

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

ИСКУССТВЕННОЕ ПОЛУЧЕНИЕ МЕЗОНОВ

В. Лопухин и В. Угаров

Совсем недавно в этом же журнале сообщалось о некоторых замечательных успехах ядерной физики, достигнутых с помощью гигантского синхроциклотрона в Беркли^{1, 2, 3}.

В частности, с помощью этого ускорителя удавалось разгонять ядра гелия до энергий порядка 400 MeV (искусственные α -частицы).

Область энергий от 100 MeV до 1000 MeV представляет собой ту область энергий, к изучению которой только ещё приступают и где естественно ожидать ряда новых эффектов и явлений. Одним из таких явлений, характерным для энергий порядка 100 MeV, было явление свечения релятивистских электронов в ускорителях, визуально обнаруженное на синхротроне в Скинектэди³.

Другим крупным достижением ядерной физики, связанным с применением ускорителей, является искусственное получение (генерация) мезонов, сведения о котором получены лишь в самое последнее время⁴. До сих пор мезоны были известны только в космических лучах.

В заметке Окиалини и Поуэлла⁴ сообщается, что при бомбардировке быстрыми α -частицами ядер углерода, бериллия, меди и урана Гарднеру и Латтесу¹⁰ удалось обнаружить порождение мезонов. Мезоны обнаруживались с помощью фотографической пластинки с соответствующим образом подобранной эмульсией*). Фотографическая пластинка помещалась на некотором расстоянии от мишени.

Эксперименты показывают, что генерация мезонов делается заметной после того, когда энергия α -частиц достигает 300 MeV. Далее с ростом энергии выход мезонов начинает быстро расти.

Совершенно естественно возникает вопрос о том, представляют ли искусственно генерируемые мезоны те же самые мезоны, которые наблюдаются в космических лучах. Напомним, что сейчас принято

*) Фотографии такого типа приведены в статье Латтеса и др., УФН 34, 370 (1948); см. также фотографии к переводу книги Окиалини и Поуэлла публикуемой в этом и следующем номере журнала. Некоторые сведения об эмульсии см. УФН, 34, 450 (1948).

считать мезоном всякую частицу с массой, промежуточной между массой электрона и массой протона. Масса протона составляет, как известно, около 1840 масс электрона.

В космических лучах обнаружено несколько значений масс частиц, вокруг которых группируются экспериментальные данные и которые лежат в указанном интервале. Другими словами, в космических лучах есть несколько сортов мезонов. Так, по данным А. Алиханова, А. Алиханяна и Вайсенберга⁵ в указанном интервале имеются частицы с массами 300—500 m_e и 700—1000 m_e . Согласно тем же авторам⁶ одним из достоверных значений массы мезона является 350 m_e .

Указанные эксперименты проводились с помощью счётчиков на горе Алагёз на высоте 3250 м.

Английские авторы⁷ проводили исследования космических лучей с помощью толстослойных фотографических пластинок на большой высоте. (Пик Дю Миди в Пиренеях 2800 м, Боливийские Анды 5500 м.) В результате этих исследований было получено большое число снимков (644 фотографии), на которых заканчивались треки частиц, отождествлявшихся впоследствии с мезонами в указанном выше смысле. Основные результаты этих исследований таковы. В космических лучах существует два сорта мезонов, различающихся по массе: тяжёлые и лёгкие. Осторожности ради, авторы делят тяжёлые заряженные мезоны на два типа — « π -мезоны» и « σ -мезоны», хотя есть основания считать, что эти частицы обладают одинаковой массой и отличаются лишь знаком заряда. π - и σ -мезоны существенно по-разному ведут себя на концах своих треков. Медленные σ -мезоны, несущие отрицательный заряд, как правило, захватываются ядрами вещества эмульсии и приводят к ядерным расщеплениям, с последующим вылетом тяжёлых заряженных частиц («звёзды в космических лучах»). Опыт показывает, что σ -мезоны захватываются как лёгкими, так и тяжёлыми ядрами.

Большинство треков π -мезонов, несущих положительный заряд, показывает, что на конце трека тяжёлый мезон распадается и порождает мезон с массой, меньшей массы π -мезона. Расщепления ядер вещества эмульсии π -мезоны не вызывают. Более лёгкий мезон, появляющийся в конце трека π -мезона, носит название μ -мезона.

Можно считать, что тяжёлые π -мезоны спонтанно распадаются с испусканием лёгких μ -мезонов. Предполагается, что при распаде импульс μ -мезона уравнивается импульсом незаряженной частицы той же массы, не регистрируемой фотопластинкой.

Авторы указывают, что σ - и, возможно, π -мезоны возникают в результате расщепления ядер. Предполагается, что большинство μ -мезонов, наблюдаемых на уровне моря, представляет собой результат распада π -мезонов в воздухе. σ - и π -мезоны имеют малое время жизни, заключённое в интервале от 10^{-6} до 10^{-1} секунды.

Учитывая возникновение π - и σ -мезонов при распаде ядер, можно думать, что эти частицы сильно взаимодействуют с нуклонами.

В неопубликованной работе Гольдшмидта и др.⁸ методом изучения многократного рассеяния мезонов в эмульсии была определена масса π - и σ -мезонов. Оказалось, что для значения массы π - и σ -мезонов следует принять цифру $(270 \pm 40) m_e$.

С другой стороны, в упоминавшейся уже выше работе⁷ путём подсчёта числа эмульсионных зёрен по треку частицы было найдено отношение масс π - и μ -мезонов. Оказалось, что $\frac{m_\pi}{m_\mu} = (1,65 \pm 0,15)$.

Если допустить, что μ -мезон, возникающий при распаде π -мезона, тождественен с лёгким мезоном в проникающей компоненте космических лучей, т. е. что $m_\mu = 200 m_e$, то отсюда следует, что $m_\pi = (330 \pm 30) m_e$.

Напомним ещё раз здесь, что одно из вероятных значений масс мезонов, определённых в СССР⁶, равно $350 m_e$. Таким образом, три независимых метода измерений масс мезонов в космических лучах указывают на присутствие в космических лучах заряженных частиц с массами, близкими к значению $300 m_e$.

Внёмся к искусственной генерации мезонов, осуществлённой на синхроциклотроне в Беркли. Наблюдая отклонение мезонов в магнитном поле циклотрона, можно определить знак электрического заряда мезона и произведение напряжённости магнитного поля H на радиус кривизны траектории мезона ρ , т. е., в конечном счёте, импульс частицы. Зная пробег частицы (т. е. её энергию) и её импульс, можно определить массу частицы. Среднее значение массы, получаемое таким способом, оказалось равным $(313 \pm 16) m_e$. Авторы утверждают, что в том случае, если использовать большее число треков, имеющихся в их распоряжении, то можно будет довести точность измерения до $(313 \pm 7) m_e$.

Таким образом, масса тяжёлых мезонов, порождённых искусственно в лабораторных условиях, с точностью до ошибок эксперимента совпадает с массой одного из сортов мезонов, встречающихся в космических лучах. Кроме того, искусственные мезоны разных знаков ведут себя на концах треков в точности так же, как π - и σ -мезоны космического излучения, т. е. дают соответственно звёзды или спонтанное испускание лёгкого мезона.

Время жизни искусственных мезонов имеет порядок 10^{-9} сек. Оккиалини и Поуэлл, ссылаясь на неопубликованную работу⁹ по измерению времени полураспада π - и σ -мезонов в космических лучах, дают для этого времени значение $4 \cdot 10^{-9}$ сек.

Следовательно, можно с большой уверенностью полагать, что π - и σ -мезоны космических лучей тождественны с искусственно генерируемыми мезонами.

Эксперименты на циклотроне в Беркли позволяют заключить, также, что наряду с тяжёлыми мезонами порождаются и лёгкие мезоны с массой порядка $200 m_e$.

Оценим, какой энергией должны обладать бомбардирующие α -частицы для того, чтобы мог породиться мезон с массой $300 m_e$. Энергетически масса $300 m_e$ эквивалентна 150 MeV . Полагая, что в порождении мезона участвуют непосредственно лишь два нуклона: один нуклон из ядра бомбардируемого вещества и один нуклон α -частицы, представляется естественным ожидать начала генерации при энергиях α -частиц (содержащих по четыре нуклона) порядка 600 MeV . Поэтому несколько неожиданным явилось то обстоятельство, что генерация мезонов на циклотроне в Беркли началась уже при энергиях α -частиц около 300 MeV , что соответствует энергии 75 MeV на один нуклон.

Была сделана попытка¹⁰ разъяснить эту ситуацию в рамках представления о парных взаимодействиях нуклонов бомбардирующего и бомбардируемого вещества. Это объяснение отнюдь не убедительно, но пока остаётся единственным, поэтому мы его приводим.

Макмиллан и Теллер¹¹ предложили рассматривать порождение нуклонов, как результат взаимодействия двух нуклонов реагирующих веществ. При этом существенно учитывать кинетическую энергию внутриядерного движения нуклонов. По порядку величины эта энергия может быть равна энергии связи нуклонов. Для углерода и α -частицы можно считать её равной 25 MeV . Тогда, допуская существование столь удачных соударений, что полностью складываются кинетические энергии нуклонов и относительная кинетическая энергия взаимодействующих ядер, можно получить требуемые энергии. В самом деле, допустим, что α -частица разгоняется до 300 MeV , тогда полная (максимальная) кинетическая энергия будет равна

$$\frac{1}{2} (\sqrt{75} + \sqrt{25} + \sqrt{25})^2 \cong 190 \text{ MeV}.$$

Последняя величина более чем достаточна для порождения мезона с массой, равной $\sim 300 m_e$.

Эти соображения позволяют дать примерно верную пороговую границу энергий для порождения мезонов (300 MeV).

Никаких дальнейших подробностей в реферируемой работе не имеется. Однако искусственная генерация мезонов привлекает к себе столь большое внимание, что можно надеяться на получение в ближайшем будущем более подробных сведений.

Подведём итоги. В лабораторных условиях с помощью мощного ускорителя, разгоняющего α -частицы до энергий порядка 400 MeV , удалось искусственно получить мезоны, открытые десять лет тому назад в космических лучах. Эти частицы, сильно взаимодействующие с нуклонами, могут и должны доставить нам новые сведения о взаимодействии нуклонов, о котором мы знаем так мало. Получение мезонов в лабораторных условиях позволяет нам использовать управляемые пучки этих частиц большой интенсивности.

Искусственная генерация мезонов — это выдающийся успех лабораторной техники физического экспериментатора, все сложности которого в ряд ли могли бы быть здесь упомянуты.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. М. Рабинович, Успехи физич. наук, **32**, 396 (1947).
 2. Э. Шпольский, Успехи физич. наук, **34**, 440 (1948).
 3. В. Лопухин и В. Угаров, Успехи физич. наук, **34**, 398 (1948).
 4. G. P. S. Occhialini and C. F. Powell, Nature **161**, 551 (1948).
 5. А. Алиханов, А. Алиханян и Вайсенберг, ЖЭТФ, **18**, 301 (1947).
 6. А. Алиханов, А. Алиханян и др. ДАН, **58**, 1321 (1947).
 7. К. М. Г. Латтес, Г. П. С. Оккиалини, К. Ф. Поуэлл и Ф. К. Франк, Успехи физических наук, **34**, 370 (1948).
K. M. G. Lattes, Muirhead and G. P. S. Occhialini, Nature **159**, 694 (1947).
 8. Goldschmidt, King, Muirhead and Ritson (в печати).
 9. К. М. Г. Латтес, G. P. S. Occhialini and K. F. Powell, (в печати).
 10. Gardner and Lattes, Science (March. 12, 1948).
 11. Mc Millan and Teller, Phys. Rev., **72**, 1 (1947).
- — — — —