Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 1

ФИЗИКА

В. А. ЛЮБИМОВ, Г. П. ЕЛИСЕЕВ и В. К. КОСМАЧЕВСКИЙ

ИЗМЕРЕНИЕ МАСС ПО ИМПУЛЬСУ И ИОНИЗАЦИИ И СПЕКТРЫ ИМПУЛЬСОВ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТИЦ КОСМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА УРОВНЕ МОРЯ

(Представлено академиком А. И. Алихановым 28 I 1955)

Измерение масс частиц по импульсу и пробегу, осуществляемое в магнитном масс-спектрографе, обладает существенным недостатком, связанным с тем, что неионизационный характер остановок частиц в улавливающих фильтрах неизбежно приводит к значительному искажению массы. Наличие электронов и ядерная активность π-мезонов значительно осложнили интерпретацию частиц, давших по импульсу и пробегу значение массы, промежуточное между массой π-мезона и массой протона.

Прямым подтверждением ионизационного характера остановок является измерение ионизующей способности частиц. Однако обычные способы измерения ионизации оказались слишком грубыми для идентификации по ионизации отдельных частиц и были пригодны только для определения совокупной ионизации больших групп частиц. Проблема увеличения точности в измерении ионизации в нашем случае нашла свое разрешение в использовании 4-слойного пропорционального счетчика и универсальном способе обработки экспериментальных данных ([1]). По 4 независимым измерениям ионизующей способности отдельной частицы, каждое из которых произведено отдельным слоем счетчика с точностью $\sim 30\%$, при помощи универсального способа вероятная ионизация этой частицы находилась с точностью 10—12%. Такая точность в измерении ионизации индивидуальных частиц оказалась достаточной, чтобы осуществить измерение масс частиц по импульсу и ионизации.

Для проверки нового способа измерения масс было предпринято исследование спектра масс космических частиц на уровне моря. Исследование проводилось на масс-спектрографе, позволявшем измерять как импульс, так и пробег частицы. В зазор магнита помещался 4-слойный пропорциональный счетчик. Конструкция масс-спектрографа в основном была той же, что и в предыдущих работах ([2]), за исключением того, что было улучшено измерение импульсов на больших значениях.

Были получены спектры частиц под 2 и 5 см Pb, остановившихся в графитовых улавливающих фильтрах в интервале пробегов 0,7—12 см C, исследованные уже ранее по импульсу и пробегу. Кроме того исследовались спектры частиц под 2; 10 и 40 см Pb и спектр частиц без фильтра над установкой. Частицы останавливались в свинцовом улавливающем устройстве в интервале пробегов 0,2—6 см Pb. Измерение масс частиц одновременно двумя способами позволило не только сравнить оба метода, но и в большинстве случаев однозначно установить природу частиц. На рис. 1 изображены спектры масс частиц под 5 см Pb. На рис. 1, *А* отложены частицы, массы которых найдены из пробега и импульса, *Б* — те же частицы с массами, полученными из импульса и ионизации.

Распределение μ-мезонов по массам для обоих способов измерения масс довольно близки к гауссовому распределению. Среднее значение

ошибки в измерении массы индивидуального μ-мезона составляет для способа импульс — пробег $\pm 9\%$, а по ионизации и импульсу значение массы μ-мезона определяется с точностью $\pm 13{,}8\%$.

За π-мезоны принимались частицы, массы которых по обоим способам давали значения $> 250\ m_e$. При таком отборе μ-мезонный фон в числе π-мезонов совершенно незначителен. Из рис. 1 видно, что значения масс π-мезонов, найденные из пробега и импульса, в ряде случаев дают сильные завышения, обусловленные неионизационными остановками, имитируя, таким образом, частицы промежуточных масс. С другой стороны, массы тех же π-мезонов, определенные из импульса и ионизации, образовали тесную группу вокруг среднего значения $297 \pm 9\ m_e$. Средняя ошибка в определении массы отдельного π-мезона по импульсу и ионизации примерно та же, что и ошибка в измерении массы μ-мезона.

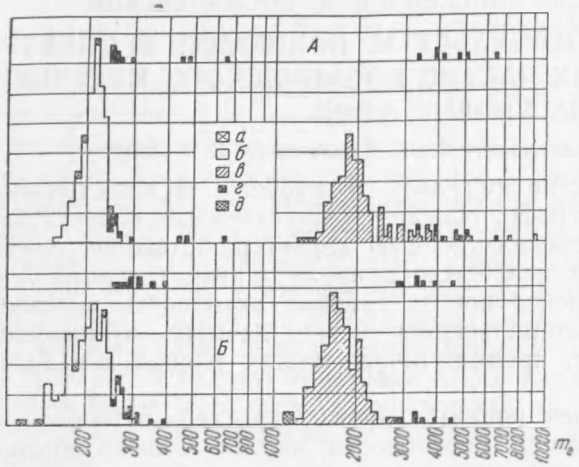


Рис. 1. *а* — электроны; *б* — мезоны, *в* — протоны; *г* — π-мезоны и дейтоны; *д* — частицы с массой $\sim 1000\ m_e$

На протонах особенно отчетливо видна разница в форме массовых линий, характеризующих оба способа нахождения масс. В случае измерения масс по пробегу и импульсу массовая линия имеет несимметричный вид с длинным хвостом, обусловленным неионизационными остановками. Неионизационные остановки протонов фактически не позволяют разделить по импульсу и пробегу протоны и дейтоны, в то время как по импульсу и ионизации эти частицы прекрасно разделяются. Ошибка в определении масс протонов по импульсу и ионизации в среднем на каждое измерение составляет $\pm 14{,}2\%$. Под 5 см Pb

Таблица 1

	μ	π	K	m	p	d	t
А. Частицы под 5 см Pb. Интервал пробегов 0,7—12 см C							
$N_{\text{полн}}$ за 844 часа	100000	69	20	4	925	41	2
N_R	367	10	0	4	388	15	2
$\frac{N_{i\ \text{полн}}}{N_{\mu\ \text{полн}}}$, %	100	0,07	0,02	0,004	1	0,04	0,002
$\frac{N_{iR}}{N_{\mu\ \text{полн}}}$, %	0,37	0,01		0,004	0,4	0,015	0,002
Б. Частицы под 10 см Pb. Интервал пробегов 0,2—6 см Pb							
$N_{\text{полн}}$ за 379 час.	45000	105	16	1	305	34	—
N_R	597	58	—	1	164	10	—
$\frac{N_{i\ \text{полн}}}{N_{\mu\ \text{полн}}}$, %	100	0,23	0,03	0,002	0,68	0,075	—
$\frac{N_{iR}}{N_{\mu\ \text{полн}}}$, %	1,3	0,13	—	0,002	0,36	0,022	—

в графитовом улавливающем устройстве остановились 4 частицы, массы которых, определенные по импульсу, пробегу и ионизации, оказались близкими к 1000 m_e (см. рис. 1 и табл. 2).

Измерение ионизации значительно расширило пределы экспериментальных возможностей, поскольку позволило распространить исследование спектров частиц на область неионизационных остановок.

Идентифицируя частицы по импульсу и ионизации и зная сечения ядерного взаимодействия частиц в веществе улавливающего устройства, оказалось возможным построить полные спектры импульсов ядерно-активных частиц. На рис. 2 приведены полученные таким образом полные спектры импульсов частиц под 5 см Pb, заснятые на масс-спектрографе с графитовым улавливающим устройством; μ-мезоны остановились в интервале пробегов 0,7—12 см С. Данные об этих спектрах приведены в таблице 1 А.

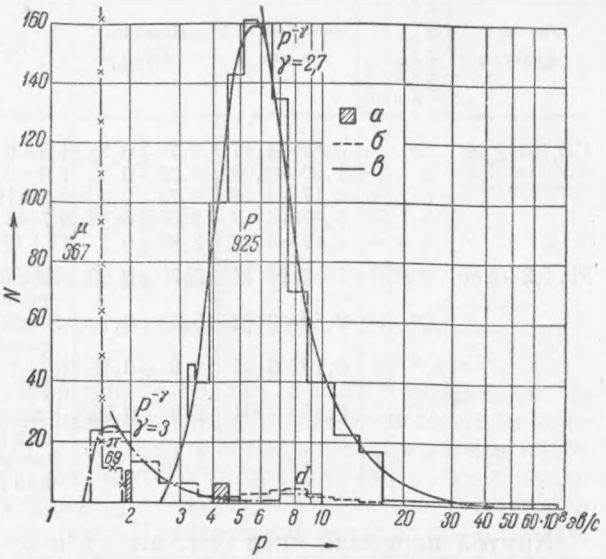


Рис. 2. μ-мезоны остановились в интервале пробегов 0,7—12 см С. *а* — частицы с массой 1000 m_e; *б* — дейтоны, *в* — тритоны

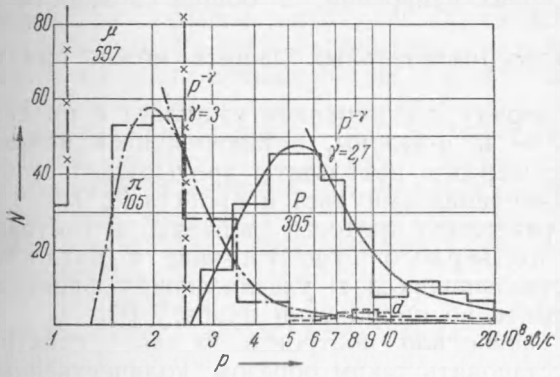


Рис. 3

В табл. 1: μ — μ-мезоны; π — π-мезоны, p — протоны; d — дейтоны; t — тритоны; m — частицы с массой ~1000 m_e, остановившиеся в улавливающих фильтрах ионизационно; К-частицами названы ядерно-активные частицы, остановившиеся неионизационно и образующие аномалию в спектре π-мезонов в области импульсов $7 \cdot 10^8$—$12 \cdot 10^8$ эв/c. Они обладают повышенной ионизацией $I = 1{,}14 \pm 0{,}04\ I_{\min}$ ($I_\pi = 1{,}02\ I_{\min}$).

Масса частиц, определенная по импульсу и ионизации, составляет ~900 m_e. $N_{\text{полн}}$ — полные числа частиц, прошедших установку; N_R — числа частиц, остановившихся ионизационно в указанном интервале пробегов. $N_{i\ \text{полн}} / N_{\mu\ \text{полн}}$ — процентные отношения различных частиц по отношению к полному числу μ-мезонов; $N_{iR} / N_{\mu\ \text{полн}}$ — процентное отношение частиц, ионизационно остановившихся в фильтрах, по отношению к полному числу μ-мезонов.

Результаты измерения спектров частиц под 10 см Pb за 379 час. работы установки представлены на рис. 3 в виде спектров импульсов всех частиц.

В табл. 1 *Б* приведены соотношения частиц под 10 см Pb.

Таблица 2

Улавлив. фильтры	Толщ. фильтра над уст. в см	Знак	Импульс $\times 10^{-8}$ в эв/с	Ионизац. I/I_{min}	Пробег	Масса по иониз.	Масса по пробегу	Вероятн. протона
C 0,7—12 см	5*	—	3,87—4,17	4,7 ±0,52	1,5—6,7 см C	1400±170	1390—3160	0
	5	—	1,90—2,08	8,05±0,9	1,6—7,3 см C	1130±160	460—1060	0
	5	+	4,17—4,46	2,79±0,2	9,6—11,1см C	1110±100	1285±115	0,0002
	5	+	3,87—4,17	3,5 ±0,35	6,7—8,2 см C	1250±150	1400±165	0,0004
	2	+	4,17—4,76	2,85±0,2	11,1 12,6 см C	1190±140	1310±160	0,0001
Pb, 0,2—5 см	0**	—	3,87	5,7 ±0,62	Звезда или распад	1740±150	—	0
	2*	—	2,50—2,62	5,45±0,7	Звезда или распад	1090±120	—	0
	10*	+	6,10—6,55	1,6 ±0,15	4,6—6,2 см Pb	1075±140	1585±200	0,001
	0	+	1,95—2,04	2,9 ±0,30	Рассеян. или распад	575±55	—	—
	0	+	2,62	2,18±10,2	Рассеян. или распад	565±35	—	—

Крутой передний спад (см. рис. 2 и 3) в спектре импульсов π-мезонов сказался на изменении соотношения ионизационно остановившихся в улавливающих фильтрах π- и μ-мезонов при замене графитовых фильтров в улавливающем устройстве на свинцовые. Полученный результат объясняет, почему в ранних работах ([3]), выполненных на масс-спектрографе со свинцовыми улавливающими фильтрами, найдено было большее число π-мезонов, чем в последующих наших работах с графитовыми фильтрами ([2]).

В табл. 2 приведены сводные данные о частицах промежуточных масс, полученные во всех сериях измерений, в общей сложности за 2297 час. съемки.

На основании разбора экспериментальных данных можно придти к следующим выводам:

1. Измерение ионизации наряду с измерением импульса и пробега частиц позволило разделить π- и μ-мезоны, остановившиеся ионизационно, и таким образом подтвердить результаты предыдущих работ, выполненных при помощи измерения импульса и пробега ([2, 3]).

2. Измерение ионизации разделило протоны, дейтоны и тритоны.

3. Измерение ионизации подтвердило существование и число частиц с массой $\sim 1000\, m_e$, остановившихся в улавливающих фильтрах ионизационно, полученных ранее по импульсу и пробегу ([2]).

4. Измерение ионизации позволило построить полные спектры ядерно-активных частиц и установить таким образом количественные соотношения частиц под различными фильтрами над установкой.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность руководителю работы акад. А. И. Алиханову.

Поступило
8 I 1955

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] Г. П. Елисеев, В. К. Космачевский, В. А. Любимов, ДАН, **90**, 995 (1953). [2] А. И. Алиханов, Г. П. Елисеев, ЖЭТФ, **25**, 368 (1953). [3] А. И. Алиханов, Г. П. Елисеев, ЖЭТФ, **21**, 1009 (1951).

* Данная частица генерирована в фильтре над установкой нейтральной компонентой.

** Над установкой оставалось потолочное перекрытие, составлявшее ~12 г/см² вещества.