

МОСКОВСКИЙ МЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Министерства Культуры СССР

Dp 8/10

На правах рукописи

Аспирант В. Г. КИРИЛЛОВ-УГРЮМОВ

МАГНИТНЫЙ МАССПЕКТРОМЕТР В СОЧЕТАНИИ С
КАМЕРОЙ ВИЛЬСОНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель член-корреспондент АН СССР
доктор физ. мат. наук профессор — А. И. Алиханян



53 - 35049

Изучение свойств нестабильных частиц, обнаруженных в течение последних нескольких лет в космических лучах, имеет важное значение для ядерной физики.

Впервые указание о существовании заряженных частиц с массами большими массы мю — мезона и меньшими массы протона было получено советскими физиками Алихановым и Алиханяном, в результате исследований космического излучения на высоте 3200 м. в 1944—1947 г.г.

В 1951 г. Алиханян, Шостакович и Дадаян опубликовали спектр масс частиц космического излучения, зарегистрированный на магнитном массспектрометре, в котором группы частиц с массой 600 Ме и массой 1000 Ме четко отделены от пи — мезонов и протонов.

За рубежом нестабильные заряженные частицы с массами 1000 Ме и 600 Ме наблюдались в ядерных фотопластинках и камерах Вильсона. Новые частицы в зависимости от характера распада, метода исследования, значения массы — получили разнообразные наименования: варитроны, к, хи, тау, кси и с мезоны, V^\pm — частицы и т. д.

Возможно, что после того, как будет набран достаточный статистический материал, некоторые частицы с массой промежуточной между массой пи — мезона и протона, которые имеют в настоящее время различные названия, окажутся частицами одной и той же природы.

Интенсивность «промежуточных» частиц зависит от условий опыта. Однако, даже в наиболее благоприятных условиях она не превышает нескольких сотых процента от общего потока частиц космического излучения.

Прибор, предназначенный для исследования состава и свойств частиц космического излучения, должен обладать большой светосилой, т. е. интенсивно регистрировать интересующие явления, обеспечить высокую точность в определении массы и позволять изучать концы траекторий для суждения о характере остановки и природе вторичных частиц. В свете этих требований была сделана попытка объединить магнитный массспектрометр с камерой Вильсона.

Исследованию характеристик магнитного массспектрометра в сочетании с камерой Вильсона и конструкции посвящена настоящая диссертационная работа.



1500100344

Установка состоит из телескопа счетчиков, помещенных в однородное магнитное поле, и камеры Вильсона, в которой регистрируются остановки частиц.

11 рядов счетчиков телескопа позволяют определить шесть точек траектории частицы в проекции «А», параллельной магнитному полю (ряды I, II, III, IV, V и VI), и пять точек в проекции «В», плоскость которой перпендикулярна полю (ряды 1, 2, 3, 4 и 5).

Если траектория частицы в проекции «А» аппроксимируется прямой, то можно считать, что частица не испытала рассеяния на большой угол в этой проекции. Кривизна траектории в проекции «В» обусловлена, в основном, отклонением частицы в магнитном поле. Радиус кривизны R в однородном магнитном поле H связан с импульсом частицы, выраженным в единицах $\frac{ev}{c}$, выражением:

$$R = 300 \frac{Hr}{ev}$$

Для определения радиуса кривизны круговой траектории, достаточно вообще трех ее точек. В проекции «В» траектория регистрируется пятью рядами, поэтому имеется возможность контроля измеренного значения кривизны по совпадению с одной или двумя дополнительными точками траектории. Такой контроль, наряду с контролем траектории в проекции «А», обеспечивает достоверность вычисленных параметров движения частицы.

Магнитное поле создавалось электромагнитом с размерами полюсов $1000 \times 300 \text{ mm}^2$ и межполюсным зазором 120 мм. Максимальное значение напряженности поля 19000 ое. Направление поля при рабочих измерениях периодически менялось, что позволяло учесть селективность установки к частичкам различного знака заряда.

Пробег частицы оценивался по окончанию следа внутри камеры Вильсона, в которой были укреплены 9 трехмиллиметровых медных пластин. Размеры рабочего объема камеры $380 \times 230 \times 100 \text{ mm}^3$. Если перед остановкой частицы наблюдалось увеличение плотности следа, то имелось основание считать причиной остановки частицы ионизационные потери энергии. В этом случае по импульсу и пробегу можно вычислить массу остановившейся частицы.

Ошибки в определении массы зависят от точности измерения радиуса кривизны, пробега и колебаний величины магнитного поля. Чтобы уменьшить ошибку в измерении кривизны из-за конечного размера счетчиков, диаметры счетчиков, особенно 1, 2, 3, 4 и 5 рядов, имели малые размеры (4, 6 мм). Рассеяние частиц в стенках счетчиков 2, II и 4, IV рядов, выполненных из алюминия, было практически несуществен-

ным. Точность в измерении пробега зависела от соотношения между толщиной пластины, в которой остановилась частица, и суммарной толщиной слоя вещества, пройденного частицей после измерения импульса в телескопе.

Номера счетчиков, через которые прошла частица, определялись по вспышкам неоновых лампочек, соединенных через усилитель соответственно с каждым счетчиком телескопа. Фотографирование вспышек неоновых лампочек и расширение в камере Вильсона происходило при совпадениях импульсов от счетчиков в рядах 1—3—5—V (либо, в другой серии измерений, в рядах 2—3—5—VI) при отсутствии импульсов в ряду антисовпадений. Ряд антисовпадений помещался под дном камеры и перекрывал телесный угол, вырезаемый телескопом.

Чтобы вторичные частицы, которые могут образоваться при остановке частицы, прошедшей через телескоп, не попадали в ряд антисовпадений, между камерой и антисовпадительным рядом ставилось 2 см. свинца.

Камера Вильсона, предназначенная для работы с магнитным массспектрометром, обладает некоторыми конструктивными особенностями.

Наиболее удобной формой камеры является прямоугольная форма. Камеру Вильсона прямоугольной формы можно вплотную придвигнуть к полюсам магнита и регистрировать частицы с большим радиусом кривизны, т. е. частицы, импульс которых можно измерить с наибольшей точностью. В цилиндрической камере такие частицы лишь задевают верхнюю часть рабочего объема и фактически не будут регистрироваться.

Обмотки электромагнита и ярмо ограничивают пространство, в котором располагается камера вместе со вспомогательными устройствами. Расстояние между стеклом камеры и щекой катушки электромагнита всего около 30 см. Ограничения пространства приводят к необходимости фотографировать камеру с малых расстояний. Чтобы обеспечить достаточную глубину резкости, объективы фотоаппарата приходится сильно диафрагмировать. Диафрагмирование, в свою очередь, требует увеличения освещенности фотографируемых объектов.

Количество света, рассеянное на водно-спиртовой капле, резко меняется в зависимости от угла рассеяния. Увеличение освещенности следов можно достигнуть, если расположить источник света и фотоаппарат так, что направление освещения и направление фотографирования составят угол меньший прямого. Освещение в нашей камере производилось через заднее стекло. Направление светового пучка составляло с оптической осью объективов угол 50° . Такое расположение системы освещения позволило в три раза увеличить количество рассеянного света от капель, попадающего в фотоаппарат, по отношению к

общепринятой системе освещения и фотографирования под прямым углом.

Выбор системы освещения привел к необходимости расположить расширительные объемы с боков камеры. Мы производили расширение камеры Вильсона с двух противоположных сторон, хотя снимки получались и при расширении в одну сторону.

Двустороннее расширение связано с меньшими перемещениями диафрагмы, что благоприятно оказывается на работе камеры. Кроме того, при расположении клапанов с боков легче осуществить их магнитную экранировку. Специально исследовалось влияние степени разновременности в срабатывании клапанов на качество получаемых изображений. Интервал разновременности 3—5 м. сек. не оказывает заметного влияния на характер изображений. Такой интервал времени перекрывал флуктуации в моменте открывания клапанов.

Нами использовались клапаны электромагнитного типа. Момент открывания клапанов происходил примерно через 0,015 сек по отношению к моменту прохождения частицы. Начало расширения практически совпадало с моментом открытия клапана.

Освещение камеры производилось посредством импульсных ламп ИПК-400. На каждую лампу разряжался конденсатор емкостью 48 МФ, заряженный до 3,5 кв. Световой пучок фокусировался специальной оптической системой. Фотографирование производилось стереофотоаппаратом, изготовленным в лаборатории. Протяжка пленки осуществлялась автоматически с помощью электромоторчика. Использование зеркала позволило увеличить расстояние между фотоаппаратом и серединой камеры Вильсона до 65 см. Зеркало имело наружное покрытие алюминием.

Исследовались различные чувствительные негативные фотоматериалы, пригодные для съемки следов в камере Вильсона. Контрастные изображения с хорошей проработкой как слабых, так и плотных следов без заметной вуали, получались при использовании аэрофотопленки типа 10—400 или пленки пан-хром высшей чувствительности, обрабатываемых в проявителе, рецепт которого приведен в диссертации.

Терmostатирование камеры осуществлялось циркуляцией терmostатированной воды через рубашки, припаянные к металлическим частям камеры и обдувом воздухом, заданной температурой, стекол камеры. Температура камеры могла поддерживаться постоянной в пределах 1°.

Радиотехнический блок управления установки принципиально не отличается от соответствующих схем, связанных с управлением магнитного массспектрометра и блоков управления

камер Вильсона. В блоке управления была включена система «медленных» расширений, которая позволяла повысить качество снимков следов в камере Вильсона.

Специальная ячейка, поджигающая сигнальные лампочки в поле зрения как фотоаппарата камеры Вильсона, так и аппарата регистрирующего вспышки неоновых лампочек телескопа, позволяла надежно производить сопоставление снимков, соответствующих траектории одной частицы. Отдельная схема предназначалась для контроля за одновременным срабатыванием клапанов.

Для выяснения возможностей сконструированной установки, на г. Алагез (3200 м. над уровнем моря) была проведена кратковременная серия измерений частиц космического излучения. Измерения проводились при значениях поля 4100 и 6500.

Короткоживущие частицы генерировались в 3-х см. свинца и 18 см. парафина, расположенных вплотную к верхнему краю полюса. При измерениях в поле 6500 Ое на расстоянии 1,8 м. от верхнего края полюса, ставилось дополнительно 3 см. свинца и 18 см. парафина, а также над V рядом 2 см. графита.

В результате 505 часов измерений было зарегистрировано 101 протон, 52 мезона и 5 частиц с массой промежуточной между массой протона и пи — мезона. Чтобы сравнить интенсивность различных частиц необходимо ввести в результат поправку на светосилу для каждого значения поля порознь. Поправка на светосилу учитывает вероятность регистрации установкой, частиц с различными радиусами кривизны и различной массой.

В число протонов, мезонов и «промежуточных» частиц включены лишь частицы, которые удовлетворяют следующим условиям:

1. Траектория частицы в проекции «А» телескопа априори является прямой, а в проекции «В» окружностью.

2. Имеется соответствие участков траектории в телескопе и камере Вильсона. Положение следа в камере Вильсона определялось на стереокомпараторе.

3. Остановка частицы предшествует увеличению плотности следа, т. е. массы частиц вычислялись лишь для частиц, останавливающихся ионизационным образом.

4. Остановка частицы имеет место в пластинах от № 2 до № 8. Для частиц останавливающихся в пластинах № 1 и № 9 а также в фильтре под камерой, нельзя сделать надежных выводов ионизирующей способности.

В пределах набранного статистического материала можно установить согласие между количеством различных частиц и результатами измерений, выполненных Алиханяном и сотрудниками в 1950 г. Ширина распределения частиц соответствует

расчетной ошибке в определении массы. Так для протонов полуширина распределения равна 300 Ме, а расчетная ошибка 250 Ме.

В диссертации приводятся примеры фотографий следов протонов, мезонов, частиц с промежуточными массами, а также «звезд» образованных быстрыми заряженными частицами.

В качестве примера остановки частицы, природа которой отлична от природы пи или мю — мезонов, протонов и электронов, рассматривается снимок следов четырех частиц. Градиент и степень ионизации соответствует остановке частицы (1), идущей сверху вниз в 7-ой пластине камеры. Из точки остановки частицы (1) выходят три следа частиц (2), (3) и (4) с повышенной ионизацией, которые оканчиваются в следующих медных пластинах.

Масса частицы (1), вычисляемая по импульсу и пробегу, заключена в интервале 600 — 1100 Ме. Ширина интервала обусловлена тем, что частица около V ряда задела полюс магнита и импульс ее определен не точно.

Массы вторичных частиц (2) и (3), идущих вверх, судя по ионизации и пробегу, нельзя отождествить с протонами. С другой стороны, отсутствие рассеяния в газе вторичных частиц (2), (3) и (4) с такой повышенной ионизацией, исключает их объяснение как электронов. Существенно, что все три вторичные заряженные частицы, в пределах точности измерения $\pm 4^\circ$, компланарны. Знак частицы (1) по отклонению в магнитном поле, соответствует положительному знаку.

Оценки массы первичной и вторичных частиц, компланарность вторичных частиц, знак заряда, — позволяют интерпретировать наблюдающееся явление как остановку и распад на три мезона, сходного с так называемым тау — распадом. Кинетическая энергия вторичных пи — мезонов, которую можно оценить по пробегам, но противоречит величине Q , определенной при наблюдении остановок и распадов тау мезонов в фотопластинках.

Некоторое ослабление плотности следа частицы (1) в отсеке 3—4, а также причины, вызвавшие образование «тени» следа вторичной частицы (4), которая идет вниз, обсуждаются в диссертации. Эти дефекты не могут сказать на вышеприведенной интерпретации данного случая.

Было зарегистрировано три случая остановки частиц, для которых значение массы, определенное по импульсу и пробегу, около 500 Ме. Характер распада этих частиц установить однозначно пока трудно.

Результаты предварительных измерений показывают, что созданная установка может быть использована для изучения состава и свойств космических частиц.

Светосила установки такова, что в течение 8—10 месяцев измерений можно зарегистрировать несколько десятков частиц с «промежуточными» массами. Точность в определении массы не уступает точности измерения масс в установках с камерами Вильсона и фотопластинках.

Факт регистрации в установке заряженных частиц, отличных по своей природе от электронов, протонов, пи и мю — мезонов, указывает, что время жизни таких частиц, повидимому, превышает 10 сек.

Протяженность установки позволит получить более точные оценки времени жизни подобных частиц.