

3. ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

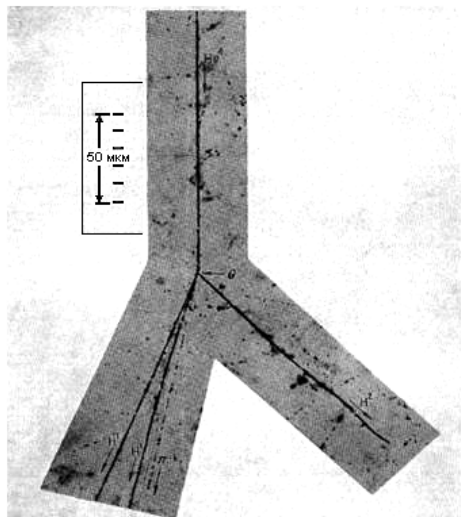


Рис. 16. Распад ^4He на лету (фотоэмульсия)

Впервые возможность регистрации ядерных излучений фотографическим методом продемонстрировал А.Беккерель, открывший в 1896 с помощью фотопластинок радиоактивность урана. Но по настоящему в практику субатомных исследований этот метод вошёл в конце сороковых годов прошлого века после создания С.Пауэллом специальных фотопластинок с толстым эмульсионным слоем (эта работа была отмечена Нобелевской премией).

Фотографирование следов заряженных частиц в фотоэмульсиях, несмотря на развитие других методов регистрации частиц, является одним из важных методов современной ядерной физики. Фотографическая эмульсия состоит из большого числа мелких кристаллов бромистого серебра, распределенных в желатине. Размеры

кристаллов от 0,1 до 1 микрона. Если через эмульсию пролетают ионизирующие частицы, то в некоторых кристаллах происходят определенные изменения, приводящие к тому, что после проявления (обработки специальным раствором) зерна эмульсии превращаются в частицы металлического серебра. Совокупность большого числа темных зерен образует видимое черное изображение. Анализируя полученное изображение траектории заряженной частицы в фотоэмульсии можно идентифицировать различные частицы.

При исследовании частиц высоких энергий (на ускорителях или в космическом излучении) фотопластинки укладывают в большие стопки в несколько сотен слоев. Объем стопок доходит до десятков листов образуется практически сплошная фоточувствительная масса. После экспозиции отдельные слои могут быть наклеены на стеклянные подложки и обработаны обычным образом. Положение слоев точно маркируется, благодаря чему траекторию частиц легко проследить по всей стопке, переходя от слоя к слою.

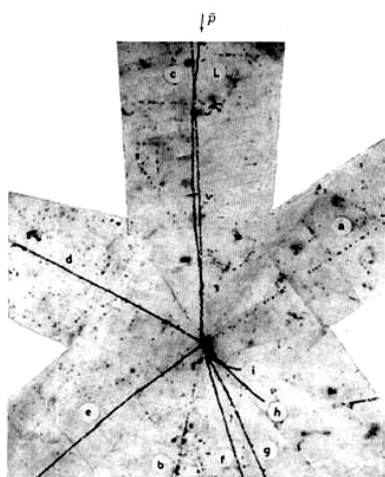


Рис. 17. Аннигиляция антипротона в ядерной эмульсии.

Свойства следа, оставленного в эмульсии заряженной частицей, зависят от её заряда Z , скорости v и массы M . Так, остаточный пробег частицы (длина следа от его начала до точки остановки) при данных e и v пропорционален M ; при достаточно большой скорости v частицы плотность зёрен (число проявленных зёрен на единицу длины следа) $g \sim e^2/v^2$. Если плотность зёрен

слишком велика, они слипаются в сплошной чёрный след. В этом случае, особенно если e велико, мерой скорости может быть число δ -электронов, образующих на следе характерные ответвления. Их плотность также $\sim e^2/v^2$. Если $e=1$, а $v \sim c$ (c - скорость света), то след частицы в релятивистской ядерной фотоэмульсии имеет вид прерывистой линии из 15-20 чёрных точек на 100 мкм пути. В ядерной фотоэмульсии можно

измерять рассеяние частицы, среднее угловое отклонение на единицу пути: $\phi \sim e/pv$ (p - импульс частицы). Ядерную фотоэмульсию можно поместить в сильное магнитное поле и измерить импульс частицы и знак её заряда, что позволяет определить заряд, массу и скорость частицы. Достоинства метода автордиографии - высокое пространств, разрешение (можно различать явления, отделённые расстояниями < 1 мкм, что для релятивистской частицы соответствует временам пролёта $< 10^{-16}$ сек) и возможность длительного накопления редких событий.

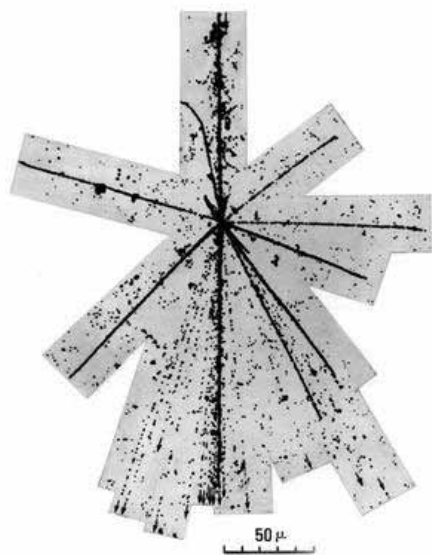


Рис. 18. Следы частиц с различной ионизирующей способностью. «Звезда» создана π -мезоном с энергией 750 МэВ. На следе, идущем вправо, заметны «веточки» медленных δ - электронов.

Открытие и наблюдение распадов π -мезонов в ядерных эмульсиях явилось убедительной демонстрацией преимуществ этого метода. С помощью ядерных фотоэмульсий были обнаружены тяжелые

ядра в составе первичного космического излучения. Ядерные фотоэмульсии используются для непосредственного наблюдения редких процессов. Так, ядерные эмульсии использовались при регистрации τ -нейтрино.

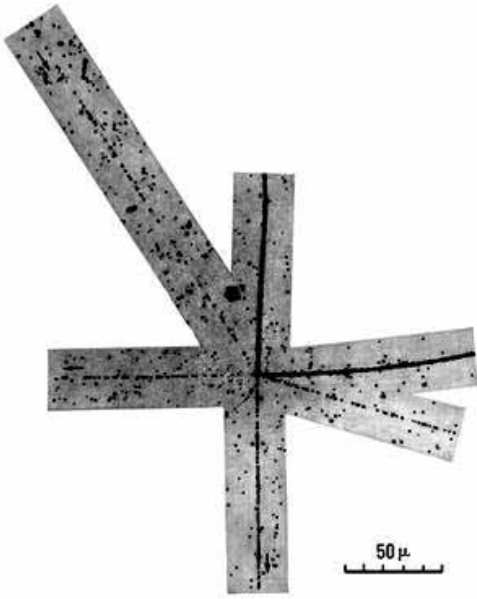


Рис. 19. «Звезда», образованная ядром серы из первичного космического излучения, след унизан многими следами δ -электронов. Следы частиц с небольшой ионизацией (стрелки) принадлежат мезонам, возникшим при столкновении ядра S с ядрами эмульсии.

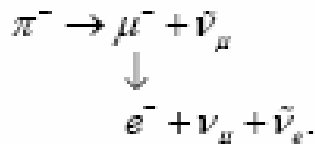
С 1945 по 1955 методом ядерной фотоэмульсии были сделаны важные открытия: зарегистрированы π -мезоны (пионы) и последовательности распадов $\pi = \mu + \nu$, $\mu = e + \nu + \nu$ в ядерной фотоэмульсии, экспонированных космическим излучением, а также обнаружены ядерные взаимодействия π - и K -мезонов. С помощью ядерных фотоэмульсий удалось оценить время жизни π^0 -мезона (10^{-16} сек), обнаружен распад K -мезона на 3 пиона, открыт Σ -гиперон и обнаружено существование *гипер-ядра*, открыт антилямбдагиперон. Методом ядерной фотоэмульсии был

исследован состав первичного космического излучения; кроме протонов, в нём были обнаружены ядра He и более тяжёлых элементов, вплоть до Fe. С 60-х гг. метод ядерных фотоэмульсий вытесняется *пузырьковыми камерами*, которые дают большую точность измерений и возможность применения ЭВМ для обработки данных.

С появлением коллимированных пучков частиц на ускорителях стало возможно исследовать пробег частиц в эмульсии, изучить зависимость плотности почернений на следах частиц от их массы, заряда и энергии. Плотность почернений на следах протонов оказалась меньше, чем на следах α -частиц, имеющих одинаковые скорости. Было показано что плотность почернений на следах частиц зависит от удельных ионизационных потерь энергии, которые заряженная частица испытывает при прохождении через вещество. Это позволило идентифицировать частицы по измерениям их заряда и массы, определить энергии частиц, исследовать времена жизни и характеристики распада нестабильных частиц. Фотоэмульсии экспонировались космическими лучами на высоте гор и поднимались на воздушных шарах. Было обнаружено, что ядра элементов, входящих в состав эмульсии, расщепляются под действием космических лучей на множество осколков.

Одним из блестящих успехов метода фотоэмульсий было открытие новых нестабильных частиц. В

1947 г. Перкинс открыл отрицательно заряженный π -мезон, и вскоре после этого был открыт его положительно заряженный аналог. На рисунке показана цепочка последовательных распадов



Видно, как с уменьшением массы регистрируемой в эмульсии частицы наблюдается уменьшение плотности ионизации. Нейтрино, являясь нейтральной частицей, не оставляют следов в фотоэмульсии.

Рис. 20. К открытию отрицательных π -мезонов.

