

П-312

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

23/8-68



P1- 4036

В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

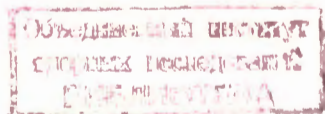
ПЕРЕХВАТ Π -МЕЗОНОВ
В ГАЗОВОЙ СМЕСИ ВОДОРОДА И ДЕЙТЕРИЯ

1968

P1- 4036

В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин

ПЕРЕХВАТ Π -МЕЗОНОВ
В ГАЗОВОЙ СМЕСИ ВОДОРОДА И ДЕЙТЕРИЯ



7511/2 чф.

В в е д е н и е

В нашей предыдущей работе^{/1/} было показано, что π^- -мезоны, остановившиеся в смеси водорода с более тяжелыми газами Z , интенсивно перехватываются от водорода к атомам Z .

Полученные результаты могут быть описаны в рамках феноменологической модели^{/1,2/}, согласно которой:

1) π^- -мезоны тормозятся в смеси газов $H_2 + Z$ и захватываются на высокие уровни мезомолекул или мезоатомов H_2 и Z с вероятностью, пропорциональной зарядам ядер H_2 и Z ; π^- -мезон, захваченный водородом на мезомолекулярные уровни, опускается на уровень изолированного $p\pi^-$ -мезоатома;

2) в результате столкновений возбужденного $p\pi^-$ -мезоатома с молекулами водорода и примеси Z π^- -мезон захватывается протоном или перехватывается атомом Z .

Скорости ядерного захвата π^- -мезона протоном в $p\pi^-$ -мезоатоме (ω_H) и перехвата π^- -мезона от $p\pi^-$ -мезоатома к ядрам Z (ω_Z) пропорциональны частоте соударений, т.е. плотности (числу атомов в 1 см^3) водорода ρ_H и газа Z ρ_Z :

$$\omega_H = a\rho_H + b\rho_Z, \quad (1)$$

$$\omega_Z = g\rho_Z. \quad (2)$$

Здесь $g = g_{pZ} - g_{Zp}$, g_{pZ} и g_{Zp} - константы перехвата π^- -мезонов от H к Z и от Z к H . При $Z > 1$ $g_{Zp} = 0$, т.к. $Z\pi^-$ -мезоатом электрически заряжен и не может приблизиться к протону на достаточно малое расстояние.

В указанных обозначениях вероятность Q перехвата π^- -мезонов от водорода к атомам Z равна

$$Q = \frac{\Lambda C}{1 + (\Lambda + \kappa) C} \quad (3)$$

где $C = \rho_Z / \rho_H$ — относительная атомарная концентрация примеси Z ,
 $\Lambda = g/a$, $\kappa = b/a$.

В согласии с экспериментальными данными^{/1/}, вероятность перехвата (3) зависит не от плотности отдельных газов смеси, а только от относительной концентрации C . Для исследованных газовых смесей водорода с гелием, азотом, неоном и аргоном^{/1/} константа перехвата следует линейной зависимости

$$\Lambda = (0,7 \pm 0,2) Z. \quad (4)$$

Величины κ оказались малыми:

$$\kappa \ll \Lambda, \quad (5)$$

и в области больших концентраций C вероятность перехвата Q близка к единице.

Среди смесей $H_2 + Z$ выделенное положение занимает смесь водорода с дейтерием. Так как $d\pi^-$ -мезоатом электронейтрален, в системе $H_2 + D_2$ наряду с перехватом π^- -мезонов от водорода к дейтерию должен идти интенсивный обратный перехват от дейтерия к водороду:



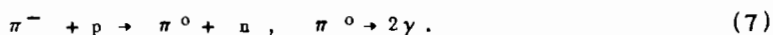
т.е. коэффициент g_{np} (g_{dp}) в формуле (2) не равен нулю, как это имеет место в смесях водорода с другими элементами, а $g_{dp} \approx g_{pd}$ и $\Lambda \ll \kappa$. Кроме того, для смеси $H_2 + D_2$ следует ожидать $a=b$, т.е. $\kappa \approx 1$, в отличие от смесей $H_2 + Z$ при $Z > 1$.

Соотношение (5) в случае смеси $H_2 + D_2$ должно меняться на обратное и $Q \ll 1$. Поэтому для исследования перехвата в смеси необходима повышенная точность измерений.

Целью настоящей работы являлось экспериментальное наблюдение перехвата π^- -мезонов в газовой смеси $H_2 + D_2$ и изучение характеристик этого процесса. Предварительные результаты были доложены на январской сессии Отделения ядерной физики АН СССР в 1964 году.

2. Результаты измерений

Эксперименты были выполнены на синхроциклотроне Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ при помощи методики, описанной ранее^{/1,3/}. Вероятность перехвата Q определялась на основании измерений выходов γ -квантов от перезарядки π^- -мезонов, захваченных ядрами водорода:



(перезарядка остановившихся π^- -мезонов в дейтерии $\pi^- + d \rightarrow \pi^0 + 2n$ подавлена более чем в 10^3 раз^{/4,5/}). В процессе измерений варьировалась относительная концентрация $C = \rho_D / \rho_H$ при фиксированной плотности водорода ρ_H .

Полученная зависимость Q от C приведена на рис.1. Как видно из рисунка, в газовой смеси $H_2 + D_2$ наблюдается перехват π^- -мезонов от водорода к дейтерию. С ростом относительной концентрации C перехват обнаруживает свойства насыщения. Контрольные эксперименты, во время которых мишень охлаждалась до температуры жидкого азота, показали, что величина Q не зависит от температуры смеси.

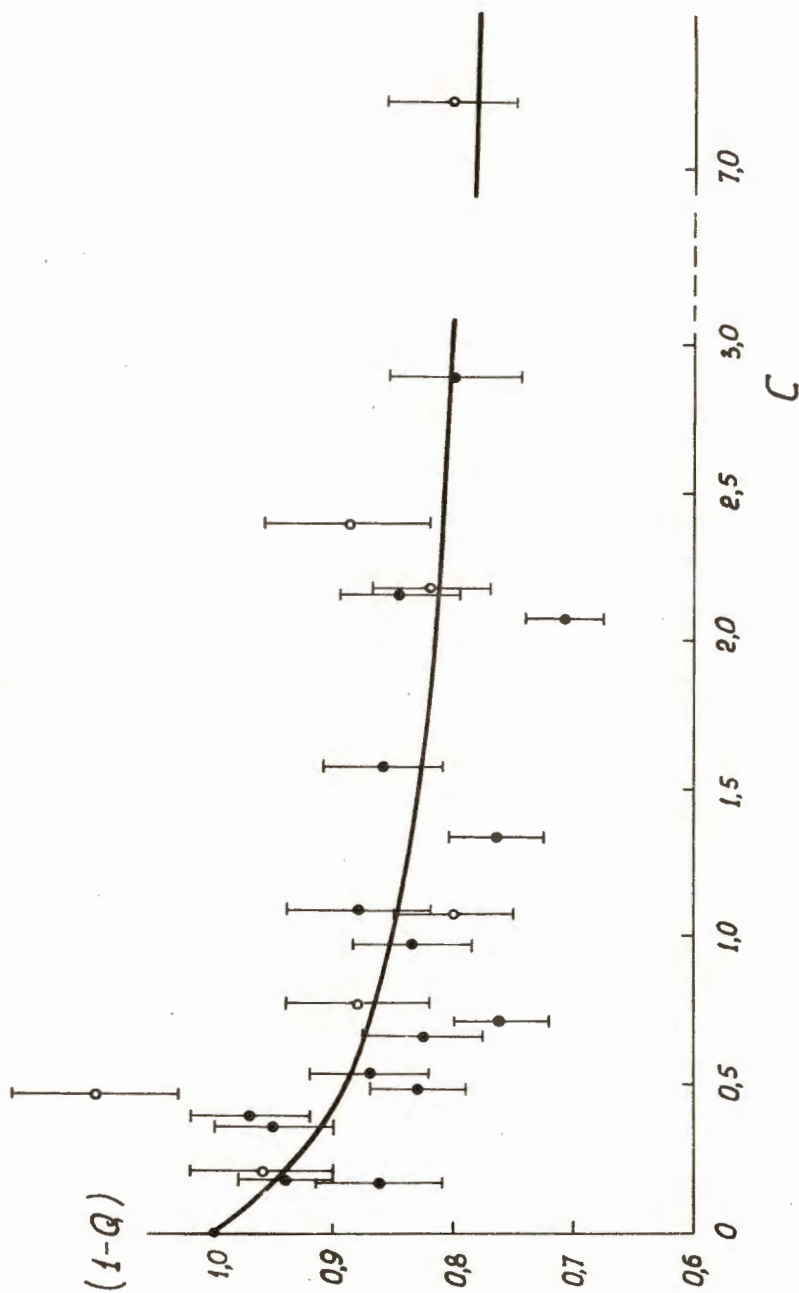


Рис. 1. Зависимость вероятности Q перехвата π^- -мезонов от водорода к дейтерию от относительной концентрации дейтерия C . Значения плотности водорода в единицах $10^{-3} \rho_H$ равны 12 (светлые точки) и 27 (темные точки) (при нормальных условиях плотность газообразного водорода равна $1,3 \cdot 10^{-3} \rho_H$). Кривая - зависимость (3), вычисленная при $\Lambda = 0,4$ и $\kappa = 1,3$ (7).

3.0 б с у ж д е н и е

Измерения зависимости $Q(C)$ были выполнены при двух значениях плотности водорода ρ_H . Как видно из рис.1, величины Q при фиксированной относительной концентрации C в пределах погрешностей измерений не зависят от ρ_H , что согласуется с (3).

Величины Λ и κ для смеси $H_2 + D_2$ были определены по данным рис.1 методом наименьших квадратов и оказались равными

$$\Lambda = 0,4 \pm 0,1, \quad \kappa = 1,3 \pm 0,4. \quad (8)$$

Полученное значение Λ меньше величины, следующей из зависимости (4), согласно которой $\varepsilon_{pd} = (0,7 \pm 0,2)$ а.

Из сравнения этой величины с Λ (8) следует $\varepsilon_{dp} = 0,3 \pm 0,2$, т.е. интенсивности прямого и обратного перехвата в системе $H_2 + D_2$ примерно одинаковы. Близость величин ε_{pd} и ε_{dp} объясняется тем, что скорости ядерного захвата π^- -мезонов протоном и дейтроном примерно одинаковы, а изотопическая разность уровней возбужденных $p\pi^-$ - и $d\pi^-$ -мезоатомов невелика.

Приведенная константа перехвата, определяемая как $\Lambda_D = \Lambda \rho_H^0$ (где $\rho_H^0 = 4,2 \cdot 10^{22}$ атомов/см³ - плотность жидкого водорода, $\rho_H^0 \text{ а} = (4 \pm 1) \cdot 10^{11} \text{ сек}^{-1/6}$), для газовой смеси $H_2 + D_2$ равна

$$\Lambda_D = (1,8 \pm 0,6) \cdot 10^{11} \text{ сек}^{-1}. \quad (9)$$

Константа перехвата π^- -мезонов Λ_D на порядок величины превышает аналогичную константу перехвата μ^- -мезонов λ_{pd} в смеси $H_2 + D_2$, измеренную в опытах при малых ρ_D и равную $10^{10} \text{ сек}^{-1/7}$. При сравнении Λ_D и λ_{pd} следует учесть, что при малых концентрациях дейтерия перехват μ^- -мезонов идет только от водорода к дейтерию ($\varepsilon_{dp} = 0$, так как $d\mu^-$ -мезоатом находится в основном состоянии, которое ниже, чем основное состояние $p\mu^-$ -мезоатома,

в то время как скорости прямого и обратного перехвата π^- -мезонов (6) примерно одинаковы, т.е. $\Lambda_{pd} \approx \Lambda_{dp}$, где $\Lambda_D = \Lambda_{pd} - \Lambda_{dp}$ и $\Lambda_{pd} > \Lambda_D$). Большое различие приведенных констант перехвата π^- - и μ^- -мезонов ($\Lambda_{pd} \approx 10 \lambda_{pd}$) объясняется тем, что перехват μ^- -мезонов при малых концентрациях дейтерия происходит из основного состояния $p \mu^-$ -мезоатома, в то время как π^- -мезоны при $C \approx 1$ перехватываются с более высоких орбит ($n > 1$).

Так как при малых n скорость перехвата пропорциональна квадрату радиуса мезоатома ($\approx n^4$), из соотношения между Λ_{pd} и λ_{pd} следует, что $n \approx 3$, в согласии с оценкой^{/2/}.

Значение κ для смеси $H_2 + D_2$ получено близким к единице, т.е. вероятности захвата π^- -мезона протоном в $p \pi^-$ -мезоатоме при столкновении мезоатома с атомами водорода и дейтерия практически одинаковы. Это является естественным следствием того, что электромагнитные свойства атомов H и D весьма близки.

В смеси $H_2 + D_2$, в отличие от смесей водорода с другими элементами

$$\kappa > \Lambda. \quad (10)$$

Это означает, что при столкновении $p \pi^-$ -мезоатома с атомом дейтерия ядерный захват π^- -мезона протоном в π^- -мезоатоме более вероятен, чем перехват π^- -мезона к дейтрону.

Согласно формуле (3), в области больших относительных концентраций C перехват насыщается:

$$Q \xrightarrow[C \rightarrow \infty]{Q_{\max}} = \frac{\Lambda}{\Lambda + \kappa}. \quad (11)$$

Для смеси $H_2 + D_2$

$$Q_{\max} = 0,23 \pm 0,04, \quad (12)$$

в то время как для смесей водорода с другими элементами^{/1/}
 $Q_{\max} > 0,9$.

В заключение пользуемся случаем поблагодарить С.С. Герштейна и Л.И. Пономарева за полезные обсуждения.

Л и т е р а т у р а

1. В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин, В.М.Суворов. Препринт ОИЯИ, P13-390i, Дубна, 1968.
2. С.С.Герштейн, В.И.Петрухин, Л.И. Пономарев, Ю.Д.Прокошкин. Препринт ОИЯИ, P4 - 3860, Дубна, 1968.
3. А.Ф.Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д.Прокошкин, В.И.Рыкалин. ЖЭТФ, 42, 1680 (1962).
4. W.Chinowsky, J.Steinberger. Phys. Rev., 95, 1561 (1951).
5. V.I.Petrukhin, Yu.D.Prokoshkin. Nucl.Phys., 54, 414 (1964).
6. I.H.Doede, R.H.Hildebrand, M.H.Israel. M.R.Рyка. Phys. Rev., 129, 2808 (1963).
7. В.П.Джелепов, П.Ф.Ермолов, Е.А.Куширенко, В.И.Москалев, С.С.Герштейн. ЖЭТФ, 42, 439 (1962); E.J.Bleser, E.W.Anderson, L.M.Lederman, S.L.Meyer, J.L.Rosen, J.E.Rothberg, I.I.'Wang. Phys. Rev., 132, 2679 (1963).

Рукопись поступила в издательский отдел
9 августа 1968 г.