтернативным использованием полевых сил инерции. Причем эти силы инерции далеко не всегда связаны с наличием реального неинерциального движения. Они могут быть силами инерции второго рода, связанными просто с изменениями добавок к массам тел. Поэтому теперь уже отпадает необходимость изобретать искусственное неинерциальное движение и вращение, подобно тому, как мы делали это в первой главе. А также теперь все прежние вычисления становятся намного проще.

Но в первой главе у нас не было полевого уравнения движения, как и понимания ряда других принципиальных моментов. Как и теперь у нас есть еще не все нужные элементы, чтобы окончательно решить задачу относительного движения. Ведь все то, что мы проделали, справедливо пока только для покоящихся источников. И тем не менее, суть дальнейшего развития логики становится уже вполне понятной.

Ведь если источник электрического поля не покоится, а движется с некой скоростью  $\mathbf{v}$ , то мы можем свести этот случай к уже рассмотренному. И представить его как движение исследуемой частицы относительно частицы-источника со скоростью  $\mathbf{U} = \mathbf{u} - \mathbf{v}$ . Тогда подобное движение также будет описываться появлением сил инерции, только связанных с относительной скоростью движения частиц  $\mathbf{U}$ . А все силы инерции распадутся на три части. Во-первых, силы, связанные со скоростью движения исследуемой частицы. Они находят свое выражение в зависимости

массы от скорости. Это полностью аналогично тому, что мы только что рассматривали.

Во-вторых, это силы, связанные со скоростью движения источника, и в-третьих – перекрестные слагаемые, включающие в себя сразу обе скорости. Они создают магнитные и вихревые электрические поля, как и соответствующие релятивистские поправки к электростатической силе. И рассмотрению именно этих компонент сил инерции мы посвятили много времени в первой главе. В результате оказывается, что известное выражение силы Лоренца, описывающее взаимодействие движущихся зарядов с учетом релятивистских поправок, можно заменить на полесвое уравнение движения с использованием обычных преобразований Галилея! Или же просто описать все компоненты силы Лоренца набором сил инерции!

В этом и состоит суть решения проблемы относительного движения. Или по-другому ее можно сформулировать как задачу взаимодействия зарядов, движущихся произвольным образом. Однако для окончательного решения этой задачи нужно разобраться еще с некоторыми деталями, которые мы перенесем в конец этой главы. А сейчас «для разгрузки» уделим внимание нескольким более простым вопросам, которые напрямую следуют из релятивистского варианта полесового уравнения движения.

#### ***4.5. В чем состоит причина предельной скорости движения частиц?***

Релятивистская зависимость массы от скорости, как и другие аспекты применения релятивистского множителя  $\sqrt{1 - u^2/c^2}$ , приводят к возникновению предельной скорости движения частиц. Для скоростей  $u > c$  подкоренное выражение становится отрицательным, а сам релятивистский множитель – мнимым. И это – математическое следствие релятивистской механики.

Полевая физика позволяет нам понять физический механизм этого обстоятельства. В терминах полевого уравнения движения разгон частицы под действием некой силы  $\mathbf{F}$ , сонаправленной с ее скоростью, выглядит так (соотношение 4.2.6):

$$M \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \cdot \left( 1 - \frac{u^2}{c^2} \right) \quad (4.5.1)$$

Как мы уже говорили, имеет место некая сила инерции, которая возрастает по мере разгона частицы. А природа возникновения этой силы инерции состоит в следующем. Чем быстрее движется частица, тем быстрее она проходит одни и те же расстояния в полевой среде, тем больше становится темп изменения ее массы по мере приближения к источникам поля или удаления от них. А величина изменения массы частицы, в свою очередь, влияет на дальнейший рост ее скорости в виде ослабляющего коэффициента. Этот механизм приводит к тому, что в отличие от классического случая скорость частицы, движущейся в полевой среде, уже не может возрастать неограниченно.

Пределом скорости движения частицы служит скорость распространения возмущений в полевой среде  $c$ . Причем скорость движения частицы не может быть больше  $c$  не по отношению к какой-либо произвольной системе отсчета, а по отношению к источнику поля. Ведь именно в системе поля записано наше полевое уравнение движения и именно на относительную скорость движения частицы регистрации по отношению к частице-источнику налагается ограничение.

*Скорость движения частиц в полевой среде по отношению к источнику поля не может превышать скорость распространения возмущений в этой среде  $c$ . Это ограничение справедливо не для абсолютных скоростей в некоей системе отсчета, а для относительной скорости движения взаимодействующих частиц.*

На качественном уровне это обстоятельство выглядит следующим образом. В нашей модели частицы взаимодействуют друг с другом посредством распространения возмущений в полевой среде. Но эти возмущения распространяются с конечной скоростью  $c$ . А значит, чем быстрее движется частица, тем меньшее влияние полевая среда может на нее оказывать. И ослабляющий коэффициент этого влияния как раз и представлен множителем  $1 - v^2/c^2$  в правой части уравнения движения.

Мы можем проиллюстрировать суть этого явления на простом механическом примере. Например, человек разгоняет тележку, катящуюся по ровной поверхности без трения. Он слегка подталкивает ее сзади без резких толчков, двигаясь вслед за ней. Пока тележка катится медленно, человеку легко сообщать ей дополнительную скорость. Но по мере разгона тележки ему приходится уже бежать за ней, чтобы подтолкнуть ее еще немного. В конце концов, когда тележка разгонится до максимальной скорости движения человека, он сможет только бежать следом, не имея возможности сообщить тележке дополнительную скорость. На простом житейском языке это соответствует поговорке о том, что телега не может бежать впереди лошади!

Подобным образом эффективность влияния полевой среды на частицу падает по мере роста скорости последней. При  $u = c$  полевая среда вообще перестает разгонять частицу, и ослабляющий коэффициент становится равным нулю. Другими словами, сила инерции сравнивается с основной силой и полностью нейтрализует ее.

Подобный эффект является прямым следствием существования полевой среды. Обычные возмущения в этой среде не могут разогнать частицы выше скорости реакции самой среды. Хотя это и не исключает возможность существования каких-то более изощренных вариантов разгона тел, позволяющих превысить величину  $c$ . И это — крайне интересная тема для дальнейших исследований, хотя и очень непростая. Потому что она требует сделать еще один шаг вглубь понимания физики и осознать природу самой полевой среды.

#### ***4.6. Энергия в полевой физике***

Понятие энергии используется в современной физике очень широко. Причем существует много различных видов энергии, а также интерпретаций этого понятия. Нередко понятию энергии придается мистический смысл, например, когда рассматриваются представления о рождении материи из энергии, или о возникновении из энергии всей нашей Вселенной путем Большого взрыва, или же мистической энергией наделяется масса, поля или физический вакуум, а также виртуальные «частицы» — «переносчики» взаимодействий.

Мы уже неоднократно отмечали, что в современной физике существует большая путаница с понятиями. И нам предстоит очень аккуратно использовать известные термины, чтобы способствовать наведению логического порядка. Хотя там, где это пока не принципиально, мы продолжим использовать широкоупотребительные слова и обороты. Такие, например, как термин «источники поля», хотя мы уже говорили о том, что частицы, вообще говоря, не создают поля, а полевая среда существует независимо от них и может образовывать с частицами связанные состояния. Другим примером служит понятие «заряженные частицы», в то время как согласно развитым представлениям заряды не являются внутренними свойствами самих частиц, а связаны с наличием полевой среды.

В отношении понятия «энергия» мы активно использовали термин «потенциальная энергия», или просто потенциал применительно к величине  $W$ . Эта величина в полевой физике является, вообще говоря, функцией полевой связи взаимодействующих частиц. Мы продолжаем пока

употреблять более привычный термин потенциальной энергии, потому что в данном случае это не создает серьезной путаницы.

И тем не менее, следует более детально определиться с производными механическими понятиями, такими как энергия, импульс и момент импульса. Что мы и готовы сейчас сделать. Как известно, логика появления этих величин в классической механике состоит в возможности проинтегрировать уравнение движения в общем виде и использовать в дальнейшем набор законов сохранения.

Один из интегралов полевого уравнения движения получить достаточно просто. Умножим уравнение движения:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = \nabla W \quad (4.6.1)$$

на скорость  $\mathbf{u}$ :

$$\frac{\mathbf{u}}{c^2} \frac{dW\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{u} \nabla W = \frac{dW}{dt} \quad (4.6.2)$$

и проинтегрируем получившееся выражение. Подобное уравнение мы уже интегрировали чуть выше (выражение 4.2.15) и видели, что его достаточно легко записать в виде полного дифференциала:

$$\frac{d}{dt} \left( W \cdot \sqrt{1 - u^2/c^2} \right) = 0 \quad (4.6.3)$$

А следовательно, в процессе движения частицы в полевой среде остается неизменной величина, стоящая в скобках, которую мы и назовем энергией.

***Энергия является физической величиной, характеризующей движение частиц в полевой среде. Она остается неизменной в процессе движения и определяется выражением:***

$$E = W \sqrt{1 - u^2/c^2} = \text{const} \quad (4.6.4)$$

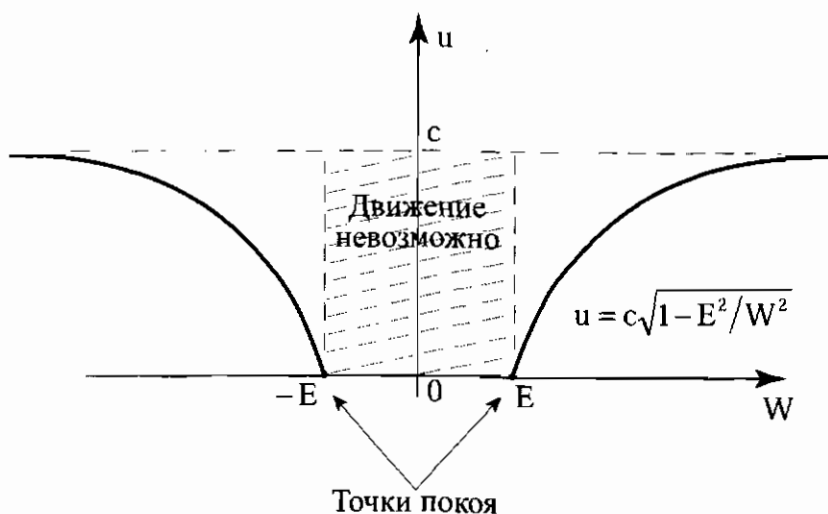
На первый взгляд наше новое выражение для энергии выглядит достаточно непривычно. И обнаруживает ряд интересных свойств. Например, полная энергия движения всегда пропорциональна функции связи частиц  $W$ . И вообще говоря, ее нельзя разделить на энергию движения (кинетическую энергию), связанную только со скоростью частицы, и потенциальную энергию. Как мы понимаем, это обстоятельство связано с тем, что полевая масса частицы — ядро энергии движения — также зависит от величины  $W$ .



При отсутствии всех взаимодействий  $W = 0$  полная энергия частицы тождественно равна нулю  $E = 0$ . И она никак не связана со скоростью частицы! Это является подтверждением тех выводов, которые мы сделали о свободной частице в прошлой главе. В полевой физике изолированная частица лишена смысла, как и ее местоположение, скорость или энергия.

Далее новая формула для энергии еще раз подчеркивает то обстоятельство, что в полевой среде скорость относительного движения частиц не может превысить скорость распространения возмущений  $c$ . Причем точка покоя  $u = 0$  соответствует минимальному по абсолютной величине значению потенциала  $W$ . Рост скорости частицы приводит к уменьшению радикала и требует роста абсолютной величины потенциала. В области бесконечных значений функции  $W$  частица может разогнаться до предельной скорости  $c$ . При этом в области малых значений функции  $W$  (по абсолютной величине), меньших модуля константы энергии, движение вообще не может происходить (рисунок 4.6.1).

Полученная формула энергии в полевой физике является компактным описанием целой серии пока незнакомых или малопонятных эффектов. Со временем мы привыкнем к этому выражению и будем четко пред-



**Рисунок 4.6.1.** Формула энергии в полевой механике отражает многие свойства движения частиц в полевой среде.

ставлять себе его свойства и физический смысл. А пока нам опять следует начать с самого простого и посмотреть, какой вид принимает формула энергии в известных случаях.

Начнем с классического приближения. И вспомним, что в изучаемых нами явлениях функция полевой связи  $W$  имеет как минимум две составляющие. Одна из них  $W_g$  связана с Глобальным взаимодействием, а другая  $W_l$  – с локальными полями. Другими словами,  $W = W_g + W_l$ , а выражение для энергии движущейся частицы принимает вид:

$$E = (W_g + W_l)\sqrt{1 - u^2/c^2} = \text{const} \quad (4.6.5)$$

Суть классического приближения состоит в том, что величина глобального взаимодействия много больше величины всех локальных полей, и оно в окрестностях Земли является примерно постоянным  $W_g = \text{const}$  (выражения 3.6.6–3.6.7). А также скорости движения тел малы, что позволяет нам разложить радикал по приближенной формуле  $\sqrt{1 - u^2/c^2} \approx 1 - u^2/2c^2$ :

$$E \approx (W_g + W_l)\left(1 - \frac{1}{2} \frac{u^2}{c^2}\right) = W_g + W_l - \frac{1}{2} \frac{W_g + W_l}{c^2} u^2 \quad (4.6.6)$$

Теперь мы можем ввести классическую массу  $m$ :

$$m = -\frac{W_g}{c^2} \approx -\frac{W_g + W_l}{c^2} \quad (4.6.7)$$

а также некую эффективную энергию  $E'$ , учитывая что  $W_g = \text{const}$  и просто сдвигает уровень энергий на постоянную величину:

$$E' = E - W_g = \text{const} \quad (4.6.8)$$

В результате классическое выражение для энергии приобретает известный вид:

$$E' = \frac{1}{2} mu^2 + W_l = \text{const} \quad (4.6.9)$$

Разделение энергии на потенциальную и кинетическую стало возможным благодаря тому, что в классическом приближении массы тел обусловлены глобальным взаимодействием, а силы – локальными полями. Это выражение также показывает, что введенная нами функция поле-

вой связи  $W_1$  действительно совпадает с классическим понятием потенциальной энергии!

Нечто подобное мы можем проделать и для релятивистского случая. Суть этого приближения похожа, только теперь скорости частиц могут быть большими и приближенное разложение радикала использовать уже нельзя. Это требует от нас ввести некую вспомогательную величину, которая в релятивистской физике носит название «массы покоя»  $M_0$ . Так, при  $u = 0$ :

$$E|_{u=0} = (W_g + W_1)|_{u=0} = (-Mc^2)|_{u=0} = -M_0c^2 = \text{const} \quad (4.6.10)$$

или

$$M_0 = -\frac{1}{c^2} (W_g + W_1)|_{u=0} = m - \frac{1}{c^2} W_1|_{u=0} \quad (4.6.11)$$

Во многих случаях подобная масса покоя с хорошей точностью соответствует использованной выше классической массе  $m$ , учитывая что  $W_g \gg W_1$ , а значит, и та и другая массы определяются в основном глобальным взаимодействием. Хотя так бывает не всегда, и как мы увидим чуть ниже, это обстоятельство имеет очень большое значение.

Суть состоит в том, что классическая масса частицы, определяемая величиной  $W_g$ , в данной области космоса всегда имеет одно и то же значение. Она не зависит ни от характера движения частицы, ни от конкретного типа локального поля. Масса покоя частицы, наоборот, хотя и остается постоянной в процессе одного отдельно взятого движения, но зависит от величины локального поля  $W_1$  в точке покоя частицы  $u = 0$ , соответствующей именно этому движению. А значит, одна и та же частица в зависимости от начальных условий может иметь совершенно разную массу покоя, подобно тому, как она может иметь совершенно разную полную энергию в процессе различных движений!

Таким образом, в отличие от классической массы масса покоя характеризует не саму частицу, а только начальные условия движения, в котором частица участвует в данный момент. А значит использование массы покоя, как однозначного идентификатора частицы, не проходит даже в обычных земных условиях! Несколькими разделами ниже мы подробнее поговорим о том, как эта причина приводит к иллюзии возникновения целых серий элементарных «частиц», очень схожих по свойствам и различающихся в основном только массами покоя.

Но вернемся к релятивистскому выражению для энергии. В результате введения массы покоя оно приобретает вид:

$$E = (W_g + W_l)\sqrt{1 - u^2/c^2} = -M_0c^2 = \text{const} \quad (4.6.12)$$

или

$$\frac{M_0c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} + W_l = -W_g = \text{const} \quad (4.6.13)$$

Релятивистский закон сохранения энергии можно оставить и в таком виде. А можно еще слегка преобразовать, выделив кинетическую энергию путем прибавления к обеим частям уравнения величины  $E = -M_0c^2$  и вводя эффективную энергию  $E'$ :

$$E' = E - W_g = \frac{M_0c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} - M_0c^2 + W_l = \text{const} \quad (4.6.14)$$

Релятивистский случай также допускает разделение энергии на кинетическую и потенциальную. Только в отличие от классического случая кинетическая энергия равна:

$$E_k = \frac{M_0c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} - M_0c^2 = M(u)c^2 - M_0c^2 \quad (4.6.15)$$

и при малых скоростях переходит в формулу  $E_k = M_0u^2/2$ .

Проведенные выше преобразования интересны и еще по одной причине. Они показывают, каким образом в полевой физике возникает известное релятивистское соотношение  $E = Mc^2$ . В силу стечения обстоятельств формула для кинетической энергии в релятивистском приближении оказывается очень похожей на формулу полевой массы! Чуть позже мы поговорим о философской подоплеке этого выражения.

И на этом мы пока ограничим рассмотрение понятия энергии в полевой физике. Энергия – это характеристика движения материальных объектов, которая остается неизменной в процессе их движения и выражается полученной выше формулой. В наиболее простых случаях – классическом и релятивистском – полная энергия распадается на две составляющие. Одна из них совпадает с величиной функции полевой связи в локальных полях и носит название потенциальной энергии. Вторая определяется скоростью движения объектов и называется кинетической энергией. И никакой мистической нагрузки понятие энергии в полевой физике в себе не несет.

#### 4.7. Иллюзия лоренцева сокращения

Примечательно, что написанная нами формула для энергии движущегося тела уже содержит в себе зачатки релятивистских преобразований. Если мы используем характерный вид функции полевой связи  $W = k/R$ , где  $R$  – расстояние между частицами,  $k = \text{const}$ , то закон сохранения энергии в полевой физике примет вид:

$$W\sqrt{1-u^2/c^2} = \frac{k}{R}\sqrt{1-u^2/c^2} = \text{const} \quad (4.7.1)$$

Этому соотношению можно придать следующую интерпретацию. Пусть расстояние между покоящимися частицами равно  $R_0$ . Тогда в состоянии движения со скоростью  $u$  расстояние между частицами оказывается равным:

$$R(u) = R_0\sqrt{1-u^2/c^2} \quad (4.7.2)$$

Физический смысл этого выражения предельно ясен. При фиксированном запасе энергии движения скорость частицы возрастает по мере приближения к другой частице и уменьшается по мере удаления от нее. Величина  $R_0$  соответствует максимальному удалению, когда скорость движения частицы становится нулевой.

Однако к этому же самому соотношению можно подойти с формальной точки зрения. И рассматривать  $R_0$  как расстояние между частицами в покоящейся системе отсчета. Как некое «расстояние покоя». Тогда аналогичное расстояние в системе отсчета, связанной с движущейся со скоростью  $u$  частицей, будет определяться написанной выше формулой. Формально связать эти две системы отсчета можно путем утверждения, что в движущейся системе следует считать расстояния «сокращенными».

Мы даже получим правильные результаты, если будем пользоваться таким формальным «сокращением». Потому что оно следует из полевого уравнения движения и с точки зрения расчетов является вполне приемлемым. Именно по такому пути и пошел в свое время Лоренц, обнаружив, что подобная подстановка позволяет согласовать результаты электродинамики и классической механики. Этот подход и был впоследствии положен в основу специальной теории относительности.

Полевая физика также делает очевидной связь между лоренцевым «сокращением» расстояния и зависимостью массы от скорости. Ведь масса пропорциональна потенциалу, который, в свою очередь, обратно пропорционален расстоянию:

$$M = -\frac{W}{c^2} = -\frac{k}{Rc^2} = -\frac{k}{R_0c^2} \frac{1}{\sqrt{1-u^2/c^2}} = \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (4.7.3)$$

Подобным образом релятивистский множитель неоднократно возникает в полевой физике. Если мы вспомним, что физический смысл массы – характерное время протекания процесса, то из выражения (1.4.7)  $M \sim \tau$  мы получим известный вид формулы для замедления времени:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (4.7.4)$$

Нечто похожее мы уже отмечали в предыдущей главе для гравитационного красного смещения (выражение 3.13.7). Если принять во внимание выражение (4.2.12), то становится понятно, что поправка, связанная с потенциалом локального поля, идентична использованию релятивистского радикала в знаменателе.

Наиболее важным выводом всех этих манипуляций является то, что они не требуют искажения геометрии или времени. Все релятивистские поправки есть не что иное, как формальный способ учесть влияние реальных физических причин, природа которых не была понятна на рубеже XIX–XX веков и остается таковой в современной физике. Вот почему полевая физика расставляет все на свои места, позволяя пролить свет на реальную природу вещей.

#### 4.8. Связь энергии и импульса

Выражение для импульса объекта  $\mathbf{P}$  в полевой физике сразу же следует из полевого уравнения движения:

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = \frac{d}{dt} \left( -\frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = -\nabla W = \mathbf{F} \quad (4.8.1)$$

Как и энергия, импульс материального объекта в полевой физике является характеристикой его движения. И физический смысл этой характеристики состоит в том, что действие на тело сил приводит к изменению его импульса. Если же на тело вообще не действуют силы, или действие всех сил скомпенсировано, то импульс тела сохраняется.

*Импульс является физической величиной, характеризующей движение частиц в полевой среде. Его изменения связаны с действием на тело сил, а величина определяется выражением*

$$\mathbf{P} = -\frac{W\mathbf{u}}{c^2} \quad (4.8.2)$$

Однако теперь закон сохранения импульса становится несколько искусственным. В полевой физике внешние поля оказались тесно связаны с массами тел, и если вообще нет внешних полей, то нет и масс! Поэтому об отсутствии внешних сил можно говорить только очень условно.

Один такой пример мы уже рассмотрели в предыдущей главе. Внешние силы, связанные с глобальным взаимодействием, не учитываются из-за того, что Земля и Солнечная система движутся под их влиянием как единое целое. Другими примерами могут служить случаи, когда внешние силы скомпенсированы и равна нулю их равнодействующая, в то время как все поля, приводящие к действию этих сил, вносят свой вклад в массы тел. Но так или иначе, в полевой физике закон сохранения импульса становится уже не столь актуальным, как ранее.

В классическом приближении мы легко получаем знакомое выражение для импульса:

$$\mathbf{P} = -\frac{(W_g + W_l)}{c^2} \mathbf{u} = m\mathbf{u} \quad (4.8.3)$$

А в релятивистском случае значение импульса равно:

$$\mathbf{P} = -(W_g + W_l) \frac{\mathbf{u}}{c^2} = \frac{M_0 c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \frac{\mathbf{u}}{c^2} = \frac{M_0 \mathbf{u}}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} = M(u)\mathbf{u} \quad (4.8.4)$$

Мы можем также получить связь энергии и импульса в полевой физике, если исключим из выражений (4.6.4) и (4.8.2) скорость:

$$E^2 = W^2 \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) = W^2 \left(1 - \frac{P^2 c^2}{W^2}\right) = W^2 - P^2 c^2 \quad (4.8.5)$$

или

$$E^2 + P^2 c^2 = W^2 \quad (4.8.6)$$

Это выражение является аналогом релятивистской связи:

$$E^2 = P^2 c^2 + M_0^2 c^4 \quad (4.8.7)$$

На примере сравнения этих двух выражений хорошо видна разница полевого и релятивистского подходов к понятию энергии. В полевой физике полная энергия тела является константой, характеризующей его движение. Ее можно численно выразить через массу тела в точке покоя  $E = -M_0 c^2 = \text{const}$ , как мы делали раньше. Поэтому данная величина в полевом уравнении связи фактически соответствует слагаемому  $M_0^2 c^4$  в релятивистском уравнении.

В теории относительности, напротив, использование величины  $E = M(u)c^2$  приводит к подмене двух понятий энергии. Кинетическая энергия движения начинает интерпретироваться как полная энергия, которая растет с ростом скорости движения тела. При этом потенциальная энергия, которая компенсирует изменение кинетической энергии и делает полную энергию неизменной, вообще выпадает из поля зрения! Так возникают основания для рождения мистической взаимосвязи материи, массы и энергии.

Логическая подмена понятий привела к тому, что полная энергия движущегося тела из характеризующей движение константы превратилась в мерило некой сущности, вложенной в данное тело. Своеобразной мистической силы, выражающей способность влиять и производить действия, вызывать новые реакции и рожать новые частицы. Каких только интерпретаций понятия энергии нет в современной науке и вообще в нашем мировоззрении благодаря логической подмене понятий, произошедшей в релятивистской механике!

#### ***4.9. Что такое масса покоя или как возникают «тяжелые» частицы?***

Мы вплотную подошли к тому, чтобы расставить все точки над *i* в вопросах массы и энергии. И прежде всего нам приходится констатировать факт, что теория относительности во многом сохранила классические представления о массе. Согласно этому подходу масса является внутренним «врожденным» свойством тел, своеобразной мерой количества материи, содержащейся в них. Различие с классической физикой состоит лишь в том, что в теории относительности возникает рост массы со скоростью, который интерпретируется как своеобразная «трансформация» энергии движения в материю, что и приводит к росту количества материи – массы.



В этом свете и сама масса покоя  $M_0$  приобретает интерпретацию носителя некой внутренней энергии тела – энергии массы. Учитывая немалую величину выражения  $M_0 c^2$  для обычных классических объектов, этот взгляд приводит к представлениям о колоссальной энергии, содержащейся в материи. Энергии, которая вроде как может высвободиться при определенных условиях. А также эти взгляды позволяют думать, что вся материя произошла из энергии.

Посмотрим теперь на эти вопросы с точки зрения полевой физики. Ведь мы смогли понять структуру релятивистской массы покоя, используемой в теории относительности, и проследить, как возникает эта величина! Во многом масса покоя  $M_0$  похожа на классическую массу  $m$  и определяется выражением:

$$M_0 = -\frac{1}{c^2} (W_g + W_l)|_{u=0} = m - \frac{1}{c^2} W_l|_{u=0} \quad (4.9.1)$$

В большинстве случаев интенсивность локальных полей мала по сравнению с интенсивностью глобального поля, и релятивистская масса покоя совпадает с величиной классической массы:

$$M_0 = m - \frac{1}{c^2} W_l|_{u=0} \approx m = -\frac{W_g}{c^2} \quad (4.9.2)$$

*Природа возникновения колоссальной энергии массы является в полевой физике совершенно прозрачной. Она есть не что иное, как потенциальная энергия взаимодействия каждого тела с совокупным гравитационным полем Вселенной! Энергия массы, как и сама масса, не связана с материальным объектом и заключенными в нем свойствами, а обусловлена глобальным взаимодействием. Она никак не проявляется в обычных земных условиях, потому что Земля вместе со всеми телами на ее поверхности движется под влиянием глобального взаимодействия как единое целое. Выделение колоссальной энергии массы, приписанной тому или иному телу, было бы возможно лишь в случае падения этого тела на центр Галактики!*

Вообще говоря, это обстоятельство было очевидно уже на этапе получения формул для энергии. Как для классического случая (выражения 4.6.8–4.6.9), так и для релятивистского случая (выражение 4.6.14) мы получили одинаковую картину. Некая эффективная величина энергии  $E'$ , равная разности изначальной константы энергии  $E$  и величины потенциала глобального поля  $W_g$ , равна сумме кинетической энергии движения и локальной потенциальной энергии  $W_l$ :

$$E' = E - W_g = E_k + W_l = \text{const} \quad (4.9.3)$$

Или другими словами, величина полной энергии  $E$  равна сумме трех энергий: – кинетической энергии движения  $E_k$ , потенциальной энергии взаимодействия с локальным полем  $W_l$  и потенциальной энергии взаимодействия с глобальным полем  $W_g$ !

$$E = E_k + W_l + W_g = \text{const} \quad (4.9.4)$$

Однако последнее слагаемое в этой формуле является постоянным, как и сама энергия  $E$ , поэтому в классической механике оно вообще не возникает и представляет интерес только постоянная сумма первых двух слагаемых. В релятивистской механике потенциальная энергия взаимодействия с глобальным полем появляется в виде большого постоянного члена – энергии покоя, который и получил интерпретацию энергии массы.

В этом смысле релятивистское приближение во многом аналогично классическому поведению, рассмотренному нами в предыдущей главе. Помимо понимания динамической природы массы и роли глобального взаимодействия релятивистское поведение не требует более никаких дополнительных понятий или приемов. А развитые теорией относительности мистические представления об энергии массы и трансформации материи и энергии в полевой физике полностью теряют свой смысл.

Зато полевая физика позволяет по-иному посмотреть на результаты всех экспериментов с быстрыми частицами. Прежде всего потому, что в подобных экспериментах всегда обнаруживается переменный характер масс частиц. И это полностью соответствует нашей концепции динамической массы. Хотя подобное изменение масс быстрых частиц и связывается сегодня с зависимостью от скорости их движения, эта зависимость численно совпадает с формулами полевой физики, как мы уже видели ранее.

Помимо этого на основании измерений в таких экспериментах вычисляются массы покоя исследуемых частиц, например массы покоя электрона или протона. И проводятся эти вычисления в согласии с современными представлениями на основании релятивистской формулы массы. А все посчитанные по этим формулам массы покоя элементарных частиц известны сегодня как фундаментальные физические константы.

Теперь же мы можем понять, что за величины на самом деле вычисляются по итогам всех подобных экспериментов. Потому что релятивист-

ская масса покоя, используемая во всех формулах специальной теории относительности, полностью совпадает с написанным выше выражением (4.9.1). Только оно является более наглядным и говорит нам, что масса покоя любой частицы, вообще говоря, складывается из двух частей. Классической массы  $m$ , постоянной в обычных земных условиях и одинаковой для всех типов экспериментов и всех условий. И дополнительной массы  $\mu$ , которая определяется величиной локального поля в точке покоя частицы:

$$M_0 = -\frac{1}{c^2} (W_g + W_l)|_{u=0} = m - \frac{1}{c^2} W_l|_{u=0} = m + \mu \quad (4.9.5)$$

Вторая компонента массы покоя также является константой. Важно понимать, что это не есть переменная полевая добавка к массе, а лишь ее значение в одной из точек траектории. Условно говоря, в точке покоя частицы, которая может совпадать с точкой начала движения связанной в атоме или ядре частицы, или с точкой максимального сближения частиц при их столкновении.

*Зависимость массы покоя частицы от интенсивности локального поля в одной из точек ее траектории (в точке покоя) является крайне важной. Это обстоятельство означает, что одна и та же частица в разных физических условиях и в разных экспериментах будет обладать как бы разной массой покоя! Такое различие обусловлено тем, что в одних условиях частица находится в слабом локальном поле, а в других – в сильном. И чем сильнее локальные поля, в которых исследуется движение частицы, тем к более высокой массе покоя будет приводить релятивистский расчет!*

Возьмем для определенности обычный электрон. При отсутствии локальных внешних полей его масса покоя  $M_0$  определяется только глобальным взаимодействием и равна классической массе  $m$ . Если же теперь мы измеряем движение электрона в некоем внешнем электрическом поле, например в поле протона, то вычисленная в таких условиях масса покоя будет содержать еще и добавку, обусловленную локальным полем в точке покоя электрона, например в точке наибольшего сближения этих частиц. Хотя в слабых полях или при небольшом сближении эта добавка будет незаметна, и мы получим самый обычный электрон с массой покоя из таблицы.

Однако когда интенсивности локальных полей возрастают, добавка к массе покоя перестает выглядеть безобидно. Так, например, на ускорителях протонов при бомбардировке мишеней или на встречных лучках достигается очень сильное сближение частиц, в результате которого могут происходить разные реакции, в том числе и с образованием свободного электрона. И этот электрон «рождается» и начинает свое движение из области очень сильного поля. В результате вычисленная по реляти-

вистским формулам масса покоя такого электрона окажется намного выше массы покоя электрона, зарегистрированного в слабых полях!

Так что же мы получаем в результате обработки подобных экспериментов? Новую частицу! Потому что согласно релятивистским расчетам мы должны приписать такому электрону намного большую массу покоя, чем у свободного электрона! А в современных представлениях масса покоя считается величиной, однозначно характеризующей частицу.

Вот каким образом в современной физике возникло такое множество новых элементарных частиц! Часто такие частицы очень похожи на прежние и обладают теми же свойствами, но только их масса покоя заметно больше, а время жизни невелико. Если говорить об электроне, то его клоны известны под названием мезонов, о чем мы уже упоминали.

Дополнительно следует отметить еще одно важное обстоятельство. Рождение электрона в тех или иных реакциях на ускорителях может возникать только при реализации одних и тех же физических условий. Например, при бомбардировке ядер протонами это может быть одна и та же типовая реакция распада нейтрона. Поэтому несмотря на все множество вариаций в условиях экспериментов меняются только параметры причин, вызывающих базовую реакцию образования конечной частицы — электрона. Разные условия определяют только вероятность возникновения базовой реакции, или другими словами, количество образовавшихся электронов. А сами условия образования электрона в каждом случае идентичны! Это и приводит к появлению одной и той же величины добавки к массе электрона, позволяющей каждый раз идентифицировать его как один и тот же мезон с известной массой покоя!

Мезоны «рождаются» на ускорителях частиц с энергией в несколько сотен МэВ. Эта энергия в несколько сотен раз превышает энергию, обуславливающую массу покоя обычного электрона, которая равна половине МэВ. В результате этого массы покоя тяжелых электронов — мезонов — также в несколько сотен раз превышают массу покоя электрона. В условиях более высоких энергий возникает эффект «рождения» еще более тяжелых мезонов и других частиц.

Впрочем, как мы уже отмечали, превращения элементарных частиц не так просты, чтобы полностью описать их с ходу. Возникает еще очень много нюансов, которые требуют объяснения. Мы не готовы сейчас решать все эти вопросы, но можем отметить суть проделанных рассуждений. Они сводятся к тому, что формальная релятивистская зависимость массы от скорости имеет еще один негативный аспект.

И состоит он в том, что, согласно релятивистской философии, масса покоя частицы может быть только одна, и она всегда полностью совпадает с классической массой. На самом же деле величина, известная как

масса покоя, для одной и той же частицы может быть разной! И зависит она от интенсивности локальных полей, в которых движется частица. Это своеобразная константа движения, зависящая от его начальных условий подобно полной энергии частицы (ведь как мы видели выше, она именно так и определяется!) Масса покоя остается постоянной только в процессе одного конкретного движения, но может быть совершенно иной при движении этой же самой частицы, но уже в других условиях.

*Применение релятивистской механики к расчету результатов экспериментов приводит к тому, что в разных физических условиях одна и та же частица имеет разную массу покоя. В результате вместо одной частицы в современной физике возникают целые группы похожих частиц, отличающихся в основном только величиной массы покоя (и «временем жизни»). Наиболее яркими примерами могут служить электрон и мюон, а приведенные выше рассуждения являются самым естественным объяснением электрон-мюонной инвариантности.*

Это обстоятельство требует серьезного пересмотра всей системы известных на сегодня элементарных частиц. Потому что большинства из них на самом деле просто не существует! Они суть иллюзия – плод релятивистской философии и математического формализма.

#### **4.10. Равно ли $E = mc^2$ ?**

В современной физике, пожалуй, нет более известного и красивого соотношения, чем  $E = mc^2$ . Что уже само по себе обычно рассматривается как гарантия его фундаментальности и абсолютной справедливости. В результате эта формула нередко применяется даже в тех случаях, к которым она никакого логического отношения вообще не имеет. Во многом именно это простое и красивое соотношение служит отправной точкой большинства мистических представлений, существующих в современной науке. Ряд из них мы уже упоминали, например, наделение свойством массы света и полей, а также возникновение материи из энергии и наоборот.

Справедливости ради следует заметить, что данное выражение действительно возникает в полевой механике. Оно описывает кинетическую энергию движения частиц в релятивистском приближении, подобно формуле  $E_k = mv^2/2$  в классической механике. Поэтому пока речь идет об описании движения материальных объектов и о проведении соответствующих расчетов, эта формула является вполне приемлемой. Как и само релятивистское уравнение движения. Пока значение для формулы энергии не переоценивается и не наделяется мистическим смыслом.

Последнее обстоятельство наглядно видно уже из сравнения формулы полевой массы:

$$\mu = -\frac{W}{c^2} \quad (4.10.1)$$

и соотношения

$$E = mc^2 \quad (4.10.2)$$

Формула полевой массы говорит нам о том, что наличие полевой связи между частицами, описываемой потенциальной энергией или потенциалом  $W$ , обуславливает частицам инертность величиной  $\mu$ . За этим соотношением стоит понятный физический механизм, о котором мы уже не раз говорили. Более того, согласно этой формуле свойство массы является следствием существования полевой среды и определяется характеризующим среду потенциалом.

Релятивистская формула передает совершенно иной смысл. Согласно ей наличие некой массы  $m$  означает существование некой энергии  $E$ . Таким образом, возникает основание для подмены массы энергией, а энергии массой, причем за этим соотношением не стоит никакого наглядного физического механизма, обуславливающего подобную связь. А логическая пустота как раз и служит поводом для совершенно нелепых интерпретаций этого выражения! Так свойство массы материальных тел привело к идее соответствующей ей энергии массы. А любой энергии, даже не связанной с материальными частицами, появилась возможность поставить в соответствие некую массу. Как и развить представления о преобразовании массы в энергию и наоборот.

А теперь пора учесть, что релятивистская формула энергии численно совпадает с формулой полевой массы. Поэтому в большинстве случаев применение выражения  $E = mc^2$  действительно может давать приемлемые численные результаты. Даже если с логической точки зрения данное выражение может быть к этим случаям совершенно не применимо.

Нередко примерное описание поведения частиц может быть сделано на основании закона сохранения энергии:

$$E_k + W = \text{const} = 0 \quad (4.10.3)$$

Если константу для простоты положить равной нулю, то кинетическая энергия  $E_k$  с обратным знаком становится равной потенциальной энергии  $W$ . А выражение для полевой массы автоматически преобразуется в релятивистскую формулу энергии:

$$m = -\frac{W}{c^2} = \frac{E_k}{c^2} \quad (4.10.4)$$

Редкий случай столь красивого совпадения!

Хотя случайных совпадений не бывает. И если поглубже покопаться в его причинах, то оказывается, что оно кроется в эквивалентности полевого и релятивистского уравнений движения. Поэтому правильнее было бы сказать, что универсальное соотношение  $E = mc^2$  – своеобразная релятивистская поправка, удачная формальная замена, позволяющая воссоздать многие результаты полевой физики. Она неявным образом учитывает динамическую природу массы, но не требует ее осознания и понимания. Впрочем, как и вся специальная теория относительности, которая носит характер такой же формальной подмены.

#### **4.11. Дефект масс, скрытая масса, или почему $2 \times 2$ не равно 4?**

Мы очень лихо сбросили со щитов современные представления о превращении массы и энергии, развитые в рамках теории относительности. Однако теперь нам предстоит ответить на вопрос о том, что же тогда на самом деле происходит при ядерном взрыве или при ядерном распаде вообще? Ведь экспериментально установлено, что масса распадающегося ядра всегда меньше суммарной массы продуктов распада. И при этом выделяется энергия, равная разности или так называемому дефекту масс, умноженная на  $c^2$ .

Для понимания механизма этого эффекта нам следует снова вернуться к формуле для массы покоя и воспользоваться вторым слагаемым. Потому что если мы рассматриваем массу ядра как единого целого, то она определяется исключительно внешними полями и, прежде всего, глобальным взаимодействием. Когда же речь идет о массе каждого отдельного нуклона в процессе распада, то она увеличивается еще и за счет внутренних взаимодействий нуклонов.

Величину этой дополнительной инертности  $\delta\mu$  мы можем оценить значением потенциала взаимодействия нуклонов в ядре  $W_{\text{Nuc}}$  :

$$\delta\mu = -\frac{W_{\text{Nuc}}}{c^2} \quad (4.11.1)$$

В процессе ядерного распада потенциальная энергия связи  $W_{\text{Nuc}}$  превращается в кинетическую энергию продуктов распада в согласии с законом сохранения энергии  $E_k = -W_{\text{Nuc}}$ . Вот почему между дефектом масс  $\delta\mu$ , обусловленным локальными полями внутри ядра, и энергией реакции  $E_k$  возникает известная связь:

$$E_k = -W_{\text{Nuc}} = \delta\mu \cdot c^2 \quad (4.11.2)$$

Создается впечатление, что часть материи преобразовалась в энергию! Но это преобразование всего лишь иллюзия! Иллюзия, рожденная отсутствием понимания природы массы.

Получается, что разбирая дефект масс, мы натолкнулись еще на одно крайне интересное свойство инертности, совершенно неожиданное с классической точки зрения. Оно состоит в следующем. Взаимодействие между телами обуславливает некую величину инертности каждому из них. Однако эта инертность проявляется только при движении этих тел друг относительно друга. Но если мы начинаем рассматривать движение этой системы тел как единого целого, то все меняется. Полная масса совокупности тел будет обусловлена только внешними для этой системы взаимодействиями. А все внутренние взаимодействия никак не влияют на массу составного объекта!

Это обстоятельство присутствует как в нашей модели полевой среды, так и в полевом уравнении движения. Потому что свойство массы связано с наличием изменений в полевой среде, с изменением функции связи. Это происходит, когда мы рассматривает относительное движение двух объектов. Но если составной объект движется как единое целое, то его полевая оболочка остается неизменной. Даже если она испытывает некие флуктуации, в среднем ее характеристики не меняются. Если не имеет место распад такой составной системы.

Другими словами, движение объекта как единого целого нейтрализует вклад в его массу всех внутренних взаимодействий. Если объект начнет распадаться, то тогда при относительном движении его частей начнет проявляться дополнительная инертность, связанная с внутренними взаимодействиями между ними. Но пока объект является единым, его полная масса может быть обусловлена только внешними полями.

Любой устойчивый составной объект связан внутренними силами притяжения. Они обуславливают дополнительную положительную массу всем составляющим частям этого объекта. А значит, масса объекта в целом всегда будет меньше алгебраической суммы масс составляющих его частей за счет дополнительной инерции, обусловленной внутренними



взаимодействиями. Эту дополнительную инерцию мы назовем внутренней или скрытой массой.

*Внутренние взаимодействия составного объекта никак не влияют на его полную инертность, увеличивая только массы составляющих частей. Эту дополнительную инертность мы назовем скрытой массой. Полная масса любого устойчивого объекта всегда меньше суммы масс его составляющих за счет скрытой массы. Одним из ярких примеров этого обстоятельства является известный эффект, выраженный в наличии дефекта масс.*

С точки зрения классической физики, рассматривающей массу как меру количества материи, этот результат является совершенно неожиданным и шокирующим. Получается, что в полевой физике никакого закона сохранения массы в принципе быть не может! Этот закон может условно существовать только в классическом приближении, когда инерция тел обусловлена исключительно глобальным взаимодействием. А закон сохранения инертной массы в этом случае фактически совпадает с законом сохранения гравитационного заряда (в силу их численного равенства в обычных земных условиях при отсутствии дополнительных полей). Но как только появляются дополнительные взаимодействия, вносящие свой вклад в массы тел, всякое сохранение массы становится абсурдным. И дефект масс является одним из первых примеров.

И тем не менее, именно эффект скрытой массы лежит в основе одного из ключевых понятий классической физики – в понятии материальной точки! Потому что благодаря эффекту скрытой массы движение сложнейших макрообъектов, вплоть до звезд и планет, можно рассматривать как движение всего одной точечной частицы! И внутренняя структура объекта при его движении как единого целого является несущественной именно потому, что не только все внутренние силы компенсируют друг друга согласно третьему закону Ньютона, но и все внутренние взаимодействия никак не влияют на полную массу объекта!

Это обстоятельство также ограничивает возникновение бесконечных масс в нашем Мире. Ведь согласно формуле полевой массы:

$$m = -\frac{W}{c^2} \sim \frac{1}{R} \quad (4.11.3)$$

две очень близко расположенные друг к другу частицы приобретают очень большие по величине массы. В пределе  $R \rightarrow 0$  мы получаем  $m \rightarrow \infty$ . Это означает, например, что элементарные частицы в атомном ядре, заключенные в очень малой области пространства, обладают практически бесконечными массами!

Но эти огромные массы проявляют себя только в том случае, когда частицы пытаются двигаться друг относительно друга. И это оказывается крайне затруднительным, так как подобное движение должно преодолеть практически бесконечную инерцию, препятствующую распаду такой системы. И как мы увидим двумя главами позже, очень похожий механизм как раз и приводит к возникновению ядерных сил, обусловленных комбинацией обычного электричества и гравитации! Возникновение сильного притяжения на малых расстояниях происходит как раз за счет нужного соотношения масс, обусловленного этими двумя типами полей в малой области пространства.

Впрочем, все эти причуды имеют место только тогда, когда речь идет об относительном движении частиц. Если же две или большее количество частиц движутся как единое целое, то бесконечные массы, обусловленные их внутренними взаимодействиями, никак себя не проявляют! Масса такого составного объекта определяется только его взаимодействиями с внешними полями, находящимися от него на конечном расстоянии. А следовательно, и сама масса составного объекта является конечной. Другими словами, возникновение бесконечной массы означает слияние двух частиц в единый составной объект, который может двигаться только как единое целое. И внутренние взаимодействия такого объекта уже не влияют на характеристики его движения.

Сыграв свою роль в классической физике, эффект скрытой массы приводит к большому количеству неклассических явлений. И одним из ярких примеров такого поведения служит явление аннигиляции. В этом случае масса составного объекта оказывается не просто меньше алгебраической суммы масс его составляющих. Она вообще оказывается равной нулю!

В современной физике существует представление, что в результате явления аннигиляции частица и античастица уничтожают друг друга и вся их масса переходит в энергию. Но как мы уже говорили, в полевой физике никаких представлений о превращении частиц в энергию, а энергии — в материю нет. Согласно полевой физике, в процессе аннигиляции две частицы с противоположными свойствами образуют связанное состояние, в результате чего их свойства взаимодействовать с внешним миром компенсируются.

В результате эта пара перестает взаимодействовать с внешними объектами, а следовательно, теряет всякую инертность, которая могла бы быть обусловлена внешними полями для каждой частицы по отдельности. А их взаимодействие между собой оказывается внутренним и тоже не создает никакой суммарной инертности! Понятно, что зарегистрировать такой объект становится практически невозможно, поэтому и со-

здается впечатление, что в результате аннигиляции частицы просто исчезли! Впрочем, как мы уже отмечали, определенные внешние воздействия, например, интенсивные колебания полевой среды, известные как гамма-кванты, могут вновь разбить такую пару, что интерпретируется как «рождение» частиц.

Природа массы является еще одним ярким примером, демонстрирующим принципиальную разницу между физикой и математикой. Она показывает, что понятие «математической строгости» является для физики, вообще говоря, абсурдным. А многократные попытки понять устройство Мира путем построения математической физики — наивными. Реальное физическое поведение тел может запросто «перешагнуть» через всю придуманную нами математику, несмотря на ее так называемую «строгость». И оказаться соответствующим совершенно иным правилам, над происхождением и пониманием которых нам приходится изрядно поломать голову.

Казалось бы, что может быть проще и правильнее обычной арифметики. Еще из начальной школы мы знаем, что  $1 + 1 = 2$ , а  $2 + 2 = 2 \times 2 = 4$ . Эти очевидные вещи мы познаем исходя из элементарного счета предметов. Если к одному шару прибавить еще один, то будет два шара. Если взять дважды по два шара, то всего их будет четыре. Примерно так и рассуждал Ньютон, когда вводил понятие массы как меры количества материи. Меры, равной плотности вещества, то есть количеству шаров в единице объема, умноженной на весь объем тела. При таком подходе не может быть никаких сомнений в том, что масса любого составного тела будет равна алгебраической сумме масс исходных тел. Это очевидные законы арифметики, с которыми спорить, казалось бы, совершенно бессмысленно.

Но вот на рубеже XIX–XX веков до неприличия правильная и очевидная арифметика стала давать неприятные сбои. Оказалось, что по мере увеличения скорости тела количество «шаров» в нем вдруг начинает расти. А суммарная масса альфа-частицы оказалась меньше суммы масс составляющих ее протонов и нейтронов. Оказалось, что  $2 \times 2 < 4!$  Очень неприятное обстоятельство. Но при этом закон сохранения массы формально был спасен благодаря его объединению с законом сохранения энергии. Теперь часть «шаров» могла тратиться на движение тел, как и приобретаться за счет него.

Однако в полевой физике все стало еще «хуже». Пусть есть две частицы с массами по единице. Тогда в обычных классических условиях мы можем считать их суммарную массу равной двум единицам:

$$1 + 1 = 2 \quad (4.11.4)$$

Но если мы отпустим эти частицы и дадим им сближаться за счет притяжения, то масса каждой частицы возрастет. В терминах теории относительности за — счет роста массы со скоростью. В терминах полевой физики — за счет вклада в массу локального взаимодействия. И мы получим, что суммарная масса пары частиц оказывается уже больше двух:

$$1 + 1 > 2 \quad (4.11.5)$$

причем в пределе при неограниченном сближении частиц она возрастает до бесконечности!

$$1 + 1 \rightarrow \infty \quad (4.11.6)$$

Но если теперь эти частицы сблизилась настолько, что образовали связанное состояние и стали одним объектом, то масса такой единой конструкции оказывается меньше простой суммы их начальных масс, то есть:

$$1 + 1 < 2 \quad (4.11.7)$$

Более того, если мы учтем, что по мере сближения этих частиц инертность каждой из них неограниченно возрастала, а в связанном состоянии эти бесконечные массы никак себя не проявляют, то соотношение получится еще более абсурдным:

$$\infty + \infty < 2 \quad (4.11.8)$$

А если эти две частицы имели антагонистические свойства, или, на языке современной физики, оказались античастицами, то образованный ими объект будет обладать нулевой массой, и мы должны написать:

$$1 + 1 = 0 \quad (4.11.9)$$

А с учетом бесконечного роста их масс по мере сближения частиц:

$$\infty + \infty = 0 \quad (4.11.10)$$

Каждое выражение оказывается еще более абсурдным, чем предыдущее! В принципе, в полевой физике может реализоваться вообще непонятный с точки зрения современных представлений вариант, когда масса частицы или пары частиц вообще окажется отрицательной (мы поговорим о таких случаях позже)!

$$1 + 1 < 0 \quad (4.11.11)$$

Проще говоря, физическое понятие массы полностью доказывает несостоятельность всей нашей арифметики! Причем доказывает экспери-

ментально! Ведь эффект увеличения массы со скоростью, или дефект масс, или реакция аннигиляции надежно установлены на опыте! А что может быть более веским аргументом, чем эксперимент, в рамках современной научной парадигмы? Оказывается, что сумма двух единиц может быть как больше двух, так и меньше двух! Может стать нулевой, бесконечной или даже отрицательной! А сумма двух сколь угодно больших положительных чисел — бесконечностей — конечной величиной, даже равной нулю! Подобный хаос является достаточным основанием, чтобы признать наш Мир вообще непознаваемым.

Хотя дело, конечно же, не в арифметике. Потому что арифметика — это определенная логическая система, разновидность математики, возникшая в процессе счета одинаковых предметов, например, бильярдных шаров. Однако арифметика, используемая для счета одинаковых предметов, не имеет никакого отношения к физическому понятию массы, ее сложению или каким-либо иным манипуляциям с ней. Было бы абсурдно утверждать, что только из-за логичности и математической строгости арифметики физическое понятие массы должно обязательно удовлетворять этой системе.

Масса объекта не является подобной количеству составляющих его «шаров». Это характеристика полевой среды, окружающей данный объект. И в зависимости от физических условий, созданных вокруг именно этого объекта, в том числе за счет внешнего влияния других объектов, его масса может меняться очень причудливым образом. И характер ее изменения может оказаться никак не связанным с представлениями и формулами той или иной заранее придуманной нами математики.

Вот почему в процессе «сложения» масс при комбинации нескольких тел в единую физическую систему даже правила обычной арифметики нарушаются самым злостным образом. Подобное «сложение» не отражает собой суммарное количество заключенных в каждом теле «шаров». Оно является характеристикой совокупной полевой среды, образованной данной конфигурацией тел в данных физических условиях. И законы «сложения» здесь могут быть самые неожиданные. А понять их можно только на основании понимания истинной физической природы происходящих процессов, одной из характеристик которых и является масса.

В современной физике преклонение перед математикой является очевидным и повсеместным. А требование математической строгости тех или иных манипуляций нередко считается необходимым и достаточным доказательством их правильности. Это особенно характерно для современной теоретической физики. Но в свете нашего изложения этот подход оказывается крайне негативным, опрометчиво укладывающим физику в «прокрустово ложе» бытующих сегодня математических моделей. Потому что реальное устройство Мира и принципы физического

поведения могут не иметь ничего общего с созданными нами математическими концепциями.

Каждая математическая модель опирается на заложенный в ее основании набор аксиом, и применима лишь тогда, когда физическое поведение основывается на схожих принципах. Но так бывает далеко не всегда. И часто подобное совпадение случается лишь в рамках тех или иных приближений физической реальности. Поэтому нередко физическую реальность приходится заметно искажать или даже уродовать, чтобы привести ее в полное соответствие с выбранной заранее математической моделью.

Пример с понятием массы еще раз подчеркивает актуальность нашего сравнения современной математики с религиозно-философскими догматами времен средневековья. Потому что в современной науке математика нередко задает неверный вектор развития представлений, а также ставит серьезные преграды для адекватного понимания и описания тех физических явлений и процессов, которые идут вразрез с используемыми аксиомами и приемами бытующей математики. В теории относительности, квантовой механике и их более поздних модификациях, основанных на математическом формализме, существует множество примеров «принесения в жертву» физической сути явлений в пользу сложившихся математических догматов. И нередко эти догматы самым несправедливым образом отождествляются с фундаментальными физическими принципами. И немало таких примеров мы уже встретили и еще встретим на страницах этой книги.

Например, ни одна из существующих сегодня математических концепций или основанных на них физических теорий, не могут привести к выводу, очевидному с точки зрения полевой физики. А именно к тому, что полная масса нашей Вселенной равна нулю! Действительно, если рассматривать как единое целое совокупность всех существующих в нашем Мире объектов, то все взаимодействия между ними окажутся внутренними! Массой обладает только та или иная часть Вселенной — от элементарной частицы до звездной системы. И эта масса проявляет себя только при относительном движении разных частей нашего Мира. Но наша Вселенная как единое целое не имеет массы и подобно паре частицы и античастицы является объектом-невидимкой в каком-то более масштабном Мире!

Этот вывод никогда не смог бы появиться в рамках ни одной из современных физических концепций. Потому что каждая из них — заложница той или иной математической модели и соответствующего набора аксиом, положенных в ее основу. Но ни одна из современных математических моделей не может вместить в себя то обстоятельство, что сумма большого количества больших положительных величин оказывается равной нулю! Это является нарушением всякой логики и разрушает само философское понятие количества. Подобный вывод может быть

следствием только физической модели, связанной с пониманием внутренних механизмов устройства нашего Мира, и в том числе, с осознанием динамической природы массы.

Говорят, что величайшим математиком всех времен является Бог. И изучая устройство нашего Мира, мы обнаруживаем, что многие его закономерности действительно можно описать с помощью математических зависимостей. Поэтому мы и не пренебрегаем математикой в процессе построения полевой физики. Но математика может являться только следствием физики, своеобразным инструментом или языком, с помощью которого мы отражаем полученное понимание природы тех или иных явлений или процессов. Лишь создав физическую модель происходящего на основании экспериментальных данных и физического мышления, мы можем облечь ее в ту или иную математическую форму. А последующее расширение или изменение нашего понимания природы вещей может потребовать полного пересмотра или даже замены всех созданных ранее математических систем.

Как мы уже отмечали, математика является эффективным инструментом, позволяющим решать прикладные и громоздкие расчетные задачи в рамках уже сформированных физических представлений. Но крайне нелепо в этом свете выглядят многие методы современной теоретической физики, призванные приобрести новое физическое понимание или открыть новые физические явления и законы на основании абстрактных математических манипуляций. К ним можно отнести использование новых геометрических моделей, многомерных пространств, математических групп, операторов, перенормировок, калибровочных полей, суперсимметрий, суперструн, виртуальных частиц и многих иных сугубо абстрактных математических, а не физических сущностей.

Все подобные усилия способны привести только к открытию тех явлений и законов, которые оказались уже заложенными в аксиомы данной геометрии или математической доктрины. В итоге этот путь оказывается замкнутым кругом, по которому ученые могут ходить годами или даже веками, теряя всякую надежду найти выход. И одним из наиболее ярких примеров подобного блуждания по замкнутому кругу является программа построения единой теории поля в рамках геометризации всех уравнений физики, провозглашенная еще во времена Эйнштейна. Все подобные попытки уже давно стали оторванными от реальности и свелись к элементарному перебору бесконечного множества комбинаций абстрактных математических величин.

Полевая физика позволяет по-иному посмотреть на математику. И существенно изменить приоритеты в научном мировоззрении и методологии. Только так можно разорвать замкнутый круг, не позволяющий достичь новых знаний и более глубокого понимания устройства нашего Мира.

## 4.12. Вращение и момент импульса

Сделав очередное философское отступление, нам следует вернуться к сугубо практическим вопросам и упомянуть еще одну производную характеристику движения, известную как момент импульса. Представления об этой величине возникают благодаря возможности получить еще один общий интеграл полевого уравнения движения:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = \nabla W \quad (4.12.1)$$

Это становится возможным благодаря векторному умножению данного уравнения на расстояние между частицами  $\mathbf{R}$ :

$$\mathbf{R} \times \frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = \mathbf{R} \times \nabla W \quad (4.12.2)$$

Сразу же следует отметить, что правая часть этого уравнения равна нулю. Вид функции  $W$  в полевой физике представляет собой выражение  $W = \text{const}/R$ , а градиент этой величины сонаправлен с вектором  $\mathbf{R}$ . В терминах классической физики это означает, что мы имеем дело с центральным полем.

Левая часть написанного выше уравнения может быть преобразована с помощью формулы производной произведения:

$$\mathbf{R} \times \frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{c^2} \right) - \frac{d\mathbf{R}}{dt} \times \frac{W\mathbf{u}}{c^2} = \frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{c^2} \right) = 0 \quad (4.12.3)$$

Второе слагаемое в этом выражении также равно нулю, так как  $d\mathbf{R}/dt = \mathbf{u}$ . В результате мы получаем, что в процессе движения частиц в согласии с полевым уравнением движения остается неизменной величина, которую мы и будем называть моментом импульса.

*Момент импульса является физической величиной, характеризующей движение частиц в полевой среде. Он остается неизменным в процессе движения и определяется выражением:*

$$\mathbf{L} = -\frac{W\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{c^2} = \mathbf{R} \times \mathbf{P} = \text{const} \quad (4.12.4)$$

Несложно получить выражение для момента импульса в классическом приближении. Используя как и прежде значение функции полевой связи в виде  $W = W_g + W_l$ , мы получаем



$$\mathbf{L} = -\frac{W_g + W_l}{c^2} \mathbf{R} \times \mathbf{u} = m \mathbf{R} \times \mathbf{u} = \mathbf{R} \times \mathbf{P} \quad (4.12.5)$$

известное выражение для момента импульса.

В релятивистском приближении:

$$\mathbf{L} = -\frac{W_g + W_l}{c^2} \mathbf{R} \times \mathbf{u} = -\frac{M_0}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \mathbf{R} \times \mathbf{u} = M(u) \mathbf{R} \times \mathbf{u} = \mathbf{R} \times \mathbf{P} \quad (4.12.6)$$

Гораздо интереснее становится роль закона сохранения момента импульса в чистом полевом случае без учета глобального взаимодействия и постоянной составляющей массы. Если считать  $W = k/R$ , где  $k = \text{const}$ , то закон сохранения импульса принимает вид:

$$\mathbf{L} = -\frac{WR \times \mathbf{u}}{c^2} = -\frac{k}{R} \frac{\mathbf{R} \times \mathbf{u}}{c^2} = -\frac{k}{c^2} \mathbf{e}_R \times \mathbf{u} = -\frac{k}{c^2} u_\tau = \text{const} \quad (4.12.7)$$

где  $\mathbf{e}_R$  – единичный вектор в направлении  $\mathbf{R}$ . Это выражение означает, что в процессе такого движения остается неизменной тангенциальная компонента скорости частицы  $u_\tau$ . В отличие от классического движения, при котором в центральном поле остается неизменной «заметаемая» объектом площадь  $Ru_\tau/2$ , в случае чистого полевого движения этот закон трансформируется в закон сохранения скорости вращения  $u_\tau$ ! Но это уже совсем иная механика. И о ней мы подробно поговорим в следующей главе.

### 4.13. Взаимодействие произвольно движущихся зарядов

Мы постепенно подошли к концу главы о релятивистском движении. Термин «релятивистское» мы использовали потому, что этот класс движения оказался полностью эквивалентен механике специальной теории относительности. А значит, полевая физика фактически позволяет заменить собой эту теорию, устранив всю связанную с ней мистику и иные проблемы. Однако чтобы полностью оправдать использование данного термина, нам осталось окончательно разобраться с проблемой относительного движения. Или другими словами, решить задачу о взаимодействии произвольно движущихся зарядов.

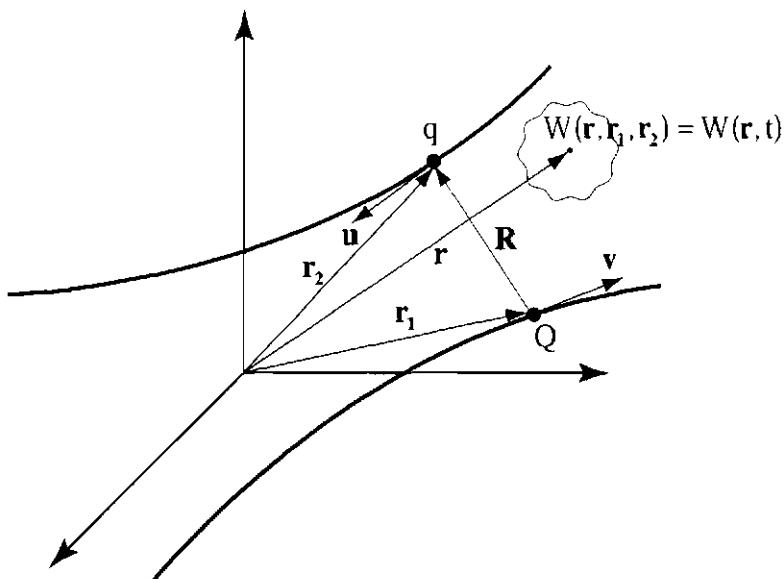
Эквивалентность этих двух задач возникает по следующим причинам. Пусть две заряженные частицы движутся произвольным образом в некой произвольной системе отсчета. Мы можем исследовать их движение именно в этой системе отсчета, и тогда нам придется учитывать все дополнительные поправки к силе, связанные с движением источника. Но мы можем также перейти в систему отсчета, связанную с одной из частиц, то есть в систему поля, в которой источник покоится, и присутствует только статическая сила. А уже потом вернуться в начальную систему отсчета, где движение частиц произвольно. В классической физике для этого использовались очевидные преобразования Галилея. В современной физике все оказалось гораздо сложнее.

С одной стороны, подмена описания взаимодействия произвольно движущихся частиц простым переходом в другую систему отсчета является хорошим логическим и математическим приемом. Прием, позволяющим решить сложную задачу не углубляясь в ее суть, а путем сведения этой задачи к более простой. И если бы в современной физике не существовало серьезной путаницы с вопросами относительности, мы, возможно, пошли бы именно по этому пути. Но историческая подоплека требует от нас более основательного подхода к данной проблеме.

Поэтому мы решим задачу, связанную с описанием взаимодействия произвольно движущихся частиц, не опираясь ни на какие гипотезы или интуитивные правила о переходах между разными системами отсчета. Мы будем исходить из основных принципов динамики полевой среды, подобно тому, как мы получили полевое уравнение движения в системе поля. Только теперь вместо системы поля, связанной с одной из взаимодействующих частиц, нам нужно получить уравнение движения в некой совершенно произвольной системе отсчета. Для схожести с первой главой мы будем называть такую систему лабораторной.

На языке современной физики это означает, что до настоящего момента мы изучали движение частицы в поле покоящегося источника. Или в системе отсчета, связанной с этим источником. Теперь же мы хотим описать движение исследуемой частицы в случае произвольного движения источника. Или, что то же самое, в совершенно произвольной системе отсчета. Чему мы и посвятим остаток этой главы.

Для достижения поставленной цели будем следовать логике, которая использовалась ранее при получении полевого уравнения движения. В лабораторной системе отсчета, как и ранее в системе поля, мы будем описывать полевую среду двух взаимодействующих частиц функцией плотности  $W = W(\mathbf{r}, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ . Только теперь плотность полевой среды в некой произвольной области пространства  $\mathbf{r}$  зависит от положения обеих частиц  $\mathbf{r}_1$  и  $\mathbf{r}_2$  в лабораторной системе отсчета (рисунок 4.13.1).



**Рисунок 4.13.1.** В случае произвольной системы отсчета функция плотности полевой среды зависит от положения обеих частиц.

Ранее функция  $W$  зависела только от положения подвижной частицы, так как положение второй частицы совпадало с началом отсчета системы поля и считалось неизменным.

Влияние движущихся частиц на плотность полевой среды в некоей области пространства  $\mathbf{r}$  мы также можем заменить фактором времени, записав  $W = W(\mathbf{r}, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = W(\mathbf{r}, t)$ . Таким образом, зависимость функции плотности  $W$  от  $t$  связана с изменением положений первой и второй частицы вследствие их движения. Тогда

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial W}{\partial \mathbf{r}_1} \frac{d\mathbf{r}_1}{dt} + \frac{\partial W}{\partial \mathbf{r}_2} \frac{d\mathbf{r}_2}{dt} = \mathbf{v} \cdot \nabla_1 W + \mathbf{u} \cdot \nabla_2 W \quad (4.13.1)$$

где  $\mathbf{v}$  и  $\mathbf{u}$  – скорости первой и второй частицы в лабораторной системе отсчета, а операции градиента также берутся по координатам соответствующей частицы. Это выражение фактически представляет собой принцип сохранения полевой среды и является вариантом написания уравнения непрерывности. Поэтому к данному выражению надо добавить еще волновое уравнение, выражающее принцип близкодействия:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \nabla_r^2 W \quad (4.13.2)$$

Как и ранее, эти два уравнения описывают динамику полевой среды двух взаимодействующих частиц. В терминах современной физики мы можем считать первую частицу источником поля, а вторую — частицей регистрации. Поэтому чтобы описать движение исследуемой частицы в поле произвольно движущегося источника, нам нужно решить эти уравнения в окрестности точки  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2$ .

Далее все математические манипуляции во многом аналогичны тем, которые мы проделали в процессе получения уравнения движения в системе поля. Взяв частную производную по времени от первого уравнения, мы получаем с помощью подстановки из волнового уравнения:

$$\frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \nabla_1 \cdot \left( \frac{\partial W \mathbf{v}}{\partial t} \right) + \nabla_2 \cdot \left( \frac{\partial W \mathbf{u}}{\partial t} \right) = c^2 \nabla_r^2 W \quad (4.13.3)$$

Теперь несложно перейти к окрестности второй частицы, то есть к точке  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2$ . Для этого надо только найти связь между градиентами функции  $W$  в окрестностях первой и второй частицы. Как мы уже знаем, физический смысл функции  $W(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$  состоит в величине полевой связи между частицами. А следовательно,  $W$  зависит от относительного расстояния между ними  $\mathbf{R} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$ . Это означает, что  $\nabla_1 W = -\nabla_2 W$ , что во многом напоминает классический закон равенства сил действия и противодействия. В итоге в окрестности второй частицы  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2$ :

$$\nabla_2 \left( \frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (W(\mathbf{u} - \mathbf{v})) - \nabla_2 W \right) = 0 \quad (4.13.4)$$

На этом этапе следует вспомнить третий принцип динамики полевой среды, который приводит к обращению в нуль выражения под знаком дивергенции. В результате мы получаем уравнение движения, описывающее взаимодействие частиц, движущихся произвольным образом:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial}{\partial t} (W(\mathbf{u} - \mathbf{v})) = \nabla_2 W \quad (4.13.5)$$

Теперь нам осталось от функции плотности полевой среды  $W = W(\mathbf{r}, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$  перейти к функции полевой связи взаимодействующих частиц  $W'(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = W'(\mathbf{r}, t)$ , рассматривая динамику поля в окрестностях точки  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2$ . В функции  $W'(\mathbf{r}, t)$  зависимость от времени  $t$  описывает изменения поля, связанные с внешними причинами, то есть фактически заменяет переменную  $\mathbf{r}_1$ . А зависимость от  $\mathbf{r}$  связана с ко-

ординатой исследуемой частицы и соответствует  $\mathbf{r}_2$ . Поэтому полная производная по времени от  $W'$ :

$$\frac{dW'}{dt} = \frac{\partial W'}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla_2 W' \quad (4.13.6)$$

где

$$\frac{\partial W'}{\partial t} = \mathbf{v} \cdot \nabla_1 W' = -\mathbf{v} \cdot \nabla_2 W' \quad (4.13.7)$$

оказывается равной частной производной по времени от функции  $W$ :

$$\frac{dW'}{dt} = \mathbf{v} \cdot \nabla_1 W' + \mathbf{u} \cdot \nabla_2 W' = \frac{\partial W}{\partial t} \quad (4.13.8)$$

В результате уравнение движения с использованием функции полевой связи частиц  $W'(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = W'(\mathbf{r}, t)$ , которая в современной физике имеет смысл скалярного потенциала, принимает вид, аналогичный уравнению движения в системе поля:

$$\frac{1}{c^2} \frac{dW'(\mathbf{u} - \mathbf{v})}{dt} = \nabla_2 W' \quad (4.13.9)$$

В дальнейшем вместо обозначения  $W'$  мы будем использовать просто  $W$ , а также помнить, что пространственные производные берутся в окрестности исследуемой частицы  $\mathbf{r} = \mathbf{r}_2$ .

### *Полевое уравнение движения в произвольной системе отсчета*

$$\frac{1}{c^2} \frac{dW(\mathbf{u} - \mathbf{v})}{dt} = \nabla W \quad (4.13.10)$$

Это уравнение полностью зависит только от относительных величин! Впрочем, другого вряд ли следовало ожидать. В это уравнение заложена суть идеи относительности — независимо от выбора системы отсчета движение частиц определяется только относительными величинами. Относительными расстояниями и относительными скоростями, соотношения между которыми не меняются в зависимости от выбора системы для наблюдения.

На данном этапе становится ясно, что мы могли бы получить это уравнение движения сразу, исходя из преобразований Галилея. В системе поля скорость  $\mathbf{v}$  движения одной частицы относительно другой равна разности скоростей этих частиц в лабораторной системе отсчета:

$$\mathbf{v} = \mathbf{u} - \mathbf{v} \quad (4.13.11)$$

Но как было замечено в начале раздела, мы не пошли по этому простому пути для того, чтобы восстановить статус-кво для преобразований Галилея.

Полученное уравнение движения лишено всех проблем, свойственных современной физике. В силу того, что оно изначально состоит только из относительных расстояний и скоростей, автоматически выполняется корректный переход в любую произвольную систему отсчета. Это уравнение движения не требует введения специальных преобразований, подобных преобразованиям Лоренца, чтобы сохранить инвариантность. Для перехода к другим системам отсчета вполне достаточно очевидных преобразований Галилея. А также все системы отсчета теперь оказываются логически равноправными, и отпадает необходимость в выделении особого класса инерциальных систем.

Более того, это уравнение справедливо даже для вращающихся систем отсчета! Дополнительное слагаемое

$$\frac{1}{c^2} \frac{dWv}{dt} \quad (4.13.12)$$

описывающее движение источника, включает в себя как силы инерции, связанные с переменной массой (инерция второго рода), так и все силы инерции первого рода, связанные как с поступательным, так и с вращательным движением. Таким образом, впервые в физике восторжествовала полная относительность! Равноправными стали не только системы отсчета, движущиеся равномерно и прямолинейно (инерциальные системы отсчета), или находящиеся в ускоренном поступательном движении, но и все вращающиеся системы отсчета! Полученное уравнение движения справедливо в совершенно любой системе отсчета!

Несмотря на огромные усилия, приложенные в рамках специальной и общей теорий относительности, понять относительный характер вращения так и не удалось. Только в полевой физике поступательное и вращательное движение стали равноправными! Так, вращение сосуда с водой более не является абсолютным. Оно происходит по отношению ко всей остальной Вселенной, по отношению к системе неподвижных звезд, как и поступательное движение. В то время как вся остальная Вселенная вращается относительно этого сосуда. И эти системы отсчета являются логически равноправными!

Разница состоит лишь в величине сил инерции, действующих в процессе такого относительного вращения на сосуд и на Вселенную. Масса сосуда и воды в нем почти целиком определяется гравитационным полем

Вселенной, поэтому и величина сил инерции, действующих на воду и сосуд в процессе их относительного вращения, велика. В то время как вклад в массу огромных звездных систем и всей нашей Галактики за счет их взаимодействия с этим сосудом является исчезающе малым! Поэтому исчезающе малы и соответствующие силы инерции, что создает иллюзию абсолютного характера вращательного движения сосуда.

Как в классической, так и в современной физике представление об абсолютном характере вращательного движения продолжает сохраняться. И это еще один пример того, как существенное различие в величине сил инерции разного рода приводит к логически некорректному взгляду на относительность в современной физике. Так, например, при неравномерном движении действуют силы инерции первого рода, и они хорошо заметны, в результате чего не возникает проблем в разделении состояния покоя и неравномерного движения (по отношению к источникам глобального поля, разумеется). А при равномерном прямолинейном движении действуют только силы инерции второго рода, которые на практике крайне малы, и это создает иллюзию, что такое движение невозможно отличить от состояния покоя. Хотя на самом деле это не так.

В условиях вращательного движения эта же проблема возникает в обратном виде. При этом движении силы инерции первого рода присутствуют всегда, и кажется, что такое движение является абсолютным, и его всегда можно отличить от состояния покоя. Однако все силы инерции, характерные вращению, имеют место только благодаря существованию нашей Галактики, которая обуславливает инертность вращающегося тела, и по отношению к которой происходит вращение. Если бы взаимодействие вращающегося тела с глобальным полем отсутствовало, то тогда не возникали бы и силы инерции! И нам казалось бы, что вращательное движение невозможно отличить от состояния покоя!

Впрочем, такой эффект вполне можно получить на практике. Для этого величина локального поля, источник которого вращается вместе с исследуемым телом, должна намного превосходить величину глобального поля. В этом случае локальное поле становится определяющим в величине масс всех окружающих объектов, а такая вращающаяся система начинает выглядеть как покоящаяся, по отношению к которой вращаются все остальные предметы! И за счет определяющего вклада локального поля в массу окружающих объектов действие сил инерции будут испытывать все внешние тела, ранее считавшиеся «покоящимися»!

И нечто подобное, похоже, как раз и происходит в масштабах ядер и элементарных частиц! На малых расстояниях, когда локальные поля становятся заметно сильнее глобального взаимодействия, свойства вращающихся частиц оказываются совершенно необъяснимыми. Собственное вращение таких микроробъектов, известных под названием спи-

на, никак не поддается привычному классическому описанию и создает широкий спектр новых эффектов. И это является еще одной отдельной интересной задачей.

#### 4.14. Полевая сила Лоренца

Теперь пора привести полевое уравнение движения к привычному виду силы Лоренца. Во-первых, чтобы увидеть их близкое сходство, благодаря чему в большинстве задач и экспериментов результаты классической электродинамики оказываются удовлетворительными. Во-вторых, чтобы увидеть, какие слагаемые потеряны в обычной силе Лоренца, в результате чего она теряет свойства инвариантности, и возникает зависимость от абсолютных скоростей. Как мы уже поняли, именно по этой причине для спасения ситуации приходится вводить релятивистские поправки и отказываться от преобразований Галилея.

Следуя логике классической силы Лоренца, мы должны описать движение второй частицы в поле произвольно движущейся первой частицы. Переносим слагаемое, описывающее влияние частицы-источника, в правую часть полевого уравнения движения (выражение 4.13.10), мы получаем:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = \nabla W + \frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{v}}{c^2} \right) = \nabla W + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{W\mathbf{v}}{c^2} \right) + \frac{1}{c^2} (\mathbf{u}\nabla)(W\mathbf{v}) \quad (4.14.1)$$

Раскрывая полную производную по времени, мы учли то обстоятельство, что пространственная производная связана с движением второй частицы – частицы регистрации. Последнее слагаемое в свою очередь можно представить в виде:

$$(\mathbf{u}\nabla)(W\mathbf{v}) = \mathbf{v}(\mathbf{u}\nabla W) = \mathbf{u} \times (\mathbf{v} \times \nabla W) + (\mathbf{u}\mathbf{v})\nabla W \quad (4.14.2)$$

В результате полевое уравнение движения, аналогичное классической силе Лоренца, принимает вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{W\mathbf{u}}{c^2} \right) = \nabla W \cdot \left( 1 + \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{W\mathbf{v}}{c^2} \right) + \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{v} \times \nabla W) \quad (4.14.3)$$

Теперь нам осталось только проставить привычные обозначения. Прежде всего, массы. Как и ранее, мы считаем, что имеет место глобальное взаимодействие  $W_g = \text{const}$ , которое обуславливает постоянную классическую массу частицы регистрации:



$$m = -\frac{W_g}{c^2} \quad (4.14.4)$$

А также есть локальное электромагнитное взаимодействие  $W_l$ , влияние которого и описывает сила Лоренца. Оно обуславливает хорошо знакомую нам из первой главы полевую добавку к классической массе:

$$\mu = -\frac{W_l}{c^2} \quad (4.14.5)$$

Как и следовало ожидать, полевое уравнение движения описывает как «полевые» силы инерции, которым уделялось внимание в первой главе, так и обычные классические силы инерции. Пусть для простоты локальное взаимодействие пока вообще отсутствует, то есть  $W_l = 0$ . Тогда с учетом  $W_g = \text{const}$  движение частицы в произвольной системе отсчета принимает вид:

$$-\frac{d}{dt} \left( \frac{W_g \mathbf{u}}{c^2} \right) = m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = -\frac{d}{dt} \left( \frac{W_g \mathbf{v}}{c^2} \right) = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} \quad (4.14.6)$$

Таким образом, если мы рассматриваем движение в системе отсчета, связанной с центром нашей Галактики, — основным источником глобального поля, или другими словами, в системе неподвижных звезд, то никаких сил инерции не возникает, так как  $\mathbf{v} = 0$ ! В этом и состоит суть динамического принципа инерции. При отсутствии внешних сил тело сохраняет состояние равномерного прямолинейного движения, но не по отношению к пространству как таковому или к инерциальной системе отсчета, а по отношению к основному скоплению гравитационных источников в Галактике, которые обуславливают его массу!

В некотором приближении такую систему отсчета можно связать с Землей, пренебрегая ее движением и вращением. А также силы инерции не возникают и во всех других системах отсчета, движущихся равномерно и прямолинейно относительно системы неподвижных звезд, так как для них  $\mathbf{v} = \text{const}$ . Именно эти системы и составляют известный класс инерциальных систем отсчета.

А во всех иных системах отсчета, движущихся с ускорением относительно системы неподвижных звезд, возникают классические силы инерции — силы инерции первого рода. Это позволяет нам учесть влияние глобального взаимодействия во всех наших задачах. Если произвольная система отсчета не совпадает с системой неподвижных звезд (или, по крайней мере, с Землей), то в полевом уравнении движения всегда имеет место набор классических сил инерции

$$m \frac{d\mathbf{u}}{dt} = m \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -m \frac{d\mathbf{v}'}{dt} = \mathbf{F}_i(m) \quad (4.14.7)$$

где мы заменили скорость движения центра нашей Галактики или просто Земли  $\mathbf{v}$  в некоей произвольной системе отсчета на скорость  $\mathbf{v}' = -\mathbf{v}$  движения самой этой системы отсчета относительно Земли или центра Галактики.

Как мы уже упоминали, такая система отсчета может двигаться как поступательно, так и вращательно. С точки зрения полевого уравнения движения никакой принципиальной разницы между такими системами отсчета нет. Полный набор классических сил инерции, корректирующих уравнение в случае неравномерного движения выбранной системы отсчета, содержит как слагаемые, связанные с поступательным ускорением, так и все поправки, вызванные вращением.

Итак, с классической инерцией ситуация становится вполне понятной. Поэтому теперь для простоты мы будем считать, что наша лабораторная система отсчета связана с Землей, и обычные силы инерции в ней не возникают. Другими словами, она является инерциальной в классическом смысле этого слова. А глобальное взаимодействие вносит только вклад в массу исследуемой частицы. Сейчас нам важно разобраться с ролью локального электромагнитного поля, а также с силами инерции, которые мы называли в первой главе полевыми. С силами инерции, вызванными произвольным движением заряженного источника.

С учетом локального взаимодействия в механически инерциальной системе отсчета полевое уравнение движения принимает вид:

$$\frac{d}{dt} \left( \left( m - \frac{W_i}{c^2} \right) \mathbf{u} \right) = -\nabla W_i \cdot \left( 1 + \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} \right) - \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{W_i \mathbf{v}}{c^2} \right) - \frac{1}{c^2} \mathbf{u} \times (\mathbf{v} \times \nabla W_i) \quad (4.14.8)$$

Как мы уже знаем (выражение 4.2.12), сумму двух компонент массы в левой части уравнения движения можно представить в виде массы, зависящей от скорости по релятивистскому закону:

$$\frac{d}{dt} \left( \left( m - \frac{W_i}{c^2} \right) \mathbf{u} \right) = \frac{d}{dt} (M(\mathbf{u})\mathbf{u}) = \frac{d}{dt} \left( \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \mathbf{u} \right) \quad (4.14.9)$$

Это вносит в классическую силу Лоренца часть релятивистских поправок. Далее нам осталось представить величину  $W_i$  в виде произведения заряда исследуемой частицы  $q$  на скалярный потенциал  $\phi$ , созданный движущимся источником:

$$W_l = q\varphi \quad (4.14.10)$$

А также ввести векторный потенциал:

$$\mathbf{A} = \frac{q\mathbf{v}}{c} \quad (4.14.11)$$

Последнее слагаемое в уравнении (4.14.8) можно преобразовать по формуле:

$$\mathbf{v} \times \nabla W_l = -\nabla \times (W_l \mathbf{v}) \quad (4.14.12)$$

После замены обозначений полевое уравнение движения (4.14.8) принимает окончательный вид:

$$\frac{d}{dt} (M(\mathbf{u})\mathbf{u}) = -q\nabla\varphi \cdot \left( 1 + \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} \right) - \frac{q}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \frac{q}{c} \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \quad (4.14.13)$$

Это и есть выражение для силы Лоренца, возникающее в полевой физике.

#### ***4.15. Экспериментальный метод и математический формализм — еще один урок истории***

В полученном нами уравнении есть все! Блеск и нищета классической электродинамики и теории относительности. Сущность всей концепции полевой среды и динамической массы. Итог пути, начатого нами в первой главе. Право сделать перерыв после длительного марафона к континенту полевой физики и по его просторам. Ощущение переломного момента в нашем путешествии, связанное с завершением первого этапа. **И** уверенность в твердости почвы под ногами.

Перепишем полевое уравнение движения частицы регистрации под влиянием произвольно движущегося заряда-источника еще раз.

##### ***Полевая сила Лоренца***

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \left( m - \frac{q\varphi}{c^2} \right) \mathbf{u} \right) &= \frac{d}{dt} \left( \frac{M_0}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \mathbf{u} \right) = \\ &= \mathbf{F} = -q\nabla\varphi \cdot \left( 1 + \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} \right) - \frac{q}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} + \frac{q}{c} \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) \end{aligned} \quad (4.15.1)$$

Да, классическая сила Лоренца в этом уравнении вполне узнается. В правой части мы видим все знакомые из электродинамики слагаемые. Например, силу в магнитном поле  $\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}$  :

$$\mathbf{F}_m = \frac{q}{c} \mathbf{u} \times (\nabla \times \mathbf{A}) = \frac{q}{c} \mathbf{u} \times \mathbf{B} \quad (4.15.2)$$

Вихревое электрическое поле:

$$\mathbf{F}_r = -\frac{q}{c} \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial t} \quad (4.15.3)$$

Электростатическую силу:

$$\mathbf{F}_0 = -q \nabla \phi \quad (4.15.4)$$

А также соответствующую релятивистскому формализму левую часть уравнения движения с зависящей от скорости массой.

Однако в этом уравнении видно и нечто иное. То самое, чего не хватает в классической электродинамике. Потерянное слагаемое, благодаря которому полевая сила Лоренца инвариантна к переходу в любую другую систему отсчета, а обычная сила Лоренца – нет. Это перекрестная поправка к электростатической силе:

$$\mathbf{F}_c = -q \nabla \phi \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} = \mathbf{F}_0 \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} \quad (4.15.5)$$

Именно из-за отсутствия этого слагаемого в формуле силы Лоренца вот уже более ста лет физика испытывает заметные затруднения. Вместо очевидных преобразований Галилея приходится использовать искусственные преобразования Лоренца. Возникает иллюзия сокращения длин и замедления времени при переходе из одной системы отсчета в другую. Существуют представления о неевклидовости пространства и много других неадекватных представлений. Просто страшно подумать о роли этого неприметного слагаемого в истории физики и всего нашего мировоззрения!

В физике устоялось мнение, что электродинамика Максвелла абсолютно верна и хорошо согласуется с экспериментом, а также не требует исправлений, связанных с теорией относительности. Теперь мы понимаем почему. Эта гармония является следствием того, что уравнения Максвелла адекватно отражают динамику полевой среды, а также неявным образом учитывают полевую массу и связанные с ней полевые силы инерции. Этими силами являются магнитные и вихревые электрические поля. А учет полевой массы, в свою очередь, эквивалентен форму-

лам релятивистской механики. Вот почему между электродинамикой Максвелла и столь неоднозначной теорией относительности возникло такое поразительное соответствие!

Однако в эту гармонию не вписалась ньютоновская механика, в результате чего ее пришлось модернизировать. И именно здесь случился тот самый логический просчет, который совершили все без исключения ученые того времени. Потому что электродинамика Максвелла состоит, вообще говоря, из двух разных частей. Во-первых, самой системы уравнений поля, которая оказалась справедливой, в том числе, и в полевой физике. А также силы, которая действует на заряды под влиянием этого поля, – силы Лоренца. Оттолкнувшись от справедливости уравнений Максвелла, Эйнштейн и его современники автоматически посчитали абсолютно верным и выражение для силы Лоренца, изменив под него законы классической механики и представления о пространстве и времени. Но все оказалось как раз наоборот! Причина нестыковки электродинамики и механики крылась именно в силе Лоренца, то есть в электродинамике, а не в механике!

Неутишенное в классической силе Лоренца слагаемое восстанавливает нарушенную гармонию. В полевом варианте силы Лоренца мы легко узнаем полный набор сил инерции, обусловленных переменной добавкой к массе, которая возникает за счет локального электрического поля. Четко видна сила Кориолиса – магнитная сила. Обычные силы инерции, связанные с ускоренным движением или вращением, и известные под видом вихревого электрического поля. А также потерянная в классической электродинамике центробежная сила! Сила, сонаправленная с электростатическим слагаемым и корректирующая его величину в виде небольшой поправки, имеющей порядок отношения произведения скоростей движущихся частиц к квадрату скорости света.

В свое время выражение для силы, действующей со стороны движущегося источника, было причиной продолжительных дебатов. На эту тему сломано множество копий, и в истории физики можно найти немало различных вариантов поправок, дополняющих электростатическое слагаемое в случае подвижного источника. Дошедшее до нас выражение силы Лоренца во многом является эмпирическим и содержит два основных экспериментально обнаруженных слагаемых – магнитную силу и вихревое электрическое поле.

Однако следует признать, что вплоть до появления полевой физики так и не возникло ни одной четкой физической концепции, позволяющей объективно получить выражение для силы, действующей со стороны движущегося источника. И теоретические, и экспериментальные работы показывали, что в случае покоящегося заряда сила имеет простой вид кулоновского закона обратных квадратов. Но когда источник дви-

жется, то должны возникать поправки, зависящие от скорости движения источника, а также от скорости движения исследуемой частицы. Однако все выражения для силы, возникавшие на протяжении как XIX, так и XX веков, были либо эмпирическими, как и общепринятый вариант силы Лоренца, либо являлись результатами расплывчатых гипотетических предположений, либо следствием простого подбора.

Только в полевой физике впервые стала понятна истинная природа появления поправок к силе, действующей со стороны движущегося источника. И это понимание оказалось возможным только благодаря осознанию динамической природы массы. Ведь в случае движения источника возникает дополнительное изменение величины полевой связи между частицами, которое приводит к изменению их полевых масс. А изменение масс выражается в появлении соответствующих сил инерции, благодаря чему поправки к статической силе в случае движущегося источника в полевой физике перестают носить туманный характер, выявленный эмпирически. Их структура в точности соответствует известному набору трех сил инерции – центробежной силе, силе Кориолиса и обычной силе инерции. В результате этого структура силы, действующей со стороны движущегося заряда, впервые приобрела четкую логическую систему, которая, в свою очередь, выявила все недостатки эмпирического подхода.

И снова мы сталкиваемся с тем, что надежно проверенные в многочисленных экспериментах формулы, насчитывающие более чем вековую историю, содержат серьезные недочеты. Формулы, в справедливости которых долгое время никто не имел причин сомневаться, причем эта уверенность была создана именно на основании экспериментальной базы. И это обстоятельство вновь возвращает нас к философским рассуждениям о переоцененной роли экспериментального метода в современном физическом мировоззрении. Ведь слепая вера в видимость экспериментальных данных снова стала препятствием к установлению истинной картины устройства Мира.

На этот раз подвох оказался в следующем. При изучении электромагнитных эффектов в течение XIX века достаточно легко удалось эмпирически обнаружить и изучить свойства двух из трех поправок к электростатической силе, возникающих в результате движения зарядов. Этими дополнительными силами оказались магнитная сила и вихревое электрическое поле, соответствующие силе Кориолиса и обычным силам инерции. Их обнаружили в многочисленных экспериментах, потому что обе эти поправки имели четко выраженный характер действия. Однако третья поправка, соответствующая центробежной силе инерции, полностью выпала из поля зрения экспериментаторов. Это случилось из-за того, что направление ее действия всегда совпадает с направлением

ем гораздо более интенсивной электростатической силы и просто теряется на ее фоне!

Без наличия исходных представлений о том, где нужно искать, обнаружить подобные скрытые эффекты случайным образом оказывается достаточно сложно. Поэтому представления о наличии искажения еще и самого электростатического слагаемого помимо действия магнитной силы и вихревого электрического поля появились уже гораздо позже и получили свою интерпретацию в виде релятивистских поправок. Этот пример очередного недочета экспериментального метода оказался связанным с тем, что даже в многочисленных опытах один из эффектов может просто потеряться на фоне другого, если характер их действия является похожим. И при этом отсутствует, прежде всего, физическое понимание внутренних механизмов исследуемых экспериментально явлений.

Оказия с силой Лоренца бросает серьезную тень не только на экспериментальный метод, но и на весь современный математический формализм. Вполне можно понять то обстоятельство, что по указанным выше причинам одно из слагаемых силы, действующей со стороны движущегося заряда, ускользнуло от внимания экспериментаторов. Но гораздо неприятнее выглядит то, что подобная ошибка оказалась прочно зацементированной методами теоретической физики в фундамент всех современных научных представлений и надежно сохранилась вплоть до наших дней. Впрочем, благодаря этой причине она вообще могла бы просуществовать сколь угодно долго.

В первую очередь речь идет о принципе наименьшего действия. За последнее столетие устоялось мнение, что с помощью этого принципа чисто умозрительно, без понимания природы и механизмов тех или иных явлений, можно получить их закономерности исходя из самых общих соображений. Несмотря на всю экстравагантность и мистическую подоплеку такого подхода, а следовательно, его красоту, привлекательность и популярность, он имеет один существенный недостаток. Этот недостаток состоит в том, что не существует никакого объективного критерия или алгоритма, позволяющего адекватно получать вид исходной функции Лагранжа в том или ином физическом случае. Это сводит на нет все возможные достоинства данного метода.

Каждый раз выражение для функции Лагранжа буквально «высасывается из пальца». В случае классической механики оно еще наделено неким смыслом, представляя собой разность кинетической и потенциальной энергий, которая и должна минимизироваться. Однако это приводит к классическому уравнению движения, которое требует релятивистских корректировок уже в рамках традиционных физических представ-

лений, не говоря о переменных полевой физики. В электродинамике поиск выражения для действия становится еще туманнее, в результате чего одни авторы даже не пытаются его обосновывать и просто постулируют нужный вид, а другие делают слабую апелляцию к обобщению экспериментальных данных. Хотя экспериментальные данные скорее соответствуют тому или иному характеру уравнения движения, который и призван определяться принципом наименьшего действия, а не виду выражения для функции Лагранжа.

Другими словами, принцип наименьшего действия – фактически основной принцип современной теоретической физики – является, по сути, не более чем простым методом подбора. Своеобразной «подгонкой» красивой математики под уже известный результат, что создает иллюзию непогрешимости и абсолютной математической строгости подобных результатов. Так или иначе, но не только уравнения движения классической механики и электродинамики, но и уравнения общей теории относительности и квантовой механики были получены с помощью принципа наименьшего действия уже после того, как приобрели известный вид в процессе длительного поиска и исследований посредством прямого физического подхода.

Принцип наименьшего действия вполне мог бы выглядеть безобидной шалостью, позволяющей упрощать получение тех или иных зависимостей в рамках уже сформированных физических представлений. Однако на примере силы Лоренца нам становится понятно, что эта «шалость» не столь уж безобидна. Потому что неполный вид классической силы Лоренца не просто был получен эмпирически, но и впоследствии надежно подтвержден абсолютно «строгим» математическим выводом на основании принципа наименьшего действия! Правда, вся абсолютная математическая «строгость» свелась не более чем к решению задачи о получении уже известного результата.

Примечательно, что методы теоретической физики, построенные на применении универсального принципа наименьшего действия и наиболее общих логических предпосылок, привели не к обнаружению эмпирической ошибки, а напротив, к потаканию ей! Мы теперь даже хорошо понимаем, почему это произошло. Ведь выражение для действия в электромагнитном поле составлялось исходя из представлений о сохранении релятивистской инвариантности, которая, в свою очередь, родилась из необходимости согласовать неполную силу Лоренца с остальной физикой, и является продуктом неполной электродинамики. В результате круг замкнулся!

Как мы уже неоднократно отмечали, любой математической формализм приводит к абсолютно строгому «доказательству» только тех «истин», которые уже заложены в его основу в качестве соответствующих



аксиом. Поэтому принцип наименьшего действия приводит к получению не полноценной силы Лоренца, а неполной, так как функция действия строится на основании предпосылок, следующих из уже известного вида неполного выражения для силы.

И разорвать подобный замкнутый круг оказывается практически невозможным. Его пленниками оказались целые поколения ученых, вынужденные всю жизнь бродить по образовавшемуся лабиринту. С одной стороны, электродинамика и теория относительности хорошо согласуются с экспериментом, что в рамках современного научного мировоззрения уже является непреодолимым аргументом. С другой стороны, существует стройная теоретическая физика, приводящая к нужным результатам, с чем также сложно спорить. В таких условиях просто нереально сформировать иной образ мышления и суметь подняться над этим лабиринтом, в результате чего становится понятной его неприглядная истинная суть.

Оказывается, что все так называемое хорошо согласование с экспериментом – видимость, иллюзия, мираж, которого на самом деле нет! Мы сами создали его. Это совпадение достигается благодаря тому, что все реальные результаты экспериментов искажаются благодаря пересчету исходных данных на основании релятивистских формул. В итоге полученные цифры начинают совпадать с неполной электродинамикой. Хотя в большинстве случаев релятивистские поправки столь малы, что даже этого делать не приходится и все работает и так. А вся математическая «строгость» теоретической физики – не более чем тавтология. Строгое математическое доказательство исходных аксиом, положенных в основу этих математических моделей.

Как получилось, что самая объективная наука в мире – физика, освободившись от религиозно-философских догматов и мистицизма средневековья, сама загнала себя в тупик своих же собственных догматов и предрассудков? С одной стороны мы наблюдаем слепую веру в эксперимент и обожествление его видимых результатов. Веру, породившую множество «фундаментальных» принципов – научных догматов, оказавшихся всего лишь локальными или видимыми правилами. Принцип эквивалентности, принцип относительности, выделенное положение инерциальных систем отсчета, понятие «врожденной» массы, корпускулярно-волновой дуализм – это лишь некоторые из современных научных догматов, считающихся непреложными «истинами». С другой стороны мы видим преклонение перед математическим формализмом, позволяющим зацементировать эти догматы на века, путем иллюзии «строгих» математических «доказательств». И создать своеобразных идолов, перед которыми должны преклониться любая новая физическая концепция и любой исследователь.

Все это происходит на фоне отказа от наглядности физических представлений и разумной всеры в познаваемость причин физических явлений, их соответствия здравому смыслу и естественной интуиции. Подобный отказ происходит в пользу абстрактных и формальных математических моделей, многие из которых невозможно даже представить в человеческом воображении, как скажем, четырехмерный куб. В пользу обросших мистикой понятий и представлений, вроде виртуальных частиц, геометризованных взаимодействий, всемогущей энергии и тому подобного. В пользу методологии, граничащей с элементарным перебором вариантов и обычной «подгонкой» формул под желаемые результаты. Все это кажется более чем странным, и наверняка будет очень сильно удивлять наших потомков. Как сегодня нас удивляют представления «физики» Аристотеля или геоцентрической системы Мира Птолемея.

#### **4.16. Релятивистские поправки и сложение скоростей**

Сложно сказать, что является более важным в рамках полученных нами результатов. Сами формулы и уравнения или их логическая и философская подоплека. Большинство из обозначенных проблем мы обнаружили еще в первой главе, когда пытались получить силу Лоренца вообще из чисто механических соображений. Хотя тогда у нас еще не было всех необходимых элементов, позволяющих объективно доказать справедливость подобного подхода, и мы формулировали лишь отдельные мысли. Теперь мы вернулись к ним на более глубоком и основательном уровне.

Как нам теперь становится понятно, причин потери центробежной силы в классической электродинамике немало, и они довольно серьезные. Обсудив недостатки эмпирического подхода и роль математического формализма, нам следует отметить и еще одно обстоятельство. Дело в том, что перекрестное произведение скоростей частицы-источника и исследуемой частицы  $\mathbf{v} \times \mathbf{v}'$  просто не вписывается в логику классической электродинамики!

Современная теория поля уходит от рассмотрения прямого взаимодействия частицы на частицу посредством реальной полевой среды. Она в основном стремится к реализации математического приема разделения переменных, согласно которому напряженности полей зависят только от частицы источника, но никак не связаны с исследуемой частицей и характером ее движения. Очевидным исключением из этого видения является магнитная сила, потребовавшая введения дополнительного поля. А еще одного подобного исключения в виде центробежной силы классическая электродинамика просто не выдерживает! В рамках логи-

ки классической электродинамики еще можно как-то понять наличие дополнительной силы, пропорциональной скорости движения частицы регистрации. Но зависимость электростатической силы от характера движения исследуемой частицы полностью разрушает представления о том, что созданное источником поле никак не зависит от частицы регистрации.

В рамках классической электродинамики эту проблему сложно решить даже с помощью введения еще одного дополнительного поля, подобно тому, как магнитное поле вводится для описания силы Кориолиса. Хотя время от времени можно встретить идеи о необходимости существования так называемого «продольного магнитного поля». Поля, которое приводит к появлению силы, действующей не перпендикулярно скорости частицы регистрации, а параллельно ей. Зная теперь вид этой силы, мы можем записать выражение для такого «продольного магнитного поля»:

$$\mathbf{F}_c = -q \nabla \phi \frac{\mathbf{uv}}{c^2} = -\frac{q}{c} \nabla \left( \frac{\phi \mathbf{uv}}{c} \right) = -\frac{q}{c} \nabla (\mathbf{uA}) \quad (4.16.1)$$

С одной стороны, эта сила, также как и магнитная сила, определяется скоростью частицы регистрации и производной векторного потенциала. Но с другой стороны, мы не можем представить ее в виде произведения скорости исследуемой частицы на некое поле, зависящее только от источника. Эта сила определяется градиентом проекции векторного потенциала на направление движения исследуемой частицы, а следовательно, такое «продольное магнитное поле» будет зависеть от направления движения частицы регистрации.

Получается, что как ни крути, но встроить центробежную силу в классическую электродинамику не получается. Для корректного решения этой проблемы необходимо пересмотреть само понятие поля и полевого взаимодействия, что мы сделали в рамках полевой физики. Подход математических полей, задающих не зависящую от частицы регистрации напряженность поля в некоей точке пространства, является не только неверным логически, но даже не позволяющим формально согласовать всю схему. И это еще один пример, приводящий к продолжению разговора о негативном влиянии формальных математических моделей на адекватное описание физической реальности.

В полевой среде обе взаимодействующие частицы в равной мере влияют на общую динамику системы. Мы лишь условно называем одну из них источником, а другую – частицей регистрации, которая движется в поле источника. И представить такое симметричное взаимодействие двух заряженных частиц в виде влияния поля одной частицы на другую,

вообще говоря, невозможно. Что мы и доказали, выведя полную силу Лоренца из полевого уравнения движения.

В современной физике возникло искусственное и причудливое решение этой проблемы, известное как специальная теория относительности. Как мы поняли еще в первой главе, центробежная сила все же присутствует в современной электродинамике. Но не в явном виде, как в полевом уравнении движения, а в завуалированном. И проявляется она в том, что в случае движения источника потенциал  $\phi$  изменяется на релятивистский множитель. Это и служит корректировкой к электростатической силе. А работа этого релятивистского множителя во многом аналогична тому, как зависимость массы от скорости заменяет дополнительные силы инерции. (Связь аналогична выражению 4.2.12, учитывая, что масса и потенциал пропорциональны друг другу).

Мы можем проиллюстрировать это обстоятельство и немного по-другому. Поправка к электростатической силе:

$$1 + \frac{\mathbf{u}\mathbf{v}}{c^2} \quad (4.16.2)$$

очевидно, напоминает еще одну известную релятивистскую формулу. А именно формулу сложения скоростей. Ведь если мы разделим полевое уравнение движения на этот множитель, то вернемся к классическому виду силы Лоренца! Электростатическая сила примет обычный вид без поправки, зато все остальные члены, зависящие от скоростей, приобретут коэффициент:

$$\frac{1}{1 + \mathbf{u}\mathbf{v}/c^2} \quad (4.16.3)$$

А теперь вспомним, что  $\mathbf{v}$  – скорость движения источника относительно лабораторной системы отсчета. А в качестве  $\mathbf{v}' = -\mathbf{v}$  мы можем обозначить скорость движения лаборатории относительно частицы-источника или системы поля. При переходе из лабораторной системы отсчета в систему поля скорость движения частицы регистрации описывалась бы согласно преобразованиям Галилея обычной разностью скоростей:

$$\mathbf{u}' = \mathbf{u} - \mathbf{v} \quad (4.16.4)$$

или при обратном переходе в лабораторную систему:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}' + \mathbf{v} = \mathbf{u}' - \mathbf{v}' \quad (4.16.5)$$

Но с учетом поправочного коэффициента формула перехода приобретает вид:

$$\mathbf{u} = \frac{\mathbf{u}' - \mathbf{v}'}{1 - \mathbf{u}'\mathbf{v}'/c^2} \quad (4.16.6)$$

А это есть не что иное, как релятивистская формула сложения скоростей!

Таким образом, релятивистские формулы «съедают» дополнительный коэффициент у электростатической силы, позволяя силе Лоренца существовать в том виде, в котором она известна в современной физике. А при переходе в другую систему отсчета благодаря наличию знаменателя в релятивистском законе сложения скоростей этот коэффициент снова появляется, обеспечивая согласование результатов! Подобным образом релятивистские поправки позволяют спасти ситуацию в условиях неполной классической силы Лоренца.

Мы также можем проиллюстрировать работу дополнительного слагаемого в полевой силе Лоренца на примере той самой злосчастной магнитной силы. Проблема классической электродинамики в этом отношении состоит в следующем. Пусть есть два покоящихся заряда, например электрона. Величина их взаимодействия описывается законом Кулона и в стандартных обозначениях равна:

$$\mathbf{F}_0 = e\mathbf{E} = \frac{e^2}{R^3} \mathbf{R} \quad (4.16.7)$$

Но если теперь мы рассматриваем это взаимодействие из движущейся системы отсчета (для простоты равномерно и прямолинейно), то скорости заряженных частиц в этой системе будут равны и сонаправлены друг другу (рисунок 4.16.1). Мы обозначим их величиной  $\mathbf{u}$ . К кулоновскому взаимодействию в этом случае добавляется еще и магнитная сила, зависящая от абсолютных скоростей частиц в данной системе отсчета:

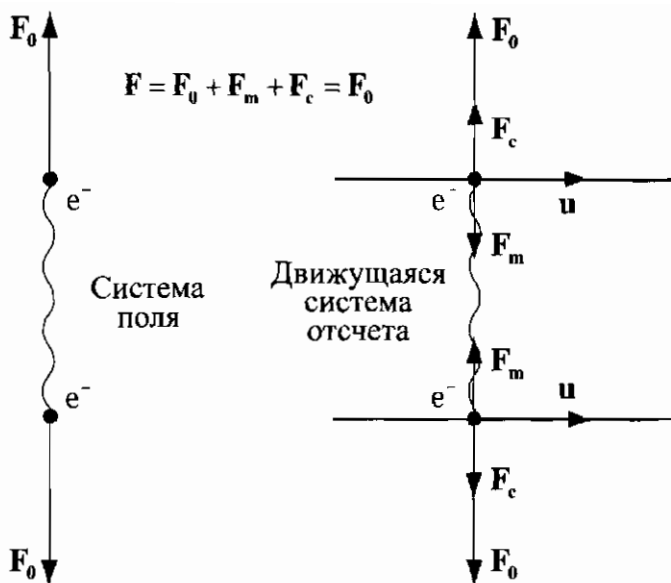
$$\mathbf{F}_m = \frac{e}{c} \mathbf{u} \times \mathbf{B} = \frac{e}{c} \mathbf{u} \times (\nabla \times \frac{e\mathbf{u}}{Rc}) = -\frac{e^2 \mathbf{R}}{R^3} \frac{u^2}{c^2} = -\frac{u^2}{c^2} \mathbf{F}_0 \quad (4.16.8)$$

В итоге полная сила становится иной:

$$\mathbf{F}' = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_m = \mathbf{F}_0 (1 - u^2/c^2) \quad (4.16.9)$$

и оказывается зависящей от выбора системы отсчета. Получается, что величина взаимодействия частиц и соотношения между относительными величинами зависят от того, откуда ведется наблюдение!

В теории относительности эта проблема решается путем преобразований Лоренца. А именно за счет роста электрического поля в движущей-



**Рисунок 4.16.1.** В покоящейся и движущейся системах отсчета величина силы взаимодействия одинакова.

ся системе отсчета, которое должно в точности компенсировать появление магнитной силы. Во-первых, согласно релятивистским преобразованиям в движущейся системе отсчета:

$$\mathbf{E}' = \frac{\mathbf{E}}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (4.16.10)$$

Во-вторых, в этой системе происходит замедление времени:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \quad (4.16.11)$$

В результате величина ускорения частицы в движущейся системе отсчета (а точнее, изменение импульса) начинает совпадать с аналогичной величиной в покоящейся системе:

$$\begin{aligned} \Delta \mathbf{P}' &= \mathbf{F}' \cdot \Delta t' = e\mathbf{E}' \cdot \Delta t' \cdot (1-u^2/c^2) = \\ &= \frac{e\mathbf{E}}{\sqrt{1-u^2/c^2}} \frac{\Delta t}{\sqrt{1-u^2/c^2}} (1-u^2/c^2) = \mathbf{F}_0 \cdot \Delta t = \Delta \mathbf{P} \end{aligned} \quad (4.16.12)$$

В полевой физике суть остается примерно такой же. Только теперь появление магнитной силы компенсируется не искусственными преобразованиями Лоренца, а естественным образом, с помощью потерянного слагаемого в силе Лоренца. Так взаимодействие двух движущихся параллельно друг другу электронов имеет вид:

$$\mathbf{F}' = e\mathbf{E} \cdot \left(1 + \frac{u^2}{c^2}\right) + \frac{e}{c} \mathbf{u} \times \mathbf{B} = e\mathbf{E} \cdot \left(1 + \frac{u^2}{c^2}\right) - e\mathbf{E} \frac{u^2}{c^2} = e\mathbf{E} = \mathbf{F}_0 \quad (4.16.13)$$

Магнитная сила действительно возникает, как и в классической электродинамике. Только теперь ее величина в точности равна поправке, на которую возрастает кулоновское поле! Поэтому в любой системе отсчета эти два слагаемых будут компенсировать друг друга. Это не удивительно, ведь они являются двумя частями одной и той же пространственной производной (выражение 4.14.2). А эта производная в данном случае равна нулю, так как линия взаимодействия – направление градиента  $W$  или величины напряженности поля  $\mathbf{E}$  – перпендикулярна скоростям частиц.

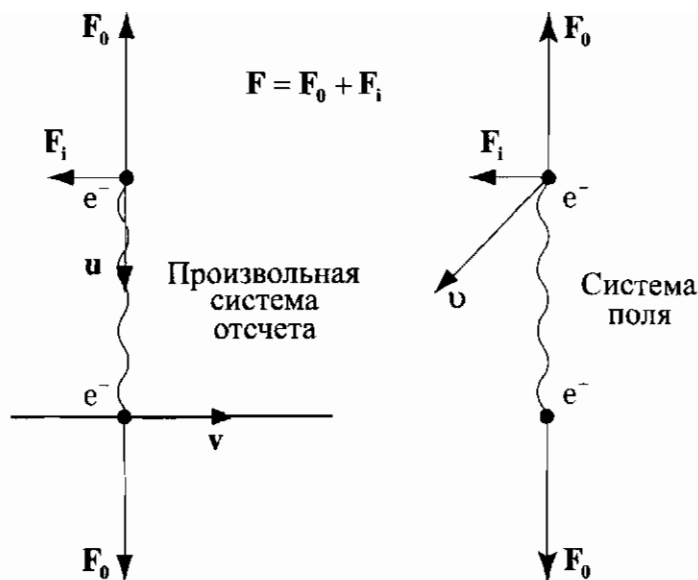
Но пусть теперь в этой системе отсчета частицы движутся не параллельно, а перпендикулярно друг другу, с постоянными скоростями  $\mathbf{v}$  и  $\mathbf{u}$  (рисунок 4.16.2). Такое движение уже нельзя исключить полностью путем перехода в другую систему отсчета. Можно только вернуться в систему поля, в которой вторая частица будет двигаться относительно первой. Но как мы уже знаем, в процессе такого движения компонента силы, сонаправленная со скоростью второй частицы, будет ослабляться.

В системе поля полная скорость движения второй частицы относительно первой будет равна  $\mathbf{u} = \mathbf{u} - \mathbf{v}$ . А величина силы:

$$\begin{aligned} \mathbf{F} &= \mathbf{F}_0 - \frac{1}{c^2} \mathbf{v}(\mathbf{v}\mathbf{F}_0) = \mathbf{F}_0 - \frac{1}{c^2} (\mathbf{u} - \mathbf{v})((\mathbf{u} - \mathbf{v})\mathbf{F}_0) = \\ &= \mathbf{F}_0 - \frac{1}{c^2} \mathbf{u}(\mathbf{u}\mathbf{F}_0) + \frac{1}{c^2} \mathbf{v}(\mathbf{u}\mathbf{F}_0) \end{aligned} \quad (4.16.14)$$

В этом выражении мы учли, что скорость движения первой частицы  $\mathbf{v}$  перпендикулярна линии взаимодействия, а следовательно  $\mathbf{v}\mathbf{F}_0 = 0$ . Из оставшихся двух поправок к электростатической силе первая зависит только от  $u^2$  и уходит в левую часть уравнения движения как составляющая слагаемого  $d\mathbf{M}\mathbf{u}/dt$ . А вторая как раз и представляет собой дополнительную силу  $\mathbf{F}_1$ .

Этот же результат мы получим и в системе отсчета, в которой обе частицы движутся. Потому что при взаимоперпендикулярном движении по-



**Рисунок 4.16.2.** При взаимоперпендикулярном движении частиц наличие сил инерции исключить невозможно. В этом случае инерциальной системы отсчета не существует в принципе.

правка к электростатической силе  $\mathbf{u}\mathbf{v}/c^2}$  равна нулю и уже не компенсирует магнитную силу! Поэтому величина силы в этом случае будет отличаться от электростатической на такую же величину:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{F} &= e\mathbf{E} + \frac{e}{c}\mathbf{u} \times \mathbf{B} = e\mathbf{E} + \frac{e}{c}\mathbf{u} \times (\nabla \times \frac{e\mathbf{v}}{Rc}) = \\
 &= e\mathbf{E} + \frac{e}{c^2}\mathbf{v} \cdot (\frac{e\mathbf{R}}{R^3} \cdot \mathbf{u}) = \mathbf{F}_0 + \frac{1}{c^2}\mathbf{v}(\mathbf{u}\mathbf{F}_0) = \mathbf{F}_0 + \mathbf{F}_i
 \end{aligned}
 \tag{4.16.15}$$

В этом и состоит суть решения проблемы относительности в полевой физике. Соотношения между относительными величинами, характеризующими динамику системы, остаются неизменными независимо от того, в какой системе отсчета они записаны. Эти взаимосвязи являются едиными для любой системы отсчета, в том числе неинерциальной. Однако внешний вид уравнения движения в каждой системе отсчета свой. В зависимости от характера движения выбранной системы отсчета в ней возникают одни силы инерции и пропадают другие. Но связь между относительными динамическими характеристиками физической системы остается неизменной.



Пример со взаимноперпендикулярным движением частиц создал много проблем в классической электродинамике. Это связано с тем, что он представляет собой случай двухкомпонентной полевой среды, в которой каждая из компонент (частиц) движется неодинаково. В этих условиях в принципе не существует инерциальной системы отсчета в классическом смысле этого слова. В какую бы систему мы не перешли, всегда будет присутствовать та или иная дополнительная сила, похожая на полученную нами выше. Она представляет собой не что иное, как полевую силу инерции:

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_i &= \frac{1}{c^2} \mathbf{v}(\mathbf{u}\mathbf{F}_0) = -\frac{1}{c^2} \mathbf{v}(\mathbf{u}\nabla W) = \\ &= -\frac{1}{c^2} (\mathbf{u}\nabla)(W\mathbf{v}) = -\frac{1}{c^2} \frac{dW\mathbf{v}}{dt} = \frac{d\mu\mathbf{v}}{dt} \end{aligned} \quad (4.16.16)$$

А наличие силы инерции в инерциальной системе отсчета является абсурдным как с точки зрения классической, так и современной физики. В этих концепциях отсутствуют представления о силах инерции второго рода, связанных не с неравномерным движением, а с переменным характером массы. Поэтому в данном примере происходит нарушение равенства силы действия и противодействия, не сохраняется импульс. Решение современной физики также носит формальный характер и состоит в наделении импульсом самого поля. Это, вообще говоря, некорректно, потому что импульс — характеристика движения материальных частиц, а не полевой среды. Но как несложно видеть, изменение такого импульса поля  $\mathbf{P}$  (с обратным знаком) как раз и представляет собой неучтенную полевую силу инерции, связанную с движением источника локального поля:

$$\mathbf{P} = \frac{e}{c} \mathbf{A} = \frac{e}{c} \frac{\Phi\mathbf{v}}{c} = \frac{W}{c^2} \mathbf{v} = -\mu\mathbf{v} \quad (4.16.17)$$

а

$$\frac{d\mathbf{P}}{dt} = -\frac{d\mu\mathbf{v}}{dt} = -\mathbf{F}_i \quad (4.16.18)$$

Вот как просто все оказалось! И никаких преобразований Лоренца. Никакого замедления времени. Никакого сокращения длин. И никаких искусственных изобретений, вроде инерциальных систем отсчета или импульса поля. Все дело в одной маленькой поправке — полевой центробежной силе, естественным образом корректирующей магнитную силу при переходе из одной системы отсчета в другую!

#### 4.17. Принцип относительности или крах инерциальных систем отсчета

Мы решили проблему относительности! Конечно же, все оказалось несколько сложнее, чем представлялось нам в начале, в первой главе. Хотя по-другому быть и не могло. Ведь мы разгадали величайшую загадку физики. Загадку, создавшую жуткую путаницу в науке с конца XIX века и вплоть до наших дней.

Теперь можно подвести некий итог всему сказанному выше. А именно, собрать воедино весь алгоритм, позволяющий на основании полевой механики описать произвольное движение заряженных частиц в любой системе отсчета. Сделаем это.

В отличие от классической и современной физики мы больше не используем понятие инерциальной системы отсчета. А рассматриваем совершенно произвольную систему, которая может двигаться как угодно. В этой системе отсчета нас интересует описание движения исследуемой частицы, скорость которой равна  $\mathbf{u}$ . При этом исследуемая частица взаимодействует с другой частицей, называемой источником, которая движется в данной системе отсчета со скоростью  $\mathbf{v}$ .

Полевое уравнение движения исследуемой частицы является инвариантным и имеет вид:

$$\frac{1}{c^2} \frac{dW(\mathbf{u} - \mathbf{v})}{dt} = \nabla W \quad (4.17.1)$$

Функция плотности полевой среды  $W$  в окрестностях частицы регистрации определяется положением обеих частиц, а точнее их относительным расстоянием, и несет логический смысл функции полевой связи. Ее классическим аналогом является потенциальная энергия взаимодействия или скалярный потенциал.

Часто оказывается, что источников полей несколько, и все они движутся различным образом. Это приводит к образованию многокомпонентной полевой среды, которую, вообще говоря, нельзя разделить на отдельные попарные взаимодействия. В этом случае движение становится квантовым и требует отдельного изучения. Но если же компоненты полевой среды являются независимыми (по крайней мере, в первом приближении), то для каждой компоненты мы можем записать аналогичное полевое уравнение движения:

$$\frac{1}{c^2} \frac{dW_k \mathbf{u}}{dt} = \nabla W_k + \frac{1}{c^2} \frac{dW_k \mathbf{v}_k}{dt} \quad (4.17.2)$$

где  $W_k$  – функция полевой связи исследуемой частицы с каждым отдельным источником, а  $\mathbf{v}_k$  – его скорость в данной системе отсчета.

Движение исследуемой частицы в данном случае определяется совокупностью всех таких уравнений:

$$\frac{1}{c^2} \sum_k \frac{dW_k \mathbf{u}}{dt} = \sum_k \nabla W_k + \frac{1}{c^2} \sum_k \frac{dW_k \mathbf{v}_k}{dt} \quad (4.17.3)$$

В этом уравнении мы видим полную массу исследуемой частицы  $M$ :

$$M = - \sum_k \frac{W_k}{c^2} = \sum_k \mu_k \quad (4.17.4)$$

Полную силу  $\mathbf{F}$ , действующую со стороны всех полей:

$$\mathbf{F} = - \sum_k \nabla W_k = \sum_k \mathbf{F}_k \quad (4.17.5)$$

И наконец, набор сил инерции для каждой компоненты полевой среды, которые выражаются последним слагаемым в правой части. В итоге мы получаем полевое уравнение движения для многокомпонентной полевой среды, описывающей движение исследуемой частицы под влиянием большого количества произвольно движущихся источников:

*Полевое уравнение движения для многокомпонентной полевой среды*

$$\frac{dM\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} + \sum_k \frac{d\mu_k \mathbf{v}_k}{dt} \quad (4.17.6)$$

Это уравнение ярко демонстрирует суть всей полевой механики. И ее принципиальное отличие как от классической, так и от релятивистской физики. Полевое уравнение движения приобретает наиболее простой вид, идентичный второму закону Ньютона, только при отсутствии всех полевых сил инерции:

$$\frac{dM\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{F} \quad (4.17.7)$$

Вообще говоря, это оказывается возможным при выполнении условия  $\mu_k \mathbf{v}_k = \text{const}$  для всех компонент полевой среды. Однако на практике, учитывая независимость изменения величины полевой массы и скорости частицы-источника относительно произвольно выбранной системы отсчета, дополнительными силами инерции можно пренебречь только в

двух случаях. Первым является классическое приближение, в рамках которого считается, что все  $\mu_k = 0$ . Это условие находится в пределах погрешности экспериментов и является вполне применимым для более слабого гравитационного поля, но уже никак не подходит для электричества. Это и привело к возникновению проблем классической механики по мере развития электромагнетизма.

Вторым случаем является выполнение условия  $\mathbf{v}_k = 0$ , задающее выделенную систему отсчета. В этой системе отсчета уравнение движения приобретает наиболее простой вид второго закона Ньютона. Фактически это условие приводит нас к системе поля, которая в классическом понимании как раз и несет смысл инерциальной системы отсчета. Но в случае подвижного источника полевое уравнение движения уже не совпадает со вторым законом Ньютона, и в нем появляются дополнительные слагаемые. Эти слагаемые имеют структуру сил инерции и определяются скоростью движения данного источника, а также величиной полевой массы, обусловленной взаимодействием с ним исследуемой частицы.

Когда источник один (или несколько источников движутся одинаково), то такие силы инерции можно исключить выбором подходящей системы отсчета, в которой источник (или источники) будет покоиться. И подобная система отсчета будет выглядеть как инерциальная. С некоторым приближением инерциальными будут казаться и все другие системы отсчета, движущиеся относительно системы поля равномерно и прямолинейно, согласно условию  $\mathbf{v}_k = \text{const}$  до тех пор, пока можно будет пренебрегать изменениями масс  $\mu_k$  и силами инерции второго рода. Именно эти приближения и послужили основой для формирования понятия инерциальных систем отсчета в классической и современной физике. А для большинства механических явлений на Земле такие инерциальные системы отсчета связаны с основным источником инерции – системой неподвижных звезд, а в некотором приближении и с самой Землей.

Но все оказывается намного сложнее, когда несколько источников движутся различным образом. Тогда никаким выбором системы отсчета все силы инерции устранить нельзя. И ни одной инерциальной системы отсчета для такого движения в принципе не существует! Более того, даже в инерциальной, с классической точки зрения, системе отсчета могут возникать силы инерции второго рода, связанные с переменным характером масс  $\mu_k$ . Потому что условие  $\mathbf{v}_k = \text{const}$  еще не означает обращения в нуль слагаемых  $d\mu_k \mathbf{v}_k / dt$ .

Все это означает, что в полевой физике понятие инерциальных систем отсчета полностью сходит на нет. В большинстве сложных задач в прин-

циле не существует ни одной инерциальной системы. А выделенное положение инерциальных систем отсчета представляет собой классическую идилию, которая готова была рассыпаться еще на рубеже XIX–XX веков, но по странному стечению обстоятельств просуществовала вплоть до наших дней.

Полевое уравнение движения для многокомпонентной среды не сохраняет единый вид при переходе от одной системы отсчета к другой. Оно зависит от абсолютных скоростей движения частиц  $\mathbf{v}_k$  и  $\mathbf{u}$  в данной системе отсчета. Однако все это – только видимость. Потому что эти скорости на самом деле определяют движение выбранной системы отсчета по отношению к источникам поля – участвующим во взаимодействии объектам.

Рассмотрим, например, произвольную систему отсчета, в которой исследуемая частица движется со скоростью  $\mathbf{u}$ , вторая частица – источник локального взаимодействия – со скоростью  $\mathbf{v}_1$ , а источник глобального взаимодействия движется со скоростью  $\mathbf{v}_g$ . (Хотя правильнее было бы сказать, что это наша система отсчета движется относительно системы неподвижных звезд со скоростью  $-\mathbf{v}_g$ , но в мире все относительно!) В этой системе отсчета, согласно нашему полевому уравнению движения для многокомпонентной среды, справедливо соотношение:

$$\frac{1}{c^2} \frac{d(W_g + W_1)\mathbf{u}}{dt} = \nabla W_1 + \nabla W_g + \frac{1}{c^2} \frac{dW_g \mathbf{v}_g}{dt} + \frac{1}{c^2} \frac{dW_1 \mathbf{v}_1}{dt} \quad (4.17.8)$$

Опишем теперь это же движение в системе неподвижных звезд. В этой системе  $\mathbf{v}_g' = 0$ ,  $\mathbf{u}' = \mathbf{u} - \mathbf{v}_g$ ,  $\mathbf{v}_1' = \mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_g$ . В результате:

$$\frac{1}{c^2} \frac{d(W_g + W_1)(\mathbf{u} - \mathbf{v}_g)}{dt} = \nabla W_1 + \nabla W_g + \frac{1}{c^2} \frac{dW_1(\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_g)}{dt} \quad (4.17.9)$$

Несложно убедиться, что хотя вид у этого уравнения и несколько иной, но это то же самое уравнение! При переходе в другую систему отсчета связь между всеми скоростями не изменилась!

Мы можем убедиться в этом, перейдя еще в одну систему отсчета. Систему, связанную с исследуемой частицей. В этой системе  $\mathbf{u}' = 0$ ,  $\mathbf{v}_g' = \mathbf{v}_g - \mathbf{u}$ ,  $\mathbf{v}_1' = \mathbf{v}_1 - \mathbf{u}$ :

$$0 = \nabla W_1 + \nabla W_g + \frac{1}{c^2} \frac{dW_g(\mathbf{v}_g - \mathbf{u})}{dt} + \frac{1}{c^2} \frac{dW_1(\mathbf{v}_1 - \mathbf{u})}{dt} \quad (4.17.10)$$

И снова мы получили то же самое уравнение! Оно подчеркивает логическую суть принципа относительности, упоминавшуюся уже неоднократно. Природа протекания физического процесса и взаимосвязь между его физическими параметрами не зависит от того, из какой системы отсчета ведется наблюдение. Однако видимость происходящего и внешний вид уравнений движения при переходе из одной системы отсчета в другую может меняться. В разных системах возникают одни силы инерции и пропадают другие. По-разному может выглядеть траектория частицы. Однако связь между относительными величинами, определяющими природу протекания процесса, будет сохраняться!

Попутно нам следует кратко отметить еще пару обстоятельств, открывающих широкое поле для дальнейших исследований и развития полевой механики. Во-первых, мы составили уравнение движения для многокомпонентной полевой среды, исходя из предположения о полной независимости всех компонент. Но как уже неоднократно отмечалось, это всего лишь классическое приближение. Вообще говоря, группа частиц связана единой полевой оболочкой, которую нам следовало бы описывать полной функцией плотности  $W = W(\mathbf{r}, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \dots, \mathbf{r}_n)$ , где  $n$  – количество взаимодействующих частиц. И в общем случае эта функция не распадается на сумму отдельных компонент. Ее изучение представляет собой гораздо более сложный путь, хотя его реализация позволит естественным образом ввести в теорию поля коллективные эффекты и квантовое поведение. Это представляет собой отдельную, интересную и достойную задачу, которую мы начнем решать в седьмой главе.

Другим обстоятельством является эффект запаздывания, который возникает в случае движущихся источников. (Когда мы говорили об уравнении движения в системе поля, и полевая среда имела статическое распределение, это обстоятельство не возникало.) Он связан с тем, что все изменения в полевой среде распространяются не мгновенно, а с конечной скоростью. Поэтому, описывая положения частиц в функции плотности некими векторами  $\mathbf{r}_k$ , мы должны помнить, что, вообще говоря, пройдет время пока возмущение от данной точки дойдет до исследуемой частицы. А текущее влияние на исследуемую частицу было создано в более ранний момент времени, когда источник находился еще в другом месте.

Математически все это следует из волнового уравнения для функции полевой связи:

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} = \nabla^2 W \quad (4.17.11)$$

которое приводит, как известно, к запаздывающим потенциалам. Мы пока не учитывали это обстоятельство, потому что оно значительно усложняет вычисления, но принципиально ничего не меняет. Разница состоит лишь в том, что во всех наших расчетах вместо реального положения движущегося источника  $\mathbf{r}_k$  в функции плотности полевой среды мы должны подразумевать его запаздывающее положение  $\mathbf{r}'_k$ . То есть источник движется просто по некоей иной «кажущейся» траектории. И эта разница приобретает значение, когда надо связать «заданное» движение источников, например электронов в проводнике, с их кажущимся движением, возникающим за счет запаздывания. А вид такой связи кажущихся и реальных расстояний будет напоминать релятивистские преобразования. Но так или иначе, это в большей степени является громоздкой математической задачей, которую мы и оставим математикам.

На эффект запаздывания можно посмотреть и с другой стороны. Его наличие означает, что ограничиться рассмотрением динамики полевой среды только в окрестностях исследуемой частицы, вообще говоря, не получается. Возникает необходимость решать еще и волновое уравнение, учитывая возмущения самой полевой среды во всех других областях пространства. А также учитывать более сложную взаимосвязь двух взаимодействующих частиц, в результате которой на состояние движения влияет не только их текущее положение и скорость, но и история их движения в прошлом. И это, возможно, является следующим этапом в развитии полевой механики.

А в заключение этой темы нам осталось еще сформулировать суть решения проблемы относительности в полевой физике в виде нового принципа относительности.

#### *Полевой принцип относительности:*

- 1. Природа и механизм протекания любого физического явления не зависят от того, из какой системы отсчета за ним наблюдают.**
- 2. Видимость протекания физического явления зависит от выбранной системы отсчета и фактически повторяет характер движения этой системы.**
- 3. Все системы отсчета являются логически равноправными и представляют собой лишь способ описания физических явлений. Не существует никакого выделенного класса особых систем. Выбор системы отсчета определяется исключительно вопросами удобства в рамках той или иной задачи.**

4. Внешний вид уравнения движения, описывающего одно и то же физическое явление, в каждой системе отсчета является, вообще говоря, уникальным. Это связано с уникальным характером движения той или иной системы отсчета, выбранной для описания физического явления. Требования сохранения единого вида уравнения движения в разных системах отсчета является искусственным.

5. Наиболее простой вид уравнение движения имеет в системе отсчета, связанной с источником поля (в системе поля). В других системах отсчета возникают дополнительные силы инерции, связанные с движением источника поля, что усложняет вид уравнения движения.

6. Существует единый логический алгоритм, позволяющий на основании принципов динамики полевой среды описать движение взаимодействующих объектов в любой системе отсчета. Несмотря на различный вид уравнений движения, описывающих одно и то же физическое явление в разных системах отсчета, инвариантным остается соотношение относительных величин, характеризующих движение системы.

7. Уникальность сил инерции, возникающих в каждой системе отсчета, позволяет логически и экспериментально отличить состояние покоя относительно источника поля от состояния равномерного прямолинейного движения (или иного движения) относительно него. Состояние покоя и состояние движения имеют смысл только по отношению к другим объектам и лишены смысла для изолированного тела.

#### **4.18. Полевая физика, эфир и специальная теория относительности**

Пожалуй, ни одна другая теория не подвергалась такому количеству критики и нападков, как теория относительности. Даже квантовая теория и современные формальные математические концепции заметно отстают от лидера. И причин тому предостаточно.

Во-первых, специальная теория относительности была первым заметным шагом в сторону от классической физики. И во многом она собрала все «шишки» со стороны приверженцев классического подхода. Во-вторых, она осуществила явную подмену проблем реальной физической природы формальным математическим решением. Это многие понимали и не спешили принимать как окончательное решение. Более того, явное смущение вызывали следствия математического формализма, такие как сокращение длин, замедление времени и дальнейший переход к неевклидовой геометрии. В третьих, логика специальной теории относительности обнаруживает внутренние противоречия, а также



очевидную ограниченность классом равномерного прямолинейного движения, и другие принципиальные сложности. И если классической физике подобные вещи были готовы прощать в силу ее простоты и наглядности, то теории относительности — нет. Уж слишком велики были жертвы, на которые пришлось пойти, чтобы вместо одних проблем обрести другие.

И тем не менее ничего лучшего на тот момент времени все равно не было. И не появилось позже. Наверное, это основная причина, по которой теория относительности просуществовала целое столетие. Несмотря на всю критику и проблемы. И это само по себе является интересным и важным историческим явлением, неотъемлемой частью развития нашей науки и общества в целом. И не исключено, что она просуществует еще столько же. Потому что инертность человеческой сущности велика.

Что меняет полевая физика в специальной теории относительности? Все и ничего. Если мы будем говорить о логической стороне вопроса, то здесь складывается такая картина. Прежде всего, у нас на глазах развалился принцип относительности в его современном понимании, который является краеугольным камнем релятивистской теории. Инерциальные системы отсчета и требование сохранения в них одинакового вида уравнения движения оказались всего лишь искусственным частным случаем, на который более не имеет смысла ориентироваться. Электродинамика оказалась полностью согласованной с механикой благодаря пониманию динамической природы массы, а сила Лоренца потребовала внесения корректировок. Все это сделало неактуальными преобразования Лоренца и все их следствия, в результате чего для описания природы явлений снова стало хватать обычной евклидовой геометрии. Попросту говоря, мы нашли способ заметно «срезать» путь по неизвестной ранее дороге, и необходимость делать «крюк» по старому релятивистскому «шоссе» просто отпала!

Но с другой стороны, все это представляет интерес в основном для истинных ценителей понимания устройства Мира. Но таковых, увы, не так уж и много. Остальным оказывается гораздо важнее математический аппарат, который позволяет производить расчеты, решать прикладные задачи и не более того. А как мы убедились в самом начале этой главы, релятивистская динамика полностью эквивалентна полевой механике. Это означает, что какие формулы ни используй, практический результат будет один. Он вполне подтверждается экспериментально и всех устраивает. Если добавить сюда силу привычки и инертность мышления, то наше предположение о долгой жизни теории относительности оказывается вполне прагматичным.

Так правильна ли теория относительности или нет? К сожалению, на этот вопрос нельзя дать однозначный ответ. Потому что теория относи-

тельности — это определенная система взглядов со своими достоинствами и недостатками. И пусть даже последних оказывается гораздо больше, чем первых, эта теория представляет собой один из способов описания природы вещей. Как полевая физика является другим альтернативным способом.

Можем ли мы сказать, что система Мира Коперника является правильной, а система Мира Птолемея — нет? Вообще говоря, не можем. Потому что это два альтернативных способа описания движения небесных тел. И с логической точки зрения мы можем связать центр системы отсчета с Солнцем и считать, что все планеты движутся вокруг него. А можем считать центром Землю, и рассматривать движение всех небесных тел вокруг нее. Такой подход не является неверным, ибо в мире все относительно. Он просто другой.

Причем система Птолемея имеет свои очевидные преимущества. Ведь наблюдатели движения небесных тел находятся все-таки на Земле, а не на Солнце! И изучать картину звездного неба мы можем только так, как она выглядит с Земли. Этот подход развивался веками, был привычным и позволял получать конкретные практические результаты, например, рассчитывать солнечные затмения или составлять гороскопы. С формальной точки зрения мы не можем сказать, что система Птолемея является неверной.

Но почему же мы считаем правильной именно систему Коперника и предпочитаем ее системе Птолемея? А также называем взгляды Коперника революционными? Поразмыслив над этим вопросом, мы начинаем понимать, что помимо формальной правильности, математических расчетов и экспериментальной достоверности в нашем Мире есть что-то еще. Нечто большее, позволяющее нам отбросить одни представления и принять другие. Мы уже говорили о подобных вещах, связывая их с неким внутренним интуитивным ощущением гармонии одних представлений и неестественности других. И основной причиной, по которой мы выбираем именно систему Коперника, является ее простота, наглядность, своеобразная красота и гармоничность, ее естественность. В отличие от системы Птолемея, запутанной, громоздкой и ненаглядной. Со сложными траекториями небесных тел, нудными расчетами, и главное, с отсутствием единой логической схемы движения планет. Система Птолемея не является неверной. Она является неестественной!

Похожие выводы мы вполне можем сделать и про теорию относительности. Она является неестественной. Неевклидова геометрия, сокращение длин, замедление времени, преобразования Лоренца и все подобные вещи создают очевидное ощущение, что это неверный путь, хотя так тоже можно все рассчитать. Вычисления теории относительности

очень запутаны и сложны, они требуют специальных математических навыков, лишены наглядности и прозрачности в понимании природы процессов. И следствия всех этих негативных моментов не заставили себя долго ждать.

Специальная теория относительности столкнулась с переменным характером масс объектов, но так и не смогла пролить свет на природу массы. В этой теории очень много внимания уделяется переходам между разными системами отсчета, но не получает разрешения старая классическая проблема выделенного положения инерциальных систем отсчета и равномерного прямолинейного движения. А также несмотря на известную декларацию «Все относительно!» вращательное движение продолжает сохранять абсолютный характер, и полное логическое равноправие всех произвольных систем отсчета остается недостижимым. Специальная теория относительности согласовывает механику и электродинамику, но при этом не позволяет увидеть в добавках к электростатической силе четкую систему, связанную с полным набором сил инерции, которая раз и навсегда решает проблему выражения для полей движущихся зарядов. И этот список можно продолжать.

Подобные преграды мы находим и в системе Птолемея. Описывая движения небесных тел на протяжении целого тысячелетия, эта система не смогла пролить свет на механизмы этого движения. Потому что хотя Земля и может быть системой отсчета для описания такого движения, но объяснить его на основании притяжения небесных тел к Земле невозможно. Как только изменился взгляд на траектории планет как на эллипсы с Солнцем в фокусе, достаточно быстро появились законы Кеплера, стал понятен закон обратных квадратов, и движение планет получило наглядное объяснение.

Подобным образом в полевой физике становится понятна природа явлений и процессов, имеющих в теории относительности очень туманный или мистический смысл. Или же вообще необъяснимых в рамках релятивизма. Возникают естественные взаимосвязи с другими областями физики, например, с квантовым поведением. Все это важные качественные шаги к дальнейшему развитию физики.

Однако переход от старого к новому никогда не происходит быстро и гладко. Упомянув гелиоцентрическую систему Мира, мы вспоминаем инквизицию, суд над Галилеем и Джордано Бруно. Хотелось бы верить, что за прошедшие века человечество повзрослело и продвинулось вперед в своем мировоззрении. Благодаря появлению полевой физики у нас есть возможность это проверить.

Но могла ли теория относительности вообще никогда не возникнуть? Неужели развитие классической физики не могло происходить равно-

мерно, без переходов в крайности? Могли ли представления, близкие к полевой физике, появиться уже на рубеже XIX–XX веков, в результате чего не потребовалось бы использовать в физике неевклидову геометрию, математический формализм, идти на нарушение логики и наглядности? И на этот вопрос мы тоже не можем ответить однозначно.

С одной стороны, концепция полевой среды была развита Фарадеем и Максвеллом еще в XIX веке. Тогда же появилось и понятие эфира. Среда, в которой происходят электромагнитные процессы и распространяется свет. С другой стороны, злую шутку с этим понятием сыграли эксперименты Майкельсона, которые не столько доказали отсутствие эфира как такового, сколько опровергли бытовавшие тогда представления о его неподвижности. А также показали некорректность применения к свету законов механики, справедливых только для материальных объектов.

Понятие эфира во многом созвучно нашим представлениям о полевой среде. Однако принципиальная разница состоит в том, что эфир считался единой неподвижной монолитной сущностью, задающей абсолютную систему отсчета. В то время как в полевой физике полевая среда состоит из большого количества компонент, которые связаны с теми или иными телами и находятся в относительном движении. Мы подробно обсуждали это в рамках модели полевых оболочек, а также когда комбинировали влияние разных компонент полевой среды в этой главе.

Благодаря такому подходу вместо абсолютного эфира возникает эфир относительный. Это очень созвучно идее об увлечении эфира телами, которая появилась вскоре после экспериментов Майкельсона. И объясняла их отрицательный результат. Более того, относительный эфир уже не приводит к возникновению абсолютных скоростей. А если и можно измерить скорость движения относительно него, то это будет уже скорость движения относительно того или иного источника поля. Например, относительно основных источников тяготения в нашей Галактике – системы неподвижных звезд. Фактически нечто подобное и было сделано позже, например, с помощью изучения анизотропии фонового излучения.

Мы не зря назвали эксперименты Майкельсона сыгравшими с наукой злую шутку. Свет, похоже, является не самым лучшим способом для выявления относительного движения, а даже наоборот, совершенно для этого неподходящим. И связано это с тем, что свет не является материальной сущностью подобно атомам или элементарным частицам, а представляет собой колебательный процесс в полевой среде. И для него не применимы уравнения движения и формулы сложения скоростей, справедливые для материальных объектов. Потому что свет как возму-

шение полевой среды всегда распространяется относительно этой среды с одной и той же постоянной скоростью. Эта скорость может меняться только при изменении свойств самой среды, например, при распространении света в веществе с разным показателем преломления. Но она никак не зависит от движения источника или приемника света, которые сказываются только на изменении его частоты.

Когда полевое возмущение возникает, то определяющим для него является полевая среда источника возмущения. И это возмущение распространяется по отношению к источнику с известной скоростью  $c$ . Независимо от того, движется источник света в данной системе отсчета или покоится. Но, по мере приближения к приемнику, определяющее влияние на полевое возмущение начинает оказывать уже компонента полевой среды приемника. И скорость распространения света становится равной  $c$  уже по отношению к этой компоненте полевой среды или по отношению к приемнику. Другими словами, переходя из области повышенной концентрации плотности среды источника в область среды приемника, световое возмущение претерпевает изменение, распространяясь со скоростью  $c$  по отношению к той компоненте полевой среды, которая является доминирующей в данной точке движения. Вот почему скорость света всегда равна  $c$ . Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приемника.

Механизм этого явления подобен движению плота по реке. Скорость движения плота в том или ином месте пути всегда определяется скоростью течения реки в этой точке. Плот повторяет все изменения в течении реки и следует за ними. Его скорость в процессе движения не равна скорости воды в точке отправления или в точке прибытия плота. А также она не зависит от того, как сильно мы толкнули плот вначале, потому что этот начальный импульс быстро пропадает. Скорость плота определяется только течением реки и сохраняет свое значение по отношению к ней, а не по отношению к внешним предметам.

Движение плота по реке принципиально отличается от движения тел на берегу. Потому что если мы толкнем вдоль берега тележку, то она будет катиться быстрее, если начальный импульс был больше. Или скорость движения предмета-«источника», сообщившего тележке этот импульс, была выше. Суть такого различия аналогична различию между классическим и квантовым движением, о чем мы уже не раз упоминали. Когда движение материальных объектов определяет движение среды, то справедлив классический закон сложения скоростей и классическая механика. Когда же движение объектов в большей степени само определяется динамикой среды, то ни о каких законах сложения скоростей и вообще об уравнении движения в классическом смысле уже речи быть не может. В этом случае создается иллюзия, что объект приобретает вол-

новые свойства и движется в согласии с волновым уравнением. А скорость его движения определяется исключительно динамикой полевой среды. И свет, как возмущения полевой среды в чистом виде, ведет себя именно так.

Проще говоря, необходимо провести четкую границу между поведением материальных объектов и распространением света, как между сущностями различной природы. Свет не является материей, он не обладает массой, не обладает зарядами, не обладает энергией или импульсом. Для него не применимы формулы сложения скоростей, справедливые для материальных объектов. Свет — это совершенно иная сущность. И он требует совершенно иного описания.

В частности, свет не обладает гравитационным зарядом, и не может испытывать притяжение в поле гравитирующих объектов. Зато эффект искривления лучей при прохождении вблизи Солнца получает очевидное объяснение на основании высказанных выше тезисов. Потому что вблизи Солнца плотность полевой среды выше, чем в космическом пространстве. А следовательно, в процессе прохождения вблизи Солнца колебания полевой среды, попадая в область с большей плотностью, испытывают преломление. Изменение плотности полевой среды по мере приближения к Солнцу происходит плавно, поэтому и траектория луча получается не ломанной, как при прохождении из воздуха в воду, а плавно искривленной линией.

Измерение же относительной скорости движения небесных тел на основании их сложения со скоростью света вообще оказывается некорректным в силу приведенных выше аргументов. Что и доказали опыты Майкельсона. Следует отметить, что сами представления об абсолютном движении и абсолютной системе отсчета во многом являются продуктом выделенного положения инерциальных систем в классической и современной физике. Как и сама идея проведения опытов Майкельсона и их отрицательный результат. В полевой физике абсолютного движения не существует вообще, однако можно экспериментально определить скорость движения Земли по отношению к системе неподвижных звезд, что мы видели, в частности, на примере аномального смещения перигелия Меркурия.

Казалось бы, все подобные выводы можно было бы сделать еще век назад. Более того, тогда уже существовали революционные идеи Маха об относительности всякого движения, в том числе вращательного, и о динамической природе инерции. И много других здравых идей. Однако об этом легко рассуждать нам сейчас. А сто лет назад все выглядело совсем не так просто. И сейчас для человека, воспитанного в рамках ортодоксальных физических представлений, все выглядит не легче.

Большинство рассмотренных в этой книге вопросов представляет собой «темный лес» для современной науки и людей, не знакомых с полевой физикой. Так что же было ожидать от ученых конца XIX века, которые знали гораздо меньше нас. И мы вынуждены признать, что сто лет назад лучшим вариантом решения назревших проблем оказалась специальная теория относительности, несмотря на все ее недостатки. Хотя есть ощущение, что уже тогда существовали все необходимые предпосылки для того, чтобы развитие физики пошло по совершенно иному пути.

Сейчас мы готовы сделать важный шаг вперед. Полевая физика позволяет перейти на качественно новый уровень понимания науки, осознания устройства нашего Мира и развития прикладных возможностей. И случится ли это сейчас, или только спустя лет сто, или же не случится никогда, зависит только от нас. Будем ли мы готовы сделать это важный шаг вперед? Или у нас не хватит смелости, энтузиазма или веры?

История не возникает сама собой. Она формируется нашими мыслями, взглядами и поступками. Мы можем сами творить ее или просто плыть по течению. Внести свой вклад в историю или исчезнуть без следа. Полевая физика — это новая возможность, редкий шанс, уникальная перспектива, открывающаяся перед всем научным сообществом. Это новый путь, по которому каждый из нас может пройти или отвергнуть его. Это история, которая делается сейчас. И у нас есть возможность создать науку завтрашнего дня, которая будет вызывать восхищение наших потомков.

Подобные мысли требуют серьезных размышлений. Наедине с собой. Наедине со всем Миром. Наедине с Богом. Они требуют от нас, наконец, сделать привал в нашем путешествии. Чтобы осмыслить пройденный путь. Переварить все полученные впечатления. Сохранить внутреннее равновесие. И собраться с силами для дальнейшего пути.

Познание истины никогда не было простым. И прежде чем мы закончим наше путешествие, нам предстоит пройти еще столько же, сколько уже осталось позади. И вторая половина пути не легче первой. Но она и не менее интересна! Нам предстоит узнать еще гораздо больше того, что мы уже знаем.

Но это будет чуть позже. А сейчас — привал.

## Краткое содержание второй части

**Глава 5. Полевая механика – фундаментальное движение**

**Глава 6. Полевая механика – смешанное движение**

**Глава 7. Полевая механика – квантовое движение**

**Глава 8. Новая космология или как устроен Мир**

**Эпилог или начало пути**

Официальный сайт Полевой физики в Интернете:

**[www.fieldphysics.ru](http://www.fieldphysics.ru)**

Дополнительная информация, новости, заказ книг, обратная связь с автором.



## Приложение

### Перечень основных физических величин, используемых в книге

<b>r</b>	Положение точки (произвольного элемента полевой среды) в пространстве
<b><math>\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_k</math></b>	Положения первой, второй, k-ой частицы (объекта)
<b><math>v_1, v_2, v_k</math></b>	Скорости движения первой, второй, k-ой частицы (объекта)
<b>v</b>	Скорость произвольного элемента полевой среды
<b>v</b>	Скорость движения частицы-источника
<b>u</b>	Скорость движения частицы регистрации
<b>R, R</b>	Относительное расстояние между частицей-источником и частицей регистрации
<b>v</b>	Скорость движения частицы регистрации относительно частицы-источника
<b><math>v_0, v_0, u_0</math></b>	Скорость поступательного движения подвижной системы отсчета
<b><math>\omega, \Omega, \nu</math></b>	Угловая скорость вращения подвижной системы отсчета, частота колебаний
<b><math>\tau</math></b>	Характерное время протекания процесса
<b>c</b>	Константа скорости света
<b>a, a<sub>0</sub></b>	Ускорение частицы регистрации в покоящейся и подвижной системах отсчета
<b>Q, Q<sub>e</sub></b>	Электрический заряд частицы-источника
<b>q, q<sub>e</sub></b>	Электрический заряд частицы регистрации
<b>Q<sub>g</sub>, M<sub>g</sub></b>	Гравитационный заряд (гравитационная масса) частицы-источника
<b>q<sub>g</sub>, m<sub>g</sub></b>	Гравитационный заряд (гравитационная масса) частицы регистрации

$e$	Электрический заряд электрона
$m, m_i$	Классическая инертная масса частицы (объекта)
$\mu$	Полевая инертная масса частицы (объекта), эффективная, присоединенная, электромагнитная массы
$M, M_i$	Полная инертная масса частицы (объекта)
$M_0$	Релятивистская масса покоя частицы (объекта)
$\rho, \rho_e, (\rho_g)$	Объемная плотность электрического (гравитационного) заряда
$\mathbf{j}, \mathbf{j}_e, (\mathbf{j}_g)$	Плотность электрического (гравитационного) тока
$\mathbf{F}, \mathbf{F}_{\text{index}}$	Сила, index соответствует тому или иному типу сил
$\mathbf{P}$	Импульс
$\mathbf{L}$	Момент импульса
$E$	Энергия
$\mathbf{E}, (\mathbf{E}_g)$	Напряженность электрического (гравитационного) поля
$\mathbf{B}, (\mathbf{B}_g)$	Напряженность магнитного (гравимагнитного) поля
$\varphi, (\varphi_g)$	Скалярный электрический (гравитационный) потенциал
$\mathbf{A}, (\mathbf{A}_g)$	Векторный электрический (гравитационный) потенциал
$G$	Гравитационная константа
$g$	Ускорение свободного падения
$W(\mathbf{r}, t)$	Функция плотности полевой среды
$W(R)$	Функция полевой связи, потенциальная энергия взаимодействия частиц
$U(\mathbf{r}, t)$	Функция интенсивности источника

## Приложение

### Перечень основных обозначений, используемых в книге

$k, \text{const}$	Некая постоянная величина, коэффициент, та или иная константа
$\varphi$	Скаляр
$\mathbf{A}, \mathbf{u}$	Векторы
$\mathbf{u} \cdot \mathbf{A} = (\mathbf{uA})$	Скалярное произведение
$\mathbf{u} \times \mathbf{A} = [\mathbf{uA}]$	Векторное произведение
$d\varphi/dt, d\mathbf{A}/dt$	Полная производная
$\partial\varphi/\partial t, \partial\mathbf{A}/\partial t$	Частная производная
$\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y, \partial/\partial z)$	Дифференциальный оператор (набла-вектор)
$\nabla\varphi = \text{grad}(\varphi)$	Градиент
$\nabla \cdot \mathbf{A} = \text{div}(\mathbf{A})$	Дивергенция
$\nabla \times \mathbf{A} = \text{rot}(\mathbf{A})$	Ротор
$\nabla^2\varphi, \nabla^2\mathbf{A}$	Лапласиан

Репченко Олег Николаевич

# Полевая физика или как устроен Мир?

Официальный сайт Полевой физики в Интернете:

[www.fieldphysics.ru](http://www.fieldphysics.ru)

Дополнительная информация, новости, заказ книг, обратная связь с автором.

Компьютерная верстка *А. Токарев*  
Оформление обложки *Н. Ломоносова*  
Корректоры *И. Петрова, О. Черемисова*

*Рекламно-издательский комплекс «Галерея»*  
Тел.: (095) 207-2436, 975-5822 [www.galeria.ru](http://www.galeria.ru) E-mail: [galeria@galeria.ru](mailto:galeria@galeria.ru)

Подписано в печать 03.05.05.  
Бумага офсетная. Гарнитура «NewtonС».  
Формат 60х90/16. Печ. л. 20.  
Тираж 10000 экз. Заказ № 543.

Фото на обложке NASA/JPL-Caltech

Отпечатано в ОАО «Тверской ордена Трудового Красного Знамени  
полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР».  
170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.



☉ Полевая физика – это физика нового поколения. Современная наука в большей степени носит описательный характер и чаще отвечает на вопросы «Как?», нежели на вопросы «Почему?», относя последние к разряду непознаваемых. В рамках полевой физики впервые на серьезном научном уровне удастся заглянуть за передний край современных представлений. Например, понять причины появления у физических объектов свойств массы и зарядов, выявить внутренние механизмы взаимодействий и влияния полей. А также нащупать способы целенаправленного управления важными физическими характеристиками объектов.

☉ Полевая физика – это книга, подобной которой никогда не было и, наверное, никогда уже не будет. Это серьезное научное издание, в котором формулы, расчеты и научные факты тесно переплетаются с общечеловеческими понятиями, осознанием происхождения и устройства нашего Мира, а также смыслом его существования. В книге обнаруживаются глубинные принципы, заложенные в основание нашего Мира, которые в равной мере можно проследить как в научных представлениях, так и в общечеловеческих вопросах, что неизбежно приводит к синтезу физических и философских понятий.

☉ Полевая физика – это новое мировоззрение, которое невозможно описать в двух словах. Это – путь, который каждый читатель должен пройти сам. Путь, который не оставит ни одного читателя равнодушным. Изначально книга рассчитана на ученых и ведущих специалистов по физике и смежным областям науки. Однако в книге использован наиболее простой язык изложения материала, а также только элементарная математика, что делает данное издание доступным для широкого круга преподавателей, студентов, аспирантов, научных работников, а также для всех людей, имеющих базовые знания по физике.