

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК**ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ****ПРИМЕНЕНИЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СЧЁТЧИКОВ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

В течение последних двух-трёх лет было опубликовано большое количество работ, посвящённых сцинтилляционному методу счёта быстрых заряженных частиц и γ -квантов. Этот метод детектирования излучений стал в настоящее время обычным при многих исследованиях в области радиоактивности и при работе на ускорителях. Основные преимущества сцинтилляционного метода регистрации излучений общеизвестны: они заключаются, во-первых, в безинерционности счёта, позволяющей измерять весьма короткие интервалы времени порядка 10^{-8} — 10^{-9} сек. между моментами прохождения через сцинтиллятор двух заряженных частиц, во-вторых, в чрезвычайно большой скорости счёта, ограничиваемой в настоящее время лишь свойствами счётных радиотехнических схем, в-третьих, в большой эффективности сцинтилляторов к γ -излучению и, в-четвёртых, в том, что сцинтилляционный детектор излучения является пропорциональным счётчиком, световой выход которого пропорционален энергии, потерянной быстрой частицей в сцинтилляторе. К этому следует добавить, что современные фотоумножители позволяют получать при прохождении быстрых заряженных частиц через сцинтилляторы обычных объёмов в несколько кубических сантиметров импульсы порядка десятых вольт и даже нескольких вольт при весьма малом уровне шумов. Между тем, импульсы от пропорциональных счётчиков, регистрирующих релятивистские или полурелятивистские частицы, в обычных условиях имеют величину порядка сотых и тысячных долей вольт. Поэтому при использовании сцинтилляционного счётчика для измерения ионизирующей способности радиотехническое усиление может быть сделано весьма небольшим, порядка 10—100. Это обстоятельство может иметь большое значение при исследовании космических лучей в стратосфере, когда вес поднимаемой аппаратуры должен быть возможно меньшим. Несмотря на все преимущества нового метода, его применение к исследованию космического излучения происходило в ограниченном масштабе. Причина этого, повидимому, в том, что до сих пор отсутствуют фотоумножители с достаточно большой поверхностью фотокатода, необходимые для регистрации малых эффектов космического излучения. Реферируемые работы^{1, 2, 3} были выполнены в 1950—1951 гг. и посвящены детектированию космического излучения с помощью сцинтилляционных счётчиков. Во всех этих работах сцинтилляционные счётчики используются как пропорциональные счётчики. Работа¹, выполненная на уровне моря, имела целью проверить, в какой степени сцинтилляционный счётчик является пропорциональным устройством. С этой целью цилиндрический кристалл антрацена (диаметр и высота цилиндра равны 30 мм) помещался в телескоп из счётчиков Гейгера таким образом, чтобы заряженные частицы космических лучей проходили в нём примерно одинаковые отрезки пути. Над системой помещалось

40 см свинца, и с помощью свинцовых фильтров, расположенных между счётчиками телескопа, из всего космического излучения выделялись три интервала пробегов, которым соответствуют следующие интервалы импульсов для μ -мезонов:

1-й интервал: $0,8 \cdot 10^8 \text{ эв/с} < P_1 < 1,10 \cdot 10^8 \text{ эв/с}$;

2-й интервал: $1,10 \cdot 10^8 \text{ эв/с} < P_2 < 2,5 \cdot 10^8 \text{ эв/с}$;

3-й интервал: $P_3 > 2,5 \cdot 10^8 \text{ эв/с}$.

μ -мезон с импульсом $2,5 \cdot 10^8 \text{ эв/с}$ обладает минимальной (релятивистской) ионизирующей способностью. μ -мезоны, импульсы которых лежат

во втором и первом интервалах, обладают, как в этом легко убедиться из формулы Бете-Блоха для ионизационных потерь энергии⁴, ионизирующей способностью в 1,2 и в 1,6 раза, превышающей ионизирующую способность μ -мезона с импульсом $2,5 \cdot 10^8 \text{ эв/с}$. Регистрация импульсов от усилителя производилась с помощью осциллографа, ждущая развёртка которого запускалась при совпадении разрядов в счётчиках телескопа. Полученные распределения импульсов по величине для всех трёх интервалов приведены на рис. 1. Заметим, что ширина полученных линий определяется в основном следующими причинами: 1) статистическими флуктуациями в потерях энергии; Л. Д. Ландау показал⁵, что они происходят главным образом из-за образования δ -частиц, и рассчитал форму флуктуационной кривой; 2) флуктуациями в числе фотонов, попадающих на фотокатод умножителя; 3) вариациями в длине пути частицы в сцинтилляторе; 4) флуктуациями в коэффициенте усиления фотоумножителя. Применяя хорошие сцинтилляторы с большим световым выходом, чувствительные фотоумножители и регистрируя только

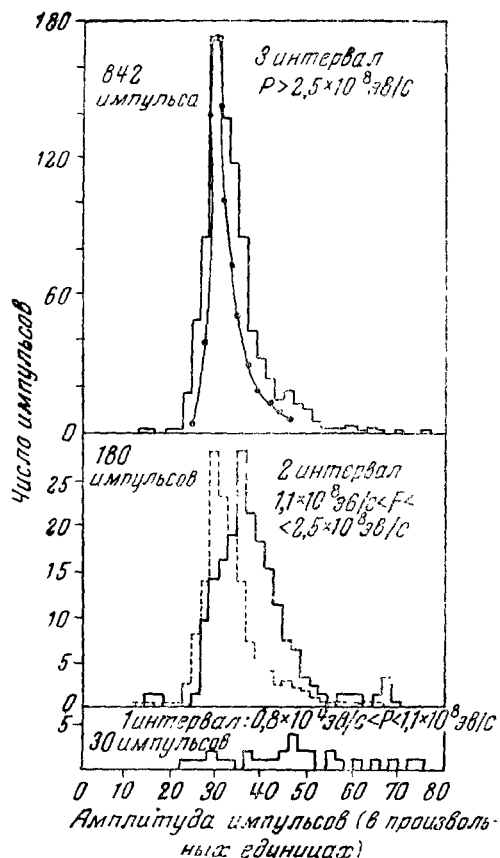


Рис. 1. Распределение амплитуд импульсов в трёх интервалах.

такие случаи, когда частицы проходят одинаковые пути в сцинтилляторе, можно значительно уменьшить флуктуации по причинам 2), 3) и 4). Однако от флуктуаций в потерях энергии избавиться нельзя, и в реферируемой работе именно ими в значительной степени определяется наблюдаемая ширина линий. Это ясно видно из рис. 1, в верхней части которого приведено полученное распределение амплитуд импульсов

на экране осциллографа для μ -мезонов, импульсы которых больше чем $2,5 \cdot 10^8$ эв/с (третий интервал). Сплошная кривая, проведенная на этом рисунке, представляет собой флуктуационную кривую Ландау, нормированную экспериментальным распределением по его максимуму. Со стороны малых амплитуд экспериментально полученное распределение хорошо совпадает с кривой Ландау, тогда как со стороны больших амплитуд наблюдается систематическое превышение экспериментального распределения над теоретическим. Полученное расхождение находится за пределами статистических ошибок и объясняется тем, что спектр μ -мезонов на уровне моря простирается далеко в область импульсов, превышающих $2,5 \cdot 10^8$ эв/с. Из формулы Бете-Блоха следует, что для таких мезонов наблюдается медленный логарифмический рост ионизационных потерь с увеличением импульса. Если кривую Ландау построить с учётом этого роста потерь, воспользовавшись при этом известным видом мезонного спектра на уровне моря, то полученное таким образом теоретическое распределение будет в хорошем согласии с экспериментальным. Рассмотрим теперь распределение, отвечающее второму интервалу импульсов. Для сравнения на этом же графике пунктиром нанесено нормированное по максимуму распределение для третьего интервала. Как и следовало ожидать, второе распределение смещено относительно третьего в сторону больших амплитуд. Если среднюю амплитуду, получаемую из распределения 3 принять за 1, то средняя амплитуда из распределения 2 равна $1,20 \pm 0,02$. Выше мы видели, что такого роста ионизационных потерь энергии и следует ожидать на основании формулы Бете-Блоха. Распределение для первого интервала оказывается ещё более смещённым в сторону больших амплитуд и даёт для средних потерь энергии величину $1,54 \pm 0,08$, что также находится в хорошем согласии с формулой Бете-Блоха. Заметим, что для частиц, энергия которых не превышает 10 Мэв, пропорциональность между потерей энергии в сцинтилляторе и его световым выходом является тщательно установленным фактом⁶. Из рассмотренной работы следует, что сцинтиллятор сохраняет свойства пропорционального счётчика и для μ -мезонов космических лучей, обладающих энергиями в сотни мегаэлектрон-вольт и большими.

Вторая работа², выполненная на высоте 3500 м над уровнем моря, заключалась в измерении распределения по величине импульсов, создаваемых космическими лучами в одиночном сцинтилляционном счётчике. При таком использовании счётчик подобен ионизационной камере. Для создания большой сцинтиллирующей поверхности слой сцинтиллирующего вещества толщиной около 0,5 см насыпался в стеклянную кювету диаметром 11 см. Фотоумножитель располагался на расстоянии 8 см от нижнего основания стеклянной кюветы и охлаждался для уменьшения тепловых шумов твёрдой углекислотой. В качестве сцинтиллятора использовались 1) хлопья коммерческого нафталина, 2) хлопья тщательно очищенного антрацена и 3) нафталин, рекристаллизованный из раствора коммерческого нафталина в CS_2 ; он представлял собой компактную массу из мелких кристаллов. После усиления импульсы от фотоумножителя подавались на осциллограф Дюмонд-248, экран которого фотографировался. Чтобы измерить фон, вызываемый шумами в фотоумножителе, между катодом последнего и сцинтиллятором помещался светонепроницаемый фильтр. Этот фон вычитался из измеренного эффекта. Результатом реферируемой работы является установление степенной зависимости вида $N(>A) = C \cdot A^{-3,2}$ для числа импульсов $N(>A)$ с амплитудой, большей чем A . Повидимому, большие импульсы в сцинтилляционном счётчике создаются главным образом в результате ядерных расщеплений, происходящих в самом сцинтилляторе или в окружающем его веществе. Такие ядерные расщепления неоднократно фиксировались с помощью неэкранированных ионизационных камер⁷. При этом для распределения величин

импульсов в камере также получалась степенная зависимость с показателем степени, близким к трём. Приведённый результат, полученный со всеми тремя сцинтилляторами, показывает, что сцинтилляционный счётчик подобно ионизационной камере чувствует ядерные расщепления и пригоден для их детектирования. Во второй части работы² была измерена относительная эффективность различных сцинтилляторов к космическому излучению, т. е. относительная величина импульсов, создаваемых на выходе фотоумножителя при использовании различных сцинтилляторов. Для этих измерений, как и в работе², сцинтиллятор помещался в телескоп из счётчиков Гейгера. Относительная эффективность различных кристаллов и жидкостей, измеренная таким образом, приведена в таблице, где эффективность кристалла нафталина принята за 100. Разумеется, приведённые данные характеризуют счётчик в целом, т. е. сцинтиллятор и фотоумножитель.

Работа³, представляющая наибольший интерес по своим результатам, посвящена исследованию первичного космического излучения. Аппаратура, состоявшая из сцинтилляционного счётчика, телескопа из счётчиков Гейгера, усилителя и осциллографа с фотозаписью, была поднята на шарах-пилотах до высоты 30 км, где оставалась в течение 5 часов. Схема, показывающая относительное расположение и размеры телескопа и сцинтилляционного счётчика, приведена на рис. 2. За всё время измерений на высоте 30 км было зарегистрировано 30 000 импульсов, и на рис. 3 приведено распределение импульсов по амплитудам. Напомним, что импульс, создаваемый релятивистской частицей с зарядом Z , пропорцио-

Вещество сцинтиллятора	Эффек- тивность
Кристаллы:	
Нафталин	100
Антрацен	250
CaF ₂	40
Жидкости:	
Антрацен в бензоле	10
Нафталин в бензоле	15
Терфенил в ксилене	75

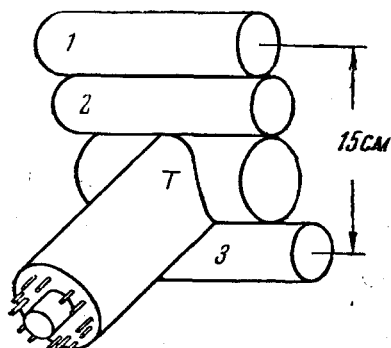


Рис. 2. 1, 2, 3 — счётчики Гейгера. T — T-образная труба, в которую вмонтированы фотоумножитель и сцинтиллятор.

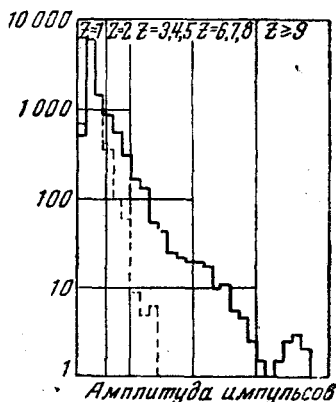


Рис. 3.

нален Z^2 . Поэтому импульсы от быстрых частиц с разным зарядом Z должны попадать в разные места распределения, приведённого на рис. 3: чем больше заряд частицы, тем больше импульсы она создаёт. На рис. 3

показано также, в каком месте спектра должны находиться максимумы распределений для частиц с разными Z . На том же рис. 3 приведено распределение, полученное во время подъема установки между высотами 5 и 16 км (пунктир). Сравнение обоих спектров ясно показывает наличие

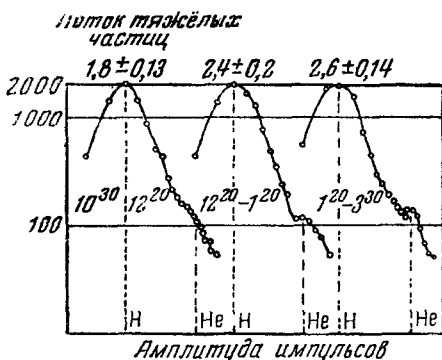


Рис. 4.

числа больших импульсов (см. на рис. 4 «поток тяжелых частиц») они наблюдали заметное увеличение числа α -частиц в спектре. Это видно из рис. 4, где представлены три распределения, полученные в разные часы. Очевидно, что вопрос о дневном эффекте первичного космического излучения имеет большое значение для всех теорий происхождения космических лучей: его существование, окончательно установленное, говорило бы о солнечном происхождении по крайней мере части излучения. Метод сцинтилляционных счётчиков позволит в течение короткого времени получить статистически достоверные данные по этой проблеме, тогда как соответствующие исследования, производимые методом фотопластинок, потребуют весьма продолжительных измерений.

А. Вайсенберг

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. F. X. Roser and T. Bowen, Phys. Rev. **82**, 284 (1951).
2. D. D. and C. G. Montgomery, Phys. Rev. **80**, 757 (1950).
3. E. P. Ney and D. M. Thon, Phys. Rev. **81**, 1068 (1950).
4. Росси и Грейзен, Взаимодействие космических лучей с веществом, ГИИЛ, 1948, стр. 15.
5. Л. Д. Ландау, J. Physics USSR **8**, 201 (1944).
6. R. W. Pringle, Nature **166**, 11 (1950).
7. C. G. and D. D. Montgomery, Phys. Rev. **76**, 1482 (1949).
8. J. J. Lord and M. Shein, Phys. Rev. **80**, 304 (1950).

МНОГОКРАТНОЕ РАССЕЯНИЕ μ -МЕЗОНОВ

Определение энергии быстрой частицы по величине многократного кулоновского рассеяния, испытываемого ею в фотоэмульсии, стало в последние годы одним из наиболее распространённых методов в физике космических лучей. В связи с этим имеет большое значение эксперимен-