

Н. М. Кочарян, Г. С. Саакян, М. Т. Айвазян, А. С. Алексанян и Х. Б. Пачаджян

### Ядерные взаимодействия $\pi$ -мезонов и протонов в графите

В 1955 г. на высокогорной станции Арагац были поставлены эксперименты по определению поперечных сечений неупругого ядерного взаимодействия  $\sigma_a$  протонов и  $\pi$ -мезонов в графите. Измерения производились при помощи магнитного спектрометра Алиханяна—Алиханова, приведенного ниже.

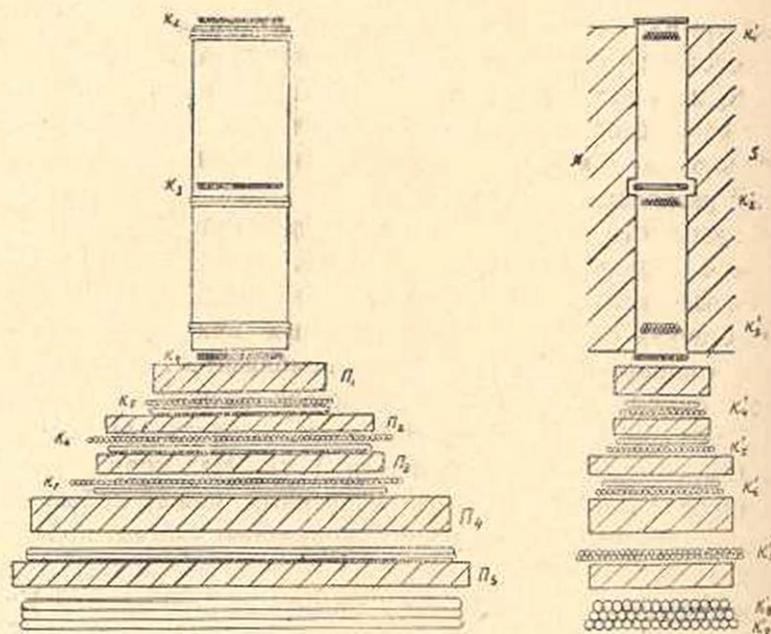
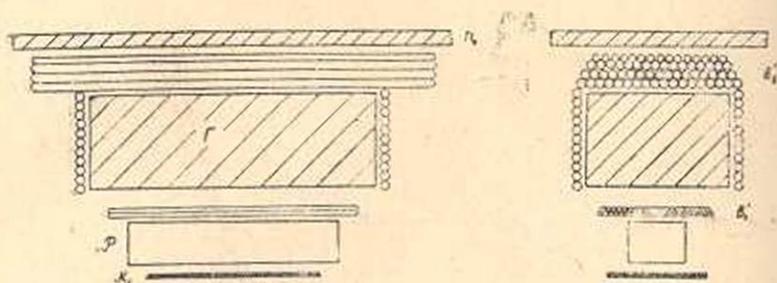
Координаты траекторий частиц определялись четырьмя рядами счетчиков  $K_1$ — $K_4$ . Счетчики в этих рядах имели диаметр 0,46 см и были расположены в два слоя, с уточнением на одну треть счетчика. Ряды  $K_2$ ,  $K_3$  и  $K_4$  находились в магнитном поле, а ряд  $K_1$  вне магнитного поля на расстоянии 69,1 см от оси ряда  $K_2$ , расположенного непосредственно над магнитным зазором. Расстояние между рядами  $K_2$  и  $K_4$  также равнялось 69,1 см.

Под магнитным зазором находилось пять графитовых поглотителей  $P_1$ — $P_5$ , с толщинами соответственно 10,1; 5,6; 7,1; 11,7; и 8,5 г/см<sup>2</sup>. В приведенные числа включено также количество вещества, содержащегося в стенках счетчиков, расположенных между поглотителями. Суммарная толщина стенок счетчиков приблизительно равна 3 г/см<sup>2</sup> меди, что в смысле ядерных взаимодействий эквивалентно приблизительно 2 г/см<sup>2</sup> графита. Диаметр счетчиков в рядах, расположенных между поглотителями  $P_1$ — $P_5$ , равнялся 1 см. Над координатным рядом счетчиков  $K_1$  находились два спаренных между собою пропорциональных счетчика  $P$ , измеряющих ионизацию частиц, проходящих через них.

Напряженность магнитного поля равнялась 7100 эрстед. Импульсы частиц, измеренные в единицах  $\frac{Bev}{c}$ , непосредственно вычислялись по формуле (1).

$$P = \frac{300H}{2 \sin(\varphi + \psi) \cos \psi}, \quad (1)$$

где  $H$ —напряженность магнитного поля, а углы  $\varphi$  и  $\psi$  определяются соотношениями



Фиг. 1. Вертикальные разрезы установки магнитного спектрометра, перпендикулярной и параллельной силовым линиям магнитного поля, Г—графитовый поглотитель, Р—пропорциональный счетчик, К и В с индексами и штрихами—ряды счетчиков, П<sub>1</sub>—П<sub>5</sub>—графитовые поглотители и П<sub>0</sub>—свинцовый поглотитель. Установка начерчена в масштабе.

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x_1 - x_2}{l_{12}} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \psi = \frac{x_2 - x_4}{l_{24}}. \quad (2)$$

Здесь  $l_{12} = l_{24} = l = 69,1 \text{ см}$  — соответственно расстояния между рядами счетчиков  $K_1$  и  $K_2$ ,  $K_2$  и  $K_4$ ;  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  и  $x_4$  — координаты частиц (номера счетчиков) в рядах  $K_1$ — $K_4$ . При импульсах  $P \gg 1 \frac{\text{Bev}}{c}$  имеем

$\cos \varphi \approx 1$  и  $\sin(\varphi + \psi) \approx \varphi + \psi \approx \frac{x_1 - x_4}{l}$ , следовательно

$$P = \frac{300 H l^2}{2 |x_1 - x_4|}.$$

Точность в измерении импульсов частиц, в этих измерениях, примерно в два раза превышала точность измерения импульсов в наших предыдущих работах.

Таблица 1

Интервалы возможных значений отклонений частиц  $x_1 - x_4$  и соответствующие им значения импульсов

Интервалы отклонений $x_1 - x_4$ в см	Интервалы импульсов $P$ в $\frac{\text{Bev}}{c}$	Средний импульс $\bar{P}$
0—0,153	$\infty$ —33,2	66,5
0,153—0,319	33,2—16	21,5
0,319—0,484	16—10,4	12,7
0,484—0,649	10,4—7,8	9,0
0,649—0,815	7,8—6,25	7,0
0,815—0,980	6,25—5,2	5,7
0,980—1,145	5,2—4,44	4,8
1,145—1,311	4,44—3,88	4,1
1,311—1,48	3,88—3,45	3,65
1,48—1,64	3,45—3,09	3,27
1,64—1,81	3,09—2,82	2,95
1,81—1,97	2,82—2,52	2,70
1,97—2,14	2,52—2,38	2,48
2,14—2,30	2,38—2,20	2,30
2,30—2,47	2,20—2,06	2,12
2,47—2,63	2,06—1,93	2,0
2,63—2,80	1,93—1,81	1,87
2,80—2,96	1,81—1,72	1,76
2,96—3,13	1,72—1,62	1,67
3,13—3,29	1,62—1,54	1,58

В табл. 1 вычислены интервалы возможных значений отклонений частиц в магнитном поле  $|x_1 - x_4|$  и соответствующие им интервалы импульсов и средние значения импульсов. Средние значения импульсов соответствуют среднеарифметическим значениям отклонений.

Над пропорциональным счетчиком находился графитовый поглотитель Г, окруженный со всех сторон счетчиками Гейгера-Мюллера. Над этим поглотителем находился ряд счетчиков  $B\frac{1}{2}$ , состоящий из четырех слоев счетчиков. Счетчики самого верхнего слоя этого ряда имели диаметр 1 см, а в остальных слоях—2 см.

Изучению подвергались частицы, генерированные в поглотителе Г нейтральной компонентой космического излучения, а также негенерированные частицы.

Генерированные частицы отрицательного знака заряда оттождествовались с  $\pi^-$ -мезонами, а положительные с протонами и  $\pi^+$ -мезонами.

В нашем распоряжении было множество трафаретов, подобных фиг. 1. Проекция траектории всех частиц наносилась на эти трафареты и подвергалась тщательному изучению. В результате удавалось установить в каких случаях частицы, исходящие из магнитного зазора, проходят графитовые поглотители не испытывая ядерные взаимодействия и в каких случаях испытывают такие взаимодействия.

В настоящих измерениях, по сравнению с предыдущими нашими измерениями, юстировка системы была точнее, и мы имели возможность установить случаи отклонения частиц от их прямолинейного пути движения на угол  $\alpha \sim 5^\circ$ .

Все необходимые данные, относящиеся к ядерным взаимодействиям генерированных отрицательных частиц ( $\pi^-$ -мезонов), приведены в табл. 2.

Таблица 2  
Поперечное сечение неупругого ядерного взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов в графите

Интервалы полной энергии в Bev	Средняя энергия в Bev	Толщина поглотителей в г/см <sup>2</sup>	Общее число частиц	Число взаимодействующих частиц	Полное поперечное сечение $\sigma_a$ в миллибар.
1	2	3	4	5	6
0,36—0,55	0,43	43	201	72	+22 205—25
0,55—0,79	0,65	43	107	38	+32 202—33
0,79—1,15	0,94	43	53	22	+54 248—57
1,15—2,0	1,5	43	39	14	+52 206—60
2,0—4,0	2,8	43	33	12	+59 210—68
4—66	15	43	11	4	+97 208—120

В первых двух столбцах этой таблицы даются интервалы импульсов и средние импульсы. В третьем столбце указана суммарная толщина по-

глотителей, в которых исследовались ядерные взаимодействия частиц. В четвертом и пятом столбцах указаны соответственно общее число  $\pi^-$ -мезонов и число взаимодействующих  $\pi^-$ -мезонов. В шестом столбце даются поперечные сечения неупругого взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов в графите. Ошибки представляют собою среднеквадратичные. Они вычислены по известной формуле  $\Delta n = \sqrt{n_0 w (1-w)}$ , где  $\Delta n$  — возможные флюктуации в числе взаимодействующих частиц,  $n_0$  — общее число частиц и  $w$  — вероятность взаимодействия.

Углы диффракционного рассеяния  $\pi^-$ -мезонов в графите порядка  $\theta \sim \frac{hc}{2\pi R p} \approx \frac{3,5}{p}$  градусов, где  $R = 3,2 \cdot 10^{-13}$  см — радиус ядра графита. При просмотре на трафаретах проекции траекторий частиц мы в число ядерных взаимодействий включили также случаи рассеяния частиц на углы  $\theta \geq 5^\circ$ . Для первых трех интервалов импульсов углы диффракционного рассеяния не малы (они порядка 8; 5,4 и 3,7 градусов). Поэтому, для этих интервалов импульсов, измеренные поперечные сечения, приведенные в табл. 2, не представляют собою лишь поперечные сечения неупругого ядерного взаимодействия, а включают в себя и некоторую долю от упругого рассеяния частиц. Для остальных трех интервалов импульсов углы диффракционного рассеяния достаточно малы и полученные поперечные сечения при этих энергиях соответствуют только процессу неупругого ядерного взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов.

Из таблицы видно, что при средних энергиях 1,5; 2,8 и 15 Bev поперечное сечение неупругого ядерного взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов в графите  $\sigma_a$  в пределах статических ошибок постоянно и приблизительно равно  $0,65 \sigma_0$ , где  $\sigma_0 = 3,22 \cdot 10^{-25}$  см<sup>2</sup> — геометрическое сечение ядра графита. Таким образом, даже при энергиях 15 Bev, или, точнее, при  $E > 4$  Bev, поперечное сечение  $\sigma_a$  меньше геометрического сечения  $\sigma_0$ . Итак, ядра графита для  $\pi^-$ -мезонов, при таких энергиях, не являются черным телом, а имеют некоторую прозрачность.

Результаты, полученные при изучении потока генерированных положительных частиц сведены в табл. 3.

Из сравнения чисел  $\pi^-$ -мезонов и положительных частиц, по-видимому, можно утверждать, что большинство из генерированных положительных частиц является протонами.

Полученные поперечные сечения, приведенные в шестом столбце табл. 3, представляют собою сечения неупругого ядерного взаимодействия смеси протонов и  $\pi^+$ -мезонов в графите. Это сечение в пределах ошибок эксперимента оказывается таким же, как и для  $\pi^-$ -мезонов. Отсюда можно заключить, что при импульсах 2,7; 3,3 и  $6,7 \frac{\text{Bev}}{c}$  поперечное сечение  $\sigma_a$  для неупругого ядерного взаимодействия протонов в графите приблизительно равно  $0,65 \sigma_0$ . Таким образом, даже при энергиях протонов  $E \approx 6$  Bev ядра графита являются полупрозрачным для протонов.

Таблица 3

Поперечные сечения неупругого ядерного взаимодействия положительно заряженных генерированных частиц в графите

Интервалы импульсов в единицах $\frac{Bev}{c}$	Средний импульс $\frac{Bev}{c}$	Толщина поглотителей в $g/cm^2$	Общее число частиц	Число взаимодействующих частиц	Поперечное сечение неупругого взаимодействия $\sigma_a$ в миллибарнах
1	2	3	4	5	6
2—4	2,7	43	161	58	$205 \pm 27$ +41
3—4	3,3	43	59	20	$191 \pm 45$ +60
4—16	6,7	43	30	11	$212 \pm 70$

В области энергии  $8 < E < 16 \text{ Bev}$  (средняя энергия около  $10 \text{ Bev}$ ) наблюдалось около 11 положительных частиц, и среди них было обнаружено 3 взаимодействия. Поперечное сечение  $\sigma_a$  для этих частиц получается равным  $0,15$  барна. Но трудно серьезно отнестись к этому результату, так как статистика явно недостаточна и флуктуации  $\sigma_a$  от его истинного значения могут быть значительными.

Эксперимент был достаточно точным для измерения импульсов частиц и мы имели возможность произвести определение сечения  $\sigma$  для протонов и  $\pi$ -мезонов до энергии  $60 \text{ Bev}$ . Однако светосила установки была малой и, несмотря на большую продолжительность произведенных измерений (приблизительно 1000 часов), нам не удалось набрать достаточное количество частиц. По этой причине нам пришлось произвести соединение интервалов импульсов.

Средние импульсы или энергии, приведенные во вторых столбцах табл. 2 и 3, представляют собою среднеарифметическое значение этих величин.

Теперь сравним полученные данные с уже известными в литературе. В работе [2] измерялось выбывание  $\pi^-$ -мезонов, с полной энергией  $0,59 \text{ Bev}$ , из пучка в графитовой мишени. Для сечения  $\sigma_a$  получено значение  $186 \pm 22$  миллибарна, что в пределах ошибок экспериментов совпадает с нашим результатом при этой энергии. В работе [3] определено полное поперечное сечение  $\sigma_t$  взаимодействия  $\pi^-$ -мезонов в графите, и найдено  $\sigma_t = 0,498$  барна, при энергии  $0,53 \text{ Bev}$ . В работе [4] определялось неупругое поперечное сечение для  $\pi^-$ -мезонов в алюминии при энергии  $5 \text{ Bev}$ . Получено  $\sigma_a = 0,40$  барна, что составляет примерно 72% от геометрического поперечного сечения. Наш результат для графита в области больших энергий не противоречит с этим результатом для алюминия. Наконец, в недавно опубликованной работе [5] при  $E\pi = 4,2 \text{ Bev}$  для графита найдено  $\sigma_a = 0,218$  барна, что хорошо согласуется с нашим результатом при этих энергиях.

Поскольку генерированный поток положительных частиц в ос-

новном состоит из протонов, то может быть имеет некоторый смысл данные, полученные в табл. 3, сравнить с известными в литературе данными для протонов. В работе [6] при энергии протонов, равной  $0,87 \text{ Bev}$ , для поперечного сечения неупругого взаимодействия  $\sigma_a$  с ядрами графита найдено  $\sigma_a = 0,25$  барна. В работах [7] и [8] для нейтронов с энергией  $1,4 \text{ Bev}$  для сечения  $\sigma_a$  в графите найдены соответственно  $\sigma_a = 0,231$  и  $0,200$  барна. Результаты, приведенные в шестом столбце табл. 3, согласуются с результатами цитированных работ.

Институт физики АН Армянской ССР

Поступило 27 X 1956

Ն. Մ. Բոչարյան, Գ. Ս. Սահակյան, Մ. Տ. Սլվազյան,  
Յ. Ս. Ալեքսանյան և Խ. Բ. Փաշաջյան

## $\pi$ -ՄԵԶՈՆՆԵՐԻ ԵՎ ՊՐՈՏՈՆՆԵՐԻ ՄԻՋՈՒԿԱՅԻՆ ՓՈՒ- ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԳՐԱՖԻՏՈՒՄ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Մեր նպատակն է եզել որոշել պրոտոնների և  $\pi$ -մեզոնների ոչ-ատոմարական միջուկային փոխազդեցությունների լայնական կտրվածքը գրաֆիտում  $E \geq 1 \text{ Bev}$  էներգիաների համար: Այդ նպատակի համար անհրաժեշտ մասնիկների փնջերը կոմպակտ և ճառագայթման չեզոք բաղադրիչների կողմից առաջացել են  $40 \text{ գ/սմ}^2$  ճառագայթումն ունեցող գրաֆիտե կլանիչում, որը գրված է եզել էլեկտրոմագնիսի բեռների բացվածքից վերև (փորձը կատարվել է մագնիսական սպեկտրոմետրի օգնությամբ):

Էքսպերիմենտալ սարքավորման ճշտությունը բավականաչափ բարձր էր, և մենք հնարավորություն ունինք չափելու մասնիկների փոխազդեցության լայնական կտրվածքը մինչև  $60 \text{ Bev}$  էներգիաների համար: Սակայն, չնայած երկարատև չափումներին (մոտավորապես  $1000$  ժամ) սարքավորման լուսատի փոքր լինելու պատճառով, մենք չկարողացանք անհրաժեշտ թվով մասնիկներ ստանալ մեծ էներգիաների տիրույթում: Միջուկային փոխազդեցություններն ուսումնասիրվում էին մագնիսի բեռների բացվածքի տակ գրված  $43 \text{ գ/սմ}^2$  ընդհանուր ճառագայթումն ունեցող  $5$  գրաֆիտե կլանիչներում (նկ. 1): Ստացված արդյունքները, որոնք բերված են աղյուսակներ 2 և 3-ում, ցույց են տալիս, որ  $\beta^+$  մեզոնների և  $\beta^-$  պրոտոնների ոչ-ատոմարական փոխազդեցության լայնական կտրվածքները գրաֆիտում մինչև  $10 \text{ Bev}$  էներգիաների համար փոքր են գրաֆիտի միջուկների երկրաչափական լայնական կտրվածքից և մոտավորապես կազմում են նրա  $70\%$ -ը:

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коцарян Н. М. Докторская диссертация, ФИАИ СССР (1954).
2. Lindenbaum S. J. and Luke C. L. Yuan Phys. Rev. 92, 1578 (1953).
3. Игнатенко А. Е., Мухин А. И., Озеров Е. Б. и Понте-Корво Б. М. ДАН СССР, 103, 395 (1955).

4. *John Yse, Jr., Andre Lagarrigue and Robert V. Pyle.* Bul. Amer. Phys. Soc., 30, Number 8, 15 (1955); Phys. Rev. 100, 1799 (1955).
5. *Wikner N. F., Bostick H. A., and Moyer B. J.* Bull. Amer. Phys. Soc., 1, № 5, 252 (1956).
6. *Chew F. F., Leavitt C. P., and Shapiro A. M.* Bull. Amer. Phys. Soc., 29, 47 (1954).
7. *Snow G. A., Goor T., Hill D. A., Hornyak W. F. and Smith L. W.* Bull. Amer. Phys. Soc., 29, 54 (1954).
8. *Goor T., Hill D. A., Hornyak W. F., Smith L. W. and Snow G. A.* Phys. Rev., 98, 1369 (1955).