

С 346.36

ЯФ, 1967, т. 5, в. 4

16/11/11

Б-903

С. 830-833

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

Р - 2788



Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зинов, А.Д. Кокин, А.И. Мухин

ЗАХВАТ МЮОНОВ В СМЕСЯХ ГАЗОВ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

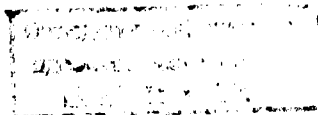
1966

P - 2788

Ю.Г. Будяшов, В.Г. Зянов, А.Д. Конин, А.И. Мухин

ЗАХВАТ МЮОНОВ В СМЕСЯХ ГАЗОВ

Направлено в ЯФ



4381/1 чф

Торможение заряженной частицы в веществе на последней стадии непосредственно перед ее остановкой, т.е. при энергии, сравнимой с энергией связи атомных электронов, зависит от индивидуальных особенностей среды, в которой происходит остановка частицы. Наиболее сильно это должно проявляться в случае отрицательно заряженных частиц, последним шагом которых является атомный захват с переходом из области положительной энергии в область отрицательной. Часто возникает необходимость определить вероятность, с которой садится остановившаяся отрицательно заряженная частица на ту или другую компоненту в смеси веществ. Используемое в ряде случаев предположение, что вероятность атомного захвата в смесях веществ пропорциональна их заряду - "Z - закон" - в связи со сказанным выше вызывает серьезное сомнение. Тем более, известно, что в химических соединениях такая пропорциональность не имеет места <sup>/1/</sup>.

В проводившихся ранее опытах в диффузионной камере с остановившимися мезонами в смесях газов гелия с водородом и гелия с парами метилового спирта был получен результат, который не противоречит "Z - закону" в относительной вероятности посадки мезонов на эти вещества <sup>/2/</sup>. Однако экспериментальная точность этих результатов невысока.

Удобным способом наблюдения относительной вероятности посадки отрицательной частицы на разнородные атомы среды является атомный захват мюона с характерным для каждого заряда ядра мюонентгеновским излучением. В однородных смесях, примером которых являются смеси газов, относительная вероятность посадки на тот или другой газ должна отражать отношение сечений захвата при малых энергиях атомами или молекулами этих газов. При таких представлениях, казалось бы, одноатомные и многоатомные газы должны отличаться в вероятностях захвата на единицу заряда.

Разработанная ранее методика определения относительной вероятности атомного захвата мюона в химических соединениях атомами различных элементов <sup>/1/</sup> позволяет с высокой точностью определять захват мюона тем или иным атомом среды.

### Постановка опыта и экспериментальная аппаратура

Для того чтобы убедиться, имеется ли различие в вероятностях захвата мюона простыми и многоатомными газами, специально были подобраны (из числа наиболее доступных) отличающиеся по своей структуре газы: одноатомные инертные гелий, неон и аргон, а также многоатомные азот и углекислый газ.

Среди использовавшихся газов аргон имеет наибольший заряд и наиболее жесткое  $X$ -излучение. Поэтому в опытах он служил "пробным" веществом, т.е. являлся веществом, по отношению к которому определялась вероятность захвата другими газами и мезорентгеновское излучение которого регистрировалось.

В принципиальной части постановка опытов не отличается существенно от использовавшейся нами ранее<sup>/1/</sup>. Схема опыта показана на рис. 1. Пучок мюонов проходит через сцинтилляционные счетчики (1 и 2), через тормозящий фильтр и попадает в газовую мишень. Мишень для работы с газами представляет собой сосуд из нержавеющей стали, внутри которого установлены два пластмассовых сцинтиллятора, схематически показанные на рисунке. Более подробное описание этой мишени опубликовано<sup>/3/</sup>. В газовой мишени пучок дополнительно тормозится в установленном там полиэтиленовом фильтре, проходит через тонкий сцинтилляционный счетчик (3) и останавливается в объеме газа, ограниченном сцинтиллятором счетчика антисовпадений (4), выполненным в виде стакана. Остановка мюона в объеме мишени выделяется совпадающими по времени сигналами от счетчиков (1,2,3,4). Мюорентгеновское излучение, возникающее при захвате мюонов в мишени, проходит через стальные стенки сосуда и регистрируется в сцинтилляторе  $NaJ$  спектрометрического счетчика (5). Анализ импульсов от счетчика 5 проводился 256-канальным амплитудным анализатором.

Блок-схема электроники показана также на рис. 1. Метод определения относительной вероятности  $R$  посадки мюона на один атом (молекулу) проверяемого газа и аргона заключался в следующем. Сравнивались нормированные на одну остановку мюона интенсивности излучения в выделенном участке энергетического спектра в опытах с чистым аргоном и в его смеси с каким-либо другим газом, т.е. определялась доля мюонов, захватившихся "пробным" газом в смеси. Для анализа использовался сравнительно узкий участок спектра, включающий в себя фотопики всей  $K$ -серии мезорентгеновского излучения аргона. В этот участок спектра попала некоторая доля гамма-квантов от ядерного захвата мюонов, однако это не имеет значения для целей проводившегося эксперимента. Приходилось только определять интенсивности ядерного излучения от поглощения мюонов для всех чистых газов в отдельных опытах. Ниже приводится схема расчетов, использовавшаяся для определения относительной вероятности посадки мюонов.

Если долю мюонов, захватившихся аргоном в смеси газов, обозначить через  $d$ , а

экспериментально определенные и нормированные на одну остановку мюона выходы зарегистрированного гамма-излучения в выбранном интервале спектра в опытах с чистым аргоном, газом  $M$  и их смесью через  $y(Ar)$ ,  $y(M)$  и  $y(Ar+M)$  соответственно, то

$$\alpha = \frac{y(Ar+M) - y(M)}{y(Ar) - y(M)} \quad (1)$$

Здесь принято во внимание очевидное условие, что сумма вероятностей захвата мюона исследуемым газом и аргоном равна единице. Отсюда просто определяется отношение вероятностей захвата мюона на один атом (молекулу) газа  $W(M)$  и аргона  $W(Ar)$ , если известны их концентрации или молярные объемы в смеси  $v(M)$  и  $v(Ar)$ :

$$R = \frac{W(M)}{W(Ar)} = \frac{y(Ar) - y(Ar+M)}{y(Ar+M) - y(M)} \cdot \frac{v(M)}{v(Ar)} \quad (2)$$

При получении формул (1) и (2) предполагалось, что эффективности регистрации фотонов в выделенном участке энергетического спектра одинаковы во всех опытах. При окончательных расчетах вносились поправки, учитывающие некоторое различие в эффективностях регистрации, т.к. в ходе опытов изменялось количество газа в мишени. Наибольшее изменение плотности газа в мишени составляло около  $0,1 \text{ г см}^{-3}$ , что изменяло эффективность регистрации примерно на 3 процента<sup>/4/</sup> при диаметре мишени (толщина мишени в направлении регистрации гамма-квантов), равном 10 см.

### Проведение опытов и результаты измерений

В опытах использовался чистый пучок отрицательно заряженных мюонов с энергией  $\sim 60$  Мэв, получаемый на синхротроне ОИЯИ с помощью мезонного тракта<sup>/5/</sup>. Мишень заполнялась вначале исследуемым газом до давления около  $40 \text{ кг см}^{-2}$ , затем к нему добавлялся аргон до давления  $\sim 60 \text{ кг см}^{-2}$ . Давление в мишени контролировалось по образцовому манометру через один-два часа после заполнения с тем, чтобы температура газа сравнилась с температурой в экспериментальном зале. Для определения числа остановок мюонов в газе специально проводился опыт с пустой мишенью, когда газ из нее откачивался. Таким образом определялось число мюонов, подавших в счетчик 4, но не выброшенных из-за неполной эффективности антисовпадений, и число мюонов, остановившихся в счетчике 3. Результаты опыта приводятся в таблице.

Т а б л и ц а

Газы	Давление, P, кг см <sup>-2</sup>	Молярный объ- ем, л. моль <sup>-1</sup>	$\mathcal{L}$	R	$\frac{\sum Z_i}{Z_{Ar}}$
I	2	3	4	5	6
He	39,2±0,35	0,623±0,009	0,778(I±0,022)	0,148±0,010	0,111
Ar	19,8±0,35	1,20 ±0,02			
Ne	39,0± 35	0,628±0,009	0,462(I±0,018)	0,609±0,024	0,556
Ar	20,2±0,35	1,17± 0,02			
N <sub>2</sub>	34,2±0,35	0,696±0,010	0,375(I±0,016)	1,01 ±0,04	0,778
Ar	21,3±0,35	1,12± 0,02			
CO <sub>2</sub>	40,8±0,35	0,437±0,021	0,135(I±0,020)	2,20 ±0,15	1,22
Ar	19,5±0,35	1,22± 0,02			
Ar	20,4±0,35			I	I

Во втором и третьем столбцах приводятся парциальные давления соответствующих газов в мишени во время опыта при температуре 20°C и полученные отсюда молярные объемы<sup>18,7/</sup>. Эти значения служат для определения относительных атомных (или молекулярных) концентраций. В пятом столбце даны отношения вероятностей посадки мюона на один атом (молекулу) исследуемого газа и аргона. Указанные ошибки включают в себя как статистические ошибки измерений, так и неточности в определении давления и плотности газов. В последнем столбце для сравнения приводятся отношения суммарного заряда (числа электронов) в молекуле (атоме) исследуемого газа к заряду аргона. Из сравнения последних двух столбцов видно, что простой зависимости от заряда в относительных вероятностях захвата мюона не наблюдается.

Эти данные можно представить в виде отношения вероятностей захвата, отнесенных к единице заряда захватывающей системы  $R \frac{\sum Z_{Ar}}{\sum Z_i}$ .

На рис. 2 представлены результаты настоящей работы совместно с данными, полученными в диффузионной камере<sup>12/</sup>. По оси абсцисс отложен заряд атома. В случае CO<sub>2</sub> - это "средний" заряд, приходящийся на один атом. Экспериментальные точки для одноатомных инертных газов соединены плавной пунктирной кривой. Из рисунка наглядно видно, что в смесях веществ вероятность захвата мюонов компонентами смеси не про-

порциональна их заряду. Плавная зависимость от  $Z$ , вероятно, существует для одноатомных газов. Однако это явно неверно для веществ, находящихся в молекулярном соединении, что демонстрируется на примере углекислого газа. Можно предполагать, что вероятность захвата в значительной мере зависит от размеров молекулы, хотя более определенные выводы в этом направлении требуют более систематического изучения вопроса.

## Л и т е р а т у р а

1. В.Г. Зинев, А.Д. Кокин, А.И. Мухин. ЯФ, 2, 859 (1965).
2. Р.М. Суляев. Докторская диссертация, Дубна, ОИЯИ, 1881 (1964).
3. П.Ф. Ермолов, В.И. Лещков, А.И. Мухин. Препринт ОИЯИ, P-2711, Дубна (1966).
4. К. Зигбан. Бета- и гамма-спектроскопия. Физматгиз, Москва, 1959.
5. Ю.М. Грашина, Б.А. Долгошени, В.Г. Кириллов-Угрюмов, А.А. Кропня, В.С. Рогозов, А.В. Самойлов, С.В. Сомов. Атомная энергия, 18, 384 (1965).
6. С.Я. Герш. Глубокое охлаждение, часть 1, Госэнергоиздат, М.-Л., 1957.
7. Справочник химика, т. 1, стр. 572, ГХИ, М.-Л., 1962.

Рукопись поступила в издательский отдел  
15 июня 1966 г.

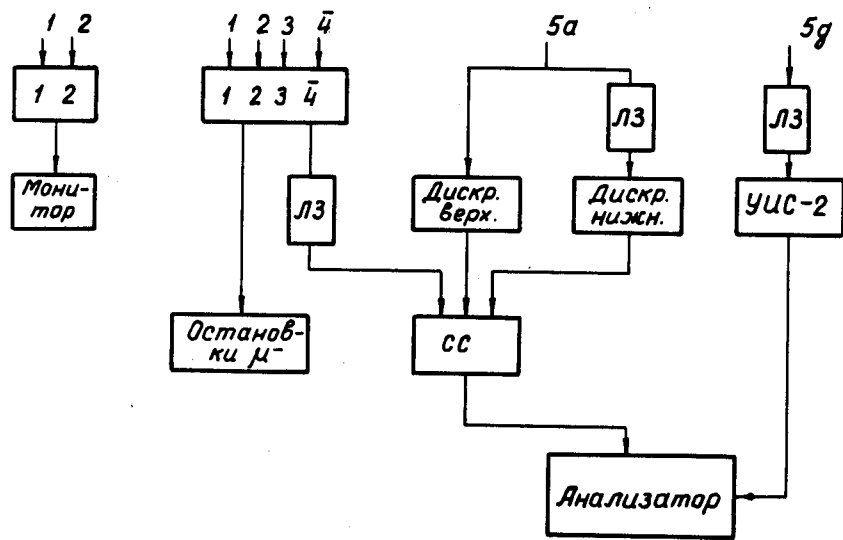
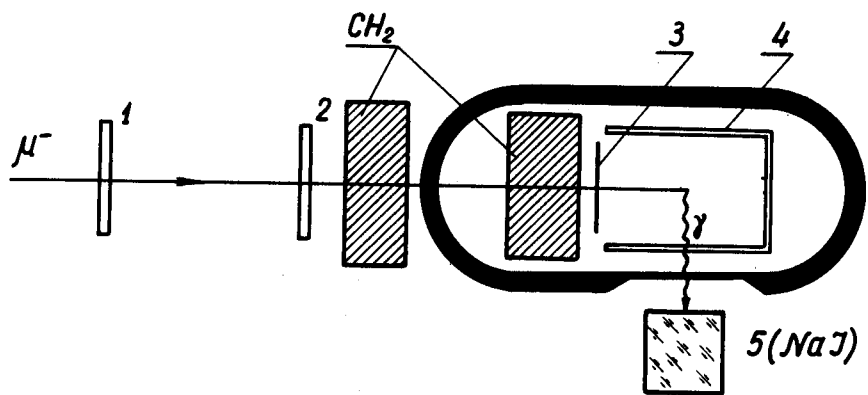


Рис. 1. Схема опыта и блок-схема электронной аппаратуры. 1,2,3,4 - пластиковые сцинтилляторы; 5 - кристаллы  $NaJ(Tl)$  с размерами  $\varnothing 76 \times 76$  мм;  $CH_2$  - полиэтиленовые фильтры; 5а, 5б - импульсы с анода и катода спектрометрического счетчика 5; ЛЗ - линия задержки.

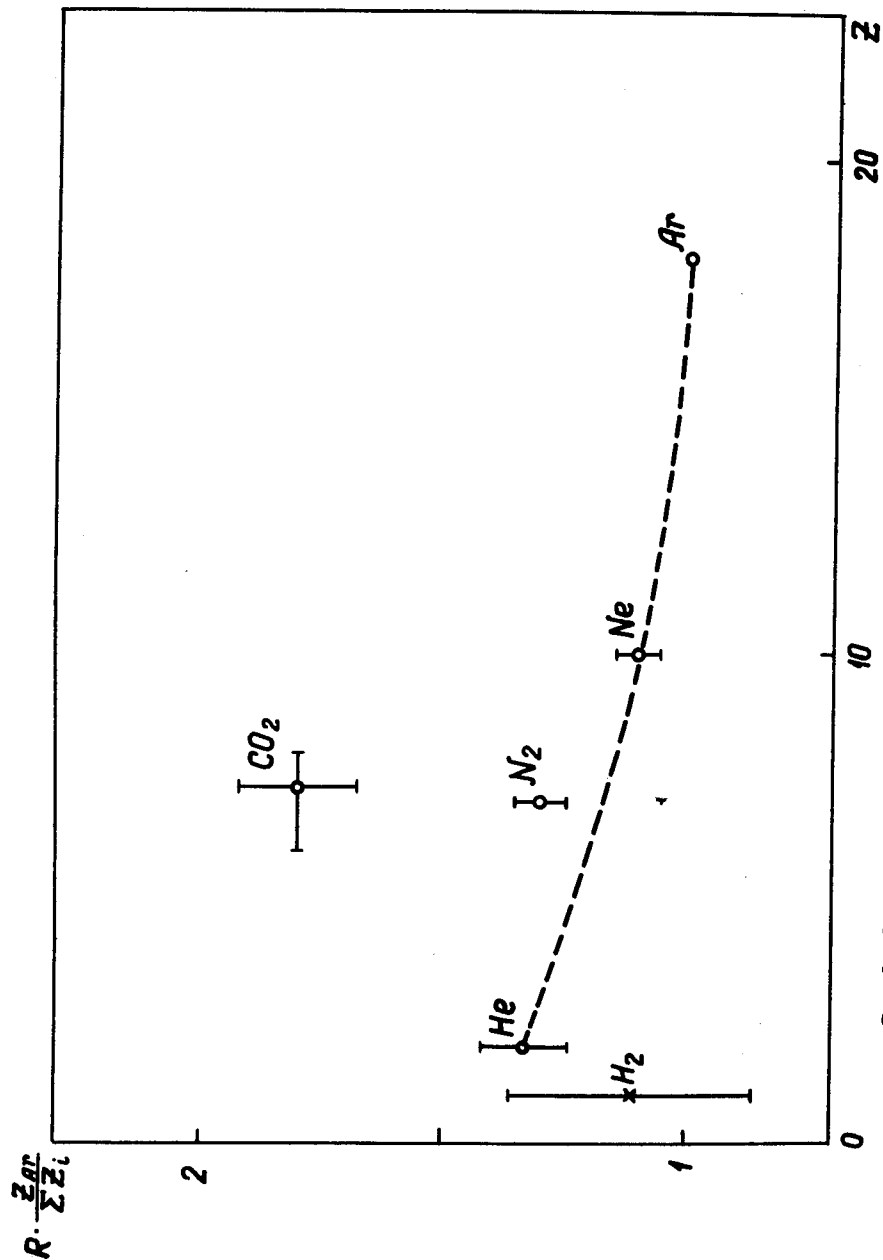


Рис. 2. Относительные вероятности захвата альфа мюона на элементу зерна. 0 - настоящая работа; X - работа [2].