

Мюоны и релятивистское «замедление времени»

И. Мисюченко

СПб, 24.10.17

Тезисы:

1. Конструкция предложенного револьверного годоскопа эффективна для определения углового распределения мюонов.
2. Угловое распределение мюонов за 5 месяцев хорошо соответствует СТО. Ясно показывает, что время распада неподвижного мюона в среднем составляет 2.2 мкс., а с учётом релятивистского «замедления времени» соответствует энергии движущегося мюона.
3. Вероятность образования ливня частиц в свинце зависит от энергии мюона. Счёт ливней, возникающих одновременно с мюоном даёт оценку его энергии.
4. Во время сильных гроз наблюдаются заметные гамма-всплески. Источник находится вверху над горизонтом. Предположительно это грозовая вода в атмосфере. Возможно её облучают космические частицы и рентген разрядов молний, порождая радиоактивные изотопы.

Введение

Реально ли «релятивистское замедление времени»? Современная физика уверена, что да, и тому есть множество разнообразных экспериментальных подтверждений. Но вот в среде самостоятельных исследователей мнение далеко не столь однозначное. Кроме субъективных причин для такого расхождения мнений есть и явно объективная: самостоятельному исследователю очень трудно провести личный опыт с релятивистскими объектами. В качестве такого простого опыта, который можно провести самостоятельно, современная наука называет опыт по измерению углового распределения мюонов, т.е. вторичных космических частиц, рождающихся в атмосфере на высоте около 15 км под действием потока первичных космических частиц (в основном, протонов). Утверждается, что экспериментально наблюдаемое угловое распределение мюонов нельзя объяснить без привлечения идеи о релятивистском замедлении процессов (не «времени», конечно!) в движущихся объектах. В покое мюон живёт в среднем 2.2 мкс, и, соответственно, даже со скоростью света он пролетел бы не более 600 метров от места рождения. Т.е. до Земли мюоны вообще не должны долетать, по крайней мере в таком приличном количестве, как наблюдается в опыте. К тому же их распад надо учитывать и при изучении углового распределения. Если релятивистское выражение для «замедления времени» верно, то угловое распределение должно получиться совершенно определённым. Именно такие опыты и проводят со студентами в физических ВУЗах с помощью так называемых «мюонных телескопов». Это очень простое устройство, состоящее из 2-х или трёх рядов счётчиков Гейгера (или сцинтилляционных счётчиков), работающих на совпадения. Мюон, падая с околосветовой скоростью из верхней полусферы, ионизирует всё на своём пути, и если он пролетел через 2 или 3 счётчика, то они сработают практически одновременно. Чтобы отделить мюоны от электронов и гамма-излучения между счётчиками помещают толстую свинцовую пластину (до 10 см). При этом «легкая» компонента космических лучей отсекается практически полностью, и «телескоп» действительно считает только мюоны. Эту конструкцию можно наклонять под разными углами к горизонту, что позволяет измерить не только интенсивность потока мюонов, но и её угловое распределение.



Рис 1. Классический мюонный телескоп

Недостаток такого телескопа очевиден – за один раз можно измерить поток мюонов только в одном направлении. Но он помещается на столе и может быть изготовлен самостоятельно (рис.1). Более совершенными установками являются мюонные годоскопы, т.е. такие телескопы, которые позволяют «смотреть» сразу во всех направлениях. Это сокращает время набора данных в разы. Но габариты и стоимость такой установки совершенно не под силу любителю (рис. 2).



Рис. 2. Мюонный исследовательский годоскоп.

Поток мюонов у поверхности Земли довольно мал, так что студенческий мюонный телескоп считает очень медленно и требуются как минимум часы, чтобы получить хоть какую-то статистическую достоверность потока мюонов в заданном направлении. Поэтому-то как правило студентов ограничивают двумя-тремя направлениями телескопа и ограничивают время наблюдений. Потом они обрабатывают данные по формулам и должны сделать вывод о соответствии СТО наблюдаемым фактам. Многие ученые критикуют эту практику, справедливо показывая, что точность такого опыта совершенно недостаточна для подтверждения или опровержения СТО. Что же делать честному самодеятельному учёному, чтобы всё-таки сделать личный экспериментально обоснованный вывод по этому вопросу? Мы предложили конструкцию простого мюонного годоскопа, названного нами «револьверным», создали его и провели

полугодовые наблюдения за потоком мюонов вблизи Земли из деревянного одноэтажного домика в сельской местности. Результатам этой работы и посвящена данная статья.



Рис. 3. Револьверный годоскоп. Слева блок датчиков, справа – в сборе с электроникой.

Годоскоп представляет из себя систему счётчиков Гейгера (СИ-21Г). Один датчик располагается в центре окружности и окружен *круговой* свинцовой защитой, толщиной 4 см. Это позволяет практически полностью отсечь лептонную компоненту фона. На расстоянии около 8 см от центрального счётчика располагаются 16 аналогичных счётчиков без защиты.



Рис. 4. Счётчик СИ-21Г

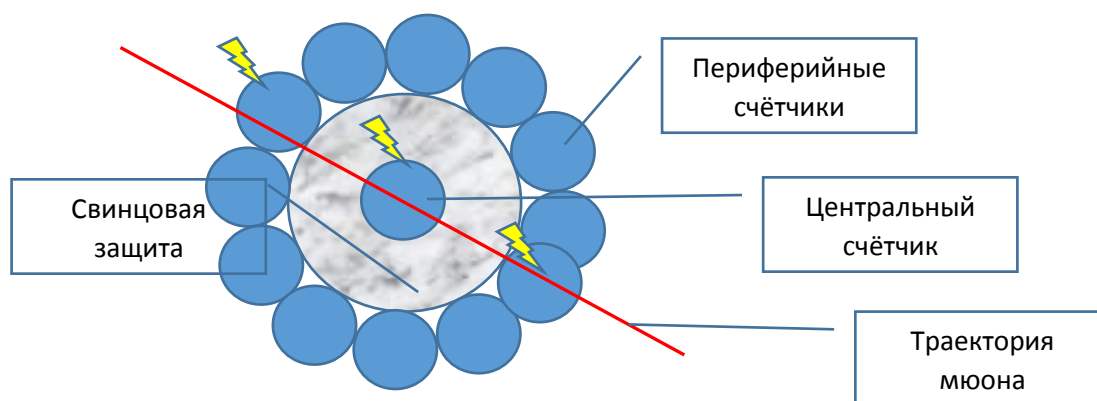


Рис. 5. Схематическое изображение идеи конструкции револьверного годоскопа.

Мюон, пролетевший через центральный счётчик должен вызвать срабатывание и двух других счётчиков, расположенных на диагонали. Таким образом по тройным совпадениям можно уверенно зарегистрировать мюон. Если накапливать данные за достаточно длительное время, то можно с хорошей точностью определить угловое распределение потока мюонов. Для этого, разумеется, ещё нужно выполнить процедуры по калибровке этого годоскопа, поскольку счётчики не вполне идентичны (имеют разброс чувствительности), допуски при изготовлении приводят к

отклонениям от заданных углов расположения счётчиков, элементы электронной схемы неидеальны и т.п. К тому же на очень низких углах нужно учитывать вероятность случайных тройных совпадений счёта, возникающих под действием гамма-фона. Требуется также обеспечить стабильное бесперебойное питание и регистрацию данных. Всё это было тщательно выполнено.

Результаты эксперимента

1. Угловое распределение мюонов.

После 5-месяцев непрерывного эксперимента по регистрации потока мюонов со всех направлений было получено практически полное соответствие кривой углового распределения мюонов общепринятой теории, базирующейся на СТО: $A = \cos(\varphi + \Delta\varphi)^2$. Экспериментальное угловое распределение приведено на рис. 6. Синим цветом сплошная кривая – общепринятая теория, красными кружками – экспериментальные точки. Зелёным штрихом – теория, не учитывающая эффект «замедления времени», соответственно формула: $A = \cos(\varphi + \Delta\varphi)^{1.6}$. Здесь $\Delta\varphi$ – малое смещение диаграммы, вызванное действием магнитного поля Земли на движущиеся мюоны.

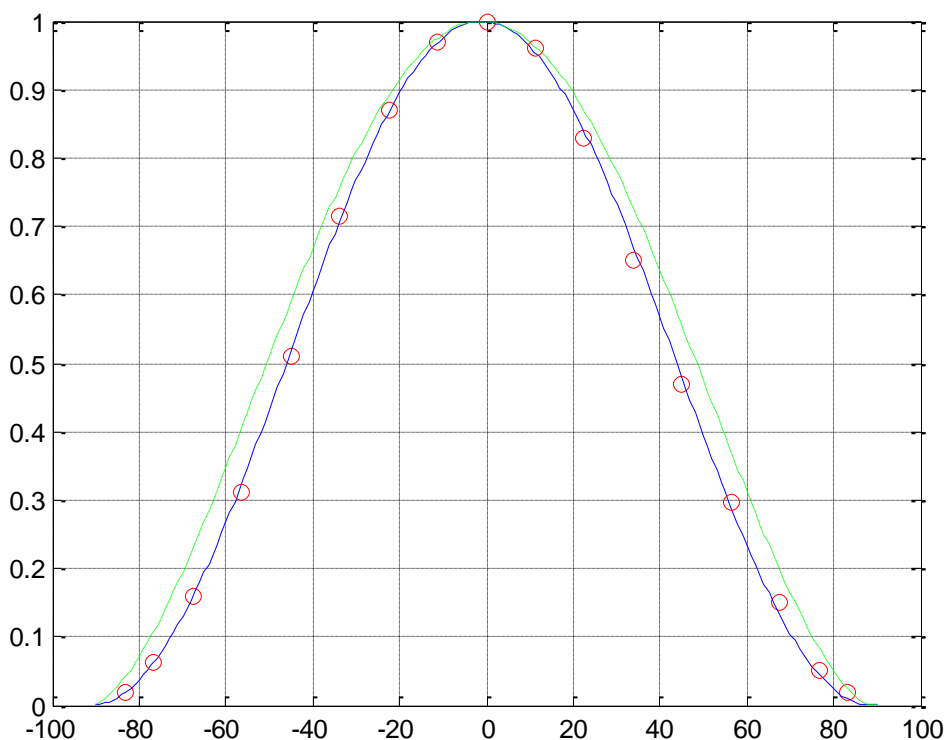


Рис. 6. Экспериментальное и теоретическое угловое распределение мюонов на уровне моря.

Хорошо видно, что экспериментальные точки гораздо лучше ложатся на теорию, учитывающую «замедление времени». Рассчитанное при этом среднее время жизни неподвижного мюона получилось 2.187 мкс, что хорошо соответствует справочному значению $2,19703(4) \cdot 10^{-6}$ с. Небольшой «перекос» кривой распределения мюонов по углам обусловлен магнитным полем Земли, что также учитывается в более точных теориях. Угловой сдвиг максимума кривой, вызванный магнитным полем, составил 1.3 градуса, что также полностью соответствует данным современных геофизических исследований и показывает, что мюон является отрицательно

заряженной частицей. Вариации полного мюонного потока во времени незначительны и также соответствуют приведенным в литературе данным.

2. Оценка средней энергии мюонов, приходящих с разных направлений

Поскольку кроме мюонов осуществлялась ещё и регистрация ливней (их надо учитывать при точных расчётах), то при обработке данных был обнаружен интересный эффект: если одновременно регистрировался мюон и ливень, то ливень с большой вероятностью возник в свинцовой защите. Была произведена оценка вероятности возникновения ливня в свинце при прохождении мюона и обнаружено, что вероятность ливня возрастает в разы на малых углах. А мюоны, приходящие под малыми углами, имеют энергию в десятки раз больше, чем «вертикальные». Соответственно, можно предложить метод измерения энергии мюонов по вероятности возникновения сопутствующего ливня в свинцовой защите. Энергия мюонов и экспериментальная вероятность ливня приведены на рис. 7.

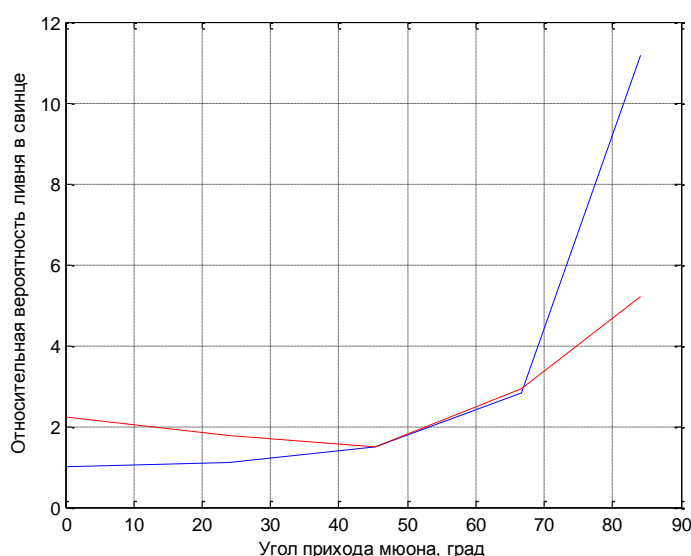


Рис. 7. Средняя энергия мюона от угла прихода (ГэВ) и экспериментальная относительная вероятность возникновения ливня частиц в свинце от того же угла.

3. Гамма-всплески во время грозы

Поскольку годоскоп попутно является ещё и гамма-монитором (имеет 18 высокочувствительных гамма-счётчиков), то было интересно проследить и за записями гамма-фона. При анализе было обнаружено, что сильные грозы и дожди вызывают отчётливо видимый всплеск счёта гамма-счётчиков. Это явление известно и давно изучается. О его причинах до сих пор идут споры, поэтому эта тема является в геофизике достаточно актуальной. Учитывая, что данный годоскоп является не только мюонным прибором, но и одновременно «теневым» гамма-годоскопом, мы построили угловое распределение гамма-фона для спокойных периодов наблюдений (рис. 8) и для периодов гроз и осадков (рис.9). Оказалось, что *дополнительный* (к спокойному фону) гамма-поток во время осадков приходит с угла 45-35 градусов над горизонтом. Это позволило предложить *гипотезу* возникновения гамма-всплесков во время осадков. Возможно, источником гамма-излучения служит висящая в атмосфере вода (как в виде пара, так и в виде капель и струй). Она облучается электронами, мюонами, нейтронами космического излучения и, при наличии молний, ещё и гамма-излучением, и нейтронным излучением молний. В

результате возникают короткоживущие изотопы, которые довольно быстро (десятки минут) распадаются по окончании метеособытия (рис.10-11).

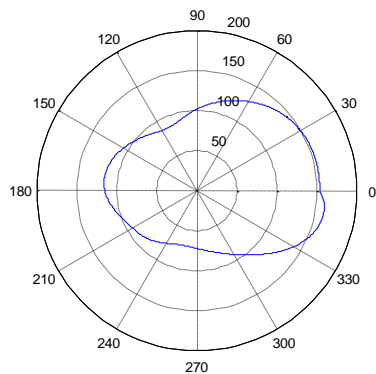


Рис. 8. Угловое распределение гамма-фона в спокойные периоды. Справа восток, там находится ветка ЖД, создающая повышенный гамма-фон.

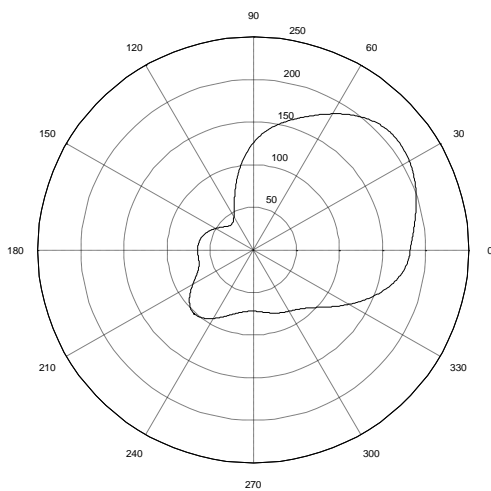


Рис. 9. Угловое распределение гамма-фона во время сильного ливня. Хорошо видно, что дополнительный фон приходит из атмосферы, а не, например, из земли (углы «к земле» направлены вниз рисунка).

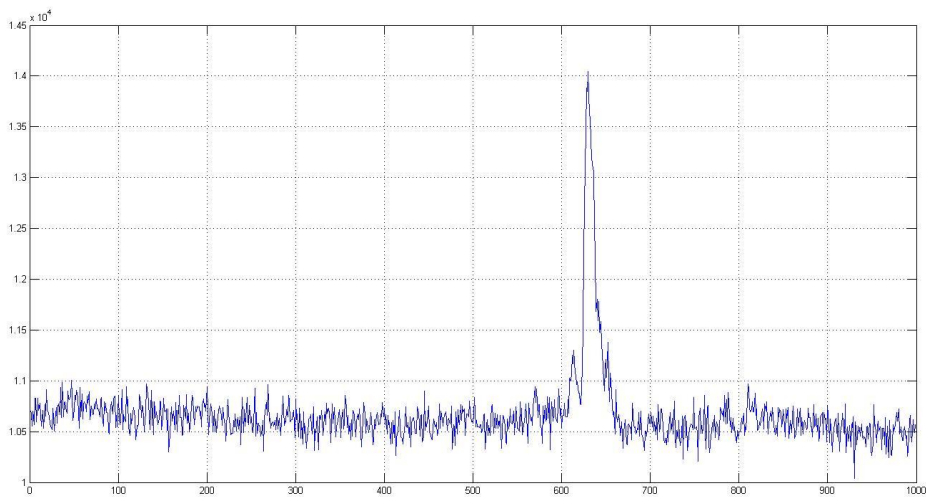


Рис. 10. Суммарный гамма-счёт годоскопа во время грозы с ливнем. По горизонтали – время в минутах. Максимальное возрастание фона – примерно в 1.4 раза.

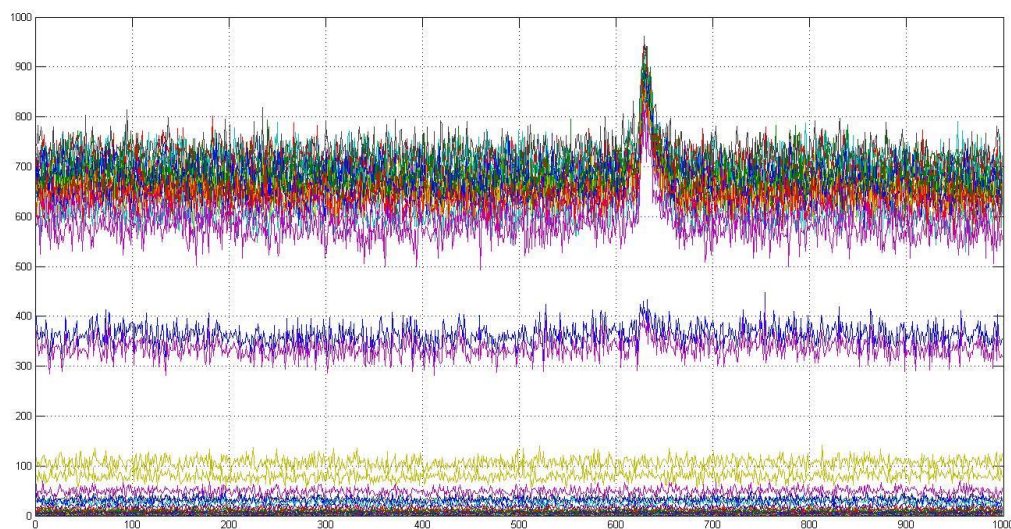


Рис. 11. Та же гроза сразу на всех каналах монитора. В середине графиков (имеется ввиду середина по вертикали) – защищённый свинцом канал. Всплеска в этом канале почти не видно, следовательно, излучение имеет невысокую в среднем энергию.

Выводы

1. Предложенная конструкция револьверного мюонного годоскопа проста, работоспособна и пригодна для повторения частными исследователями.
2. Угловое распределение мюонов хорошо подтверждает эффект «релятивистского замедления времени», описываемый формулами СТО.
3. Годоскоп позволяет производить оценку средней энергии мюонов, приходящих с определенного угла, что как правило ранее требовало очень крупногабаритных установок.
4. Устройство является также теньвым гамма-годоскопом, позволяющим определять направление на локальный источник гамма-излучения и также изучать вариации естественного гамма-фона.