

2. Н. Г. Биргер, В. И. Векслер, Н. А. Добротин, Г. Т. Зацепин, Л. В. Курносова, А. Л. Любимов, И. Л. Розенталь, Л. Х. Эйдуc, ЖЭТФ 19, 826 (1949).
3. Г. Т. Зацепин, ДАН 67, 993 (1949).
4. G. Cocconi a. V. Cocconi-Tongiorgi, Phys. Rev. 79 730 (1950).
5. K. Greisen, W. Walker, S. R. Walker, Phys. Rev. 80, 535 (1950).
6. УФН 41, 211 (1950).
7. G. Cocconi, V. Tongiorgi a. K. Greisen, Phys. Rev. 76, 1020 (1949).

«ЗВЕЗДА», ОБРАЗОВАННАЯ ПРОТОНОМ С ЭНЕРГИЕЙ $3 \cdot 10^{18}$ ЭЛЕКТРОН-ВОЛЬТ

Недавно в литературе описан¹ случай множественного образования мезонов при столкновении двух нуклеонов. Опыт производился на фотопластинках типа Илфорд G-5 с эмульсией толщиной в 200 микрон, которые поднимались на высоту свыше 30 км и экспонировались там 16 час. На одной из них получилась звезда, показанная на рис. 1. След частицы А — первичного протона — длиной более 10 000 микрон. Частица В, пройдя некоторое расстояние в эмульсии, попала в стекло. Этот след отождествить не удалось; по своему характеру он походит, однако, на след протона с энергией в 10 Мэв. С — протон с энергией 200 Мэв.

Пути остальных 15 частиц (все они характеризуются минимальной, релятивистской ионизацией) лежат в узком конусе с осью в направлении движения первичного протона. Пять из них отстоят сравнительно далеко от оси, десять следов проходят настолько тесно, что вблизи

Данные измерений (по рис. 1)

№ слева (справа налево)	Длина следа в эмульсии первой пластинки в микронах	$\rho\beta$ в $\frac{1000}{c}$ $\frac{\text{Мэв} \cdot \text{сек}^*}{\text{см}}$	№ слева (справа налево)	Длина следа в эмульсии первой пластинки в микронах	$\rho\beta$ в $\frac{1000}{c}$ $\frac{\text{Мэв} \cdot \text{сек}^*}{\text{см}}$
А	11 000	30 000	6	10 000	> 250
В	176	0,01	7	9 500	86
С	2 700	0,36	Боковые следы		
Электрон 1	3 450	3,6	1	605	
Электрон 2	4 200	3,0	2	1 300	
Центральные следы			3	10 600	
	1	6 990	4	3 040	
	2	9 400	5	9 630	3,91
	3	10 250	6	2 310	2,6
	4	11 700	7	2 360	
5	11 700	8	2 620		

*) c — скорость света, $\beta = \frac{v}{c}$; $\beta \cong 1 \cdot E \cong pc$.

исходной точки различить их друг от друга нельзя. На нижней половине рис. 1, на расстоянии в 4800 микрон от места столкновения нуклеонов, восемь из числа этих десяти следов можно различить по отдельности. Кроме того, в точке, обозначенной стрелкой (β), возникает ещё пара заряженных частиц. Следы обеих частиц пары почти параллельны и на рис. 1 сливаются.

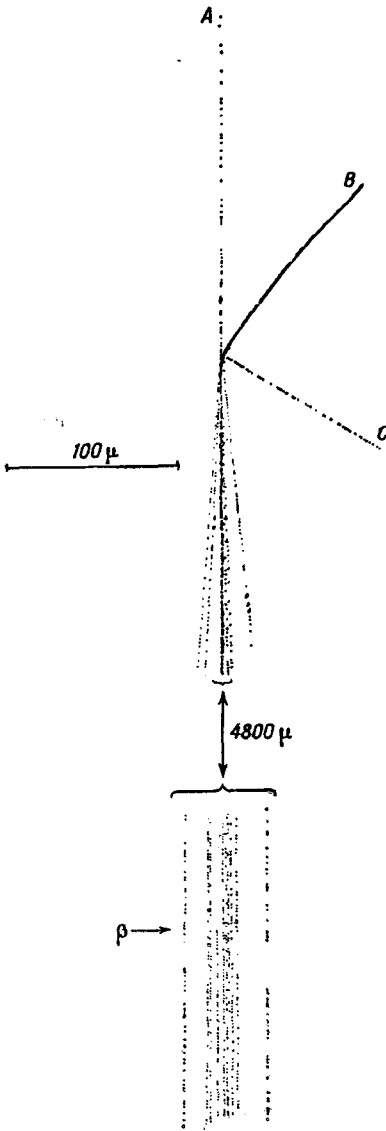


Рис. 1. Микропроекция звезды, образованной протоном сверхвысокой энергии — $3 \cdot 10^{13}$ эв.

На рис. 2 показана кривая распределения путей частиц по углам. Характерно, что следы частиц весьма высоких энергий лежат в узком конусе с раствором 0,003 радиана, а восемь частиц меньших энергий — в значительно более широком конусе с раствором 0,13 радиана. Причину такого своеобразного распределения иллюстрирует рис. 3. На верхнем чертеже траектории частиц, образованных при столкновении протон-нуклеон, показаны в системе отсчёта, связанной с их центром инерции.

На нижнем чертеже пути частиц показаны в неподвижной си-

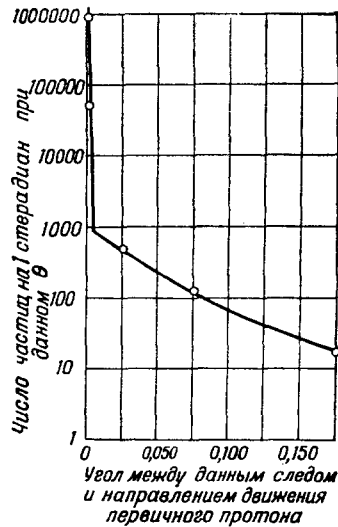


Рис. 2. Угловое распределение следов частиц.

стеме отсчёта. Они распределены тут по двум конусам, таким же, как и на рис. 1. По величине отклонений при многократном рассеянии² был измерен импульс частиц. В таблице приведены измеренные значения импульса, умноженного на скорость, или нижняя граница этих значений. При столкновении протон-нуклеон кроме заряженных частиц рождается и нейтральный мезон. При его распаде создаются γ -кванты. Один из этих γ -квантов и даёт наблюдаемую пару. Исходя из такой картины, можно определить энергию исходного нейтрального мезона; она оказалась равной 10^6 Мэв. Средняя продолжительность жизни нейтрального мезона не превышает, по оценке авторов, $2 \cdot 10^{-15}$ сек.

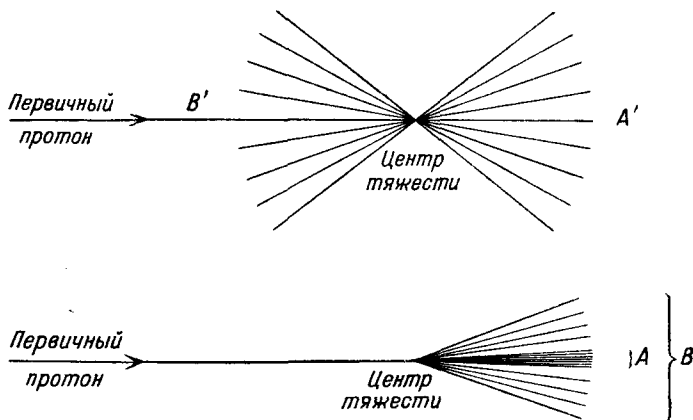


Рис. 3.

Как видно из таблицы, энергия первичного протона, породившего звезду, равна $3 \cdot 10^{13}$ эв. Свободные протоны столь высоких энергий до сих пор не наблюдались. Ядро, с которым столкнулся протон, — это ядро элемента с очень небольшим атомным весом, возможно водорода или дейтерия. В пользу этого предположения говорит и почти полное отсутствие в данном процессе медленных частиц.

Можно высказать и другое предположение⁹, что протон столкнулся с нуклеоном, расположенным на краю атомного ядра и слабо связанным с остальным ядром. Но оба предположения сводятся к одному — в описанной звезде мы встречаемся с весьма редким случаем столкновения протона высокой энергии не со всем ядром, а с единственным нуклеоном. Аналогичная звезда наблюдалась также и в⁷, но там энергия протона была в десять раз меньше — $3 \cdot 10^{12}$ эв. Несколько случаев множественного образования мезонов было описано в литературе и ранее (см. ⁵). Но это были, повидимому, столкновения частиц высоких энергий с тяжёлыми ядрами эмульсии, и образование мезонов осложнялось вторичными процессами⁶. Вторичные мезоны и электроны, расположенные в очень широком конусе, усложняли картину.

В прежних теоретических работах^{3,4} число мезонов, генерируемых частицами столь высоких энергий, как $3 \cdot 10^{13}$ эв, оценивалось в несколько сотен. Поэтому малое число мезонов в описанной звезде — весьма интересный экспериментальный факт. Авторы ссылаются на последние неопубликованные расчёты Ферми, а также на неопубликованные расчёты Оппенгеймера, согласующиеся с данными описанной выше звезды. Вско-

ре работа Ферми была опубликована ^{8, 9}. Не излагая подробно теории Ферми (перевод его работы готовится к печати), укажем лишь идею автора. Ферми рассматривает столкновение двух нуклонов высоких энергий и предполагает, что вся энергия выделяется при этом в малом объёме (V_0 — в системе центра инерции) порядка размеров облака π -мезонов окружающего нуклоны. Соответственно, при вычислении вероятности образования того или иного числа частиц и их углового распределения Ферми пользуется не аппаратом теории возмущений, а диаметрально иным методом — статистическим, основанным на предположении о сильном взаимодействии и частиц и об установлении между ними статистического равновесия. Образовавшееся облако мезонов рассматривается как равновесная система, подчиняющаяся обычным законам статистической физики и термодинамики; вводится даже понятие мезонной температуры. Далее, предполагается, что вероятность получить то или иное состояние (с тем или иным числом мезонов и с соответствующим распределением их по энергиям) пропорциональна вероятности того, что в указанном малом объёме V_0 будут одновременно расположены все частицы данного состояния.

При сравнительно малых энергиях (нерелятивистский случай $\beta \ll 1$), когда лоренцовым сокращением масштабов $l = \frac{l_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$ можно пренебречь, Ферми принимает объём V_0 равным объёму шара $V_0 = \frac{4\pi}{3} R^3$ с радиусом $R = \frac{\hbar}{\mu c} = 1,4 \cdot 10^{-13}$ см. При больших энергиях, в релятивистском случае, он вводит поправку на лоренцово сокращение и даёт для объёма выражение:

$$V = \left(\frac{2Mc^2}{W} \right) V_0, \tag{1}$$

где W — полная энергия обоих нуклонов в системе центра инерции (включая и энергию покоя). В данной теории принимается, таким образом, что равновесие в системе устанавливается гораздо скорее, чем облако π -мезонов успевает сколько-нибудь заметно разойтись из объёма V_0 .

Теория Ферми даёт для числа частиц, рождённых при столкновении протон-нуклеон, следующее выражение:

$$n = 1,06 \sqrt[4]{\frac{W'}{Mc^2}}, \tag{2}$$

где W' — энергия протона в неподвижной системе координат, M — его масса. Если учесть, что при больших энергиях ($W' \gg 4 Mc^2$) образование не только мезонов, но и пар тяжёлых частиц — нуклеон-антинуклеон (хотя вероятность такого процесса и очень мала), то для полного числа заряженных частиц, рождённых при столкновении, получим выражение:

$$n = 1,2 \sqrt[4]{\frac{W'}{Mc^2}}, \tag{2a}$$

отличающееся от (2) только постоянным множителем. Соотношения (2) и (2a) дают для звезды ¹ ($W' = 3 \cdot 10^{13}$ эв) $n = 16$ и 14 (опыт даёт $n = 15$). В звезде ⁷, соответственно, $n = 9$ или 8 (опыт — 7).

Это согласие теории с опытом указывает на приемлемость допущения (1). Однако следует иметь в виду, что n пропорционально корню ^{9*}

четвёртой степени из V , так что изменение V в 2 — 3 раза мало скажется на величине n . Теория Ферми даёт также формулы для углового распределения мезонов, согласующиеся⁹ с результатами измерений для звезды¹ и для звезды⁷.

М. Гинцбург

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. J. J. Lord, J. Fainberg, M. Schein, Phys. Rev. **80**, 970 (1950).
2. P. H. Fowler, Phil. Mag. **41**, 169 (1950).
3. Lewis, Oppenheimer, Wouthuysen, Phys. Rev. **73**, 127 (1948).
4. W. Heisenberg, Nature **164**, 65 (1949).
5. Н. Биргер, УФН **40**, 491 (1950).
6. W. Heitler a. L. Jánossy, Proc. Phys. Soc., London **A62**, 669 (1949).
7. Camerini, Fowler, Lock a. Muirhead, Phil. Mag. **41**, 413 (1950).
8. E. Fermi, Reports on Progress in Theoretical Physics, Tokyo, **5**, 570 (1950).
9. E. Fermi, Phys. Rev. **81**, 683 (1951).

О МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Происхождение магнитного поля Земли и его многочисленные особенности не получили до сих пор достаточно ясного объяснения, несмотря на быстрое развитие техники магнитных измерений. Известно, что магнитная ось Земли отклоняется от географической, образуя с ней угол, равный $11,5^\circ$. Поэтому в настоящее время принято считать основным (нормальным) магнитным полем Земли поле диполя, магнитный момент и ось которого составляют угол в $11,5^\circ$ с осью вращения Земли. Отклонения действительного магнитного поля Земли от поля диполя объединяются в аномальное поле Земли, объясняемое влиянием различных факторов, менее существенных, чем те, которые создают основное поле.

Однако ещё Н. А. Умов¹ и П. Н. Лебедев² в своих работах по происхождению земного магнетизма указывали, что главной причиной возникновения земного магнитного поля является вращение Земли вокруг своей оси и поэтому момент и ось основного магнитного поля Земли должны совпадать с осью её вращения. Сравнительно же небольшое отклонение магнитной оси от оси вращения, так же как и другие особенности действительного магнитного поля Земли, может быть вызвано различными побочными причинами, не связанными с вращением Земли. Такое же объяснение получили недавно открытые магнитные поля звёзд³.

Магнитное поле в различных точках земного шара непрерывно изменяется со временем, причём эти изменения происходят настолько быстро, что их нельзя связать с какими-либо геологическими процессами, протекающими в недрах Земли. Расположение изолиний геомагнитного поля на карте Земли указывает на наличие связи между элементами этого поля и береговой линией, отделяющей материка от океанов и морей. Для объяснения этой связи было высказано предположение о том, что под материками находятся опромные неоднородности ферромагнитных масс. Однако глубины океанов настолько малы в сравнении с радиусом Земли, что это объяснение всегда казалось неубедительным.

Недавно академик В. В. Шулейкин предложил новую теорию происхождения магнитного поля Земли, которая по-иному освещает эти факты и устанавливает связь между ними⁴. В основе этой теории лежит сделанное в 1935 г. А. Т. Мироновым открытие электрических токов в море⁵. Плотность этих токов, измеренная в поверхностных слоях воды, оказалась порядка $1 \text{ а на гектар поверхности}$, перпендикулярной к направлению век-