

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



П-312

14/5-74

P12 - 7423

149/2-74

В.И.Петрухин, В.Е.Рисин, В.М.Суворов

О РОЛИ ПЕРЕХВАТА  
В ПОДАВЛЕНИИ ЗАХВАТА  $\pi^-$ -МЕЗОНОВ  
СВЯЗАННЫМ ВОДОРОДОМ

1973

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

P12 - 7423

В.И.Петрухин, В.Е.Рисин,\* В.М.Суворов

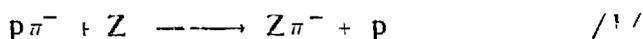
О РОЛИ ПЕРЕХВАТА  
В ПОДАВЛЕНИИ ЗАХВАТА  $\bar{p}^-$ -МЕЗОНОВ  
СВЯЗАННЫМ ВОДОРОДОМ

*Направлено в ЯФ*

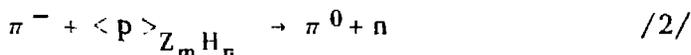
---

\* Воронежский государственный университет

При первом изучении /1,2./ захвата  $\pi^-$ -мезонов связанным водородом было показано, что перехват  $\pi^-$ -мезонов тяжелыми атомами с атомов водорода - мезоатомная перезарядка



не дает заметного /на уровне точности  $\sim 10\%$ / вклада<sup>2</sup>. в наблюдавшееся на опыте резкое подавление вероятности  $W$  захвата  $\pi^-$ -мезонов связанным водородом. Основные особенности этого явления



- сам факт большого подавления его вероятности / $W \sim 10^{-2} - 10^{-4}$ /.  $Z^{-3}$  - зависимости вероятности  $W$  для бинарных молекул  $Z_m H_n$  /1/, нашли объяснение на основе новых представлений, приведших к созданию модели больших мезомолекул /3/. Последующее изучение захвата пионов связанным водородом /4/ показало, что процессы /2/ могут быть использованы для исследования характера связей водорода в химических соединениях /5/. Первые попытки реализации подобной программы /6,7/ показали, что в большинстве случаев наблюдаемые на опыте эффекты проявления особенностей химической связи атомов водорода имеют величину / $10^1 - 10^2$  /% /7/. Хотя мезомолекулярный механизм подавления захвата пионов связанным водородом удовлетворительно объясняет имеющиеся данные /7,8/, для надежного выделения "химических эффектов" необходимо иметь более точную оценку роли других возможных механизмов подавления захвата пионов связанным водородом.

В настоящей работе предпринята попытка улучшить прежнюю оценку возможного вклада перехвата /1/ - одного из таких механизмов, в подавление захвата пионов связанным водородом.

Перехват пионов /1/ был обнаружен /9/ нами в газовых смесях водорода с другими атомами  $H_2 + Z$ , в которых он может наблюдаться в чистом виде. Полученные нами позднее более полные данные /10/ для смесей  $H_2$  с He,  $N_2$ ,  $CO_2$ , Ne, Ar, Kr, Xe описываются формулой

$$W = 1 - Q = \frac{1}{1 + \Lambda C}, \quad /3/$$

где  $Q$  - вероятность перехвата,  $C = \frac{n_x}{n_H}$  - атомная концентрация примеси  $X$ ,  $n_x$  - число атомов  $X$  в  $1 \text{ см}^3$ ;

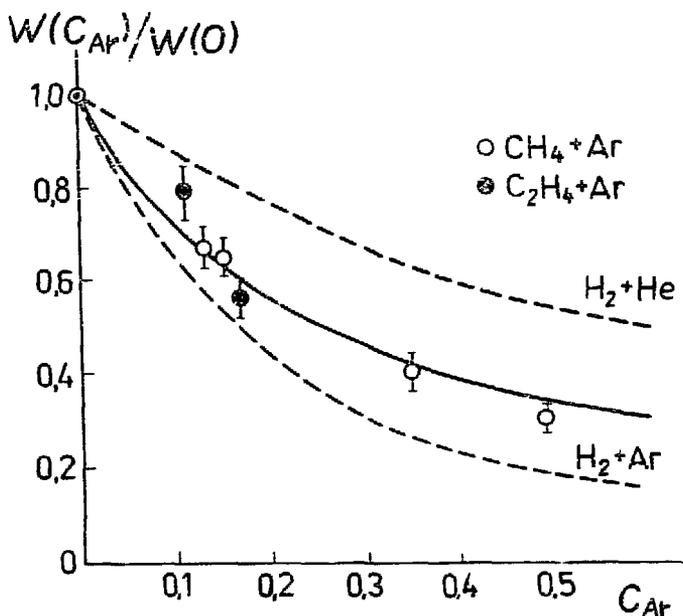
$\Lambda$  - "константа" перехвата, очень слабо зависящая от концентрации  $C$  и заряда  $Z$  ядер атомов примеси ( $\Lambda = \Lambda(C^{1/3}, Z^{1/3})$ ). На рис. 1 приведены кривые  $W(C)$ , полученные для газовых смесей  $H_2 + He$  и  $H_2 + Ar$  /10/. При концентрациях атомов  $Z \sim 1$  перехват уменьшает вероятность захвата пионов водородом в несколько раз. В водородсодержащих химических соединениях перехват /1/, если он имеет место, происходит на фоне весьма интенсивных  $\sim 10^2 - 10^4$  / мезомолекулярных механизмов подавления захвата пионов связанным водородом, что затрудняет его наблюдение \*.

Измерения выполнены на пучке  $\pi^-$ -мезонов с энергией 80 Мэв синхротрона ОИЯИ. Постановка опыта и процедура измерений и обработки описаны нами ранее /7/. В качестве мишеней использовались системы  $Z_m H_n + X$  растворы жидкостей  $C_6H_6 + CCl_4$  и  $C_{10}H_{22} + CCl_4$ , смешивающихся в любых пропорциях и слабо взаимодействующих друг с другом при растворении, и газовые смеси  $CH_4 + Ar$  и  $C_2H_4 + Ar$ , а также смесь  $H_2O + D_2O$ . Во всех случаях количество вещества  $Z_m H_n$  в мишени

\* Ранее нами изучался /2/ захват  $\pi^-$ -мезонов водородом в  $CH_4O$  и растворах  $CH_4O + NaJ (LiCl)$ . При изменении молекулярной концентрации примесей  $\nu$ ,  $C \leq 0,3$  перехват /1/ не наблюдался при точности измерения  $\sim 10\%$ .

фиксировано, изменяется только доля примеси  $X$ . Результаты измерений представлены на *рис. 1* и *2*. Здесь  $W(0)$  - вероятность захвата пионов водородом молекулы  $Z_m H_n$ .  $W(C_x)$  - вероятность захвата пионов водородом молекулы  $Z_m H_n$  при различных концентрациях  $C_x$  атомов примеси. При обработке данных предполагалось, что посадка пиона на компоненты смеси пропорциональна их тормозным способностям.

Как видно из *рис. 1*, наблюдается подавление захвата



**Рис. 1.** Подавление ядерного захвата  $\pi^-$ -мезонов водородом в смесях  $CH_4 + Ar$  и  $C_2H_4 + Ar$  в зависимости от атомных концентраций аргона  $C_{Ar}$ . Сплошная кривая проведена по формуле /4/ для смеси  $CH_4 + Ar$  при  $\langle \Lambda_c \rangle = 1,0 \pm 0,4$ ,  $\langle \Lambda_{Ar} \rangle = 5,0 \pm 0,7$ .

пионов водородом метана и этилена, зависящее от концентрации газа - примеси ( $Ar$ ). Оно обусловлено перехватом пионов атомами аргона с атомов водорода молекулы  $C_m H_n$ . По-видимому, имеет место следующий механизм перехвата: захватившийся на один из общих мезомолекулярных уровней системы  $C_m \pi^- H_n$  пион, опуска-

ясь вниз, достигает, наконец, разделенных уровней  $\langle p\pi^- \rangle$  и  $C\pi^-$ -атомов /8/. Образовавшийся  $\langle p\pi^- \rangle$ -мезоатом покидает молекулу и, блуждая в веществе, при столкновениях с атомами  $C$  и  $Ag$  может передать им пион по реакции /1/. Механизм перехвата /1/ включается в момент отделения  $\langle p\pi^- \rangle$ -мезоатома от мезомолекулы  $C_m\pi^-H_n$ .

Зависимость подавления  $\delta = W(C_x)/W(0)$  от концентрации примеси  $X$  /рис. 1 и 2/ описывается для смесей  $C_mH_n + X$  формулой

$$\delta = \frac{1 + \langle \Lambda_c \rangle C_c}{1 + \langle \Lambda_c \rangle C_c + \langle \Lambda_x \rangle C_x}, \quad /4/$$

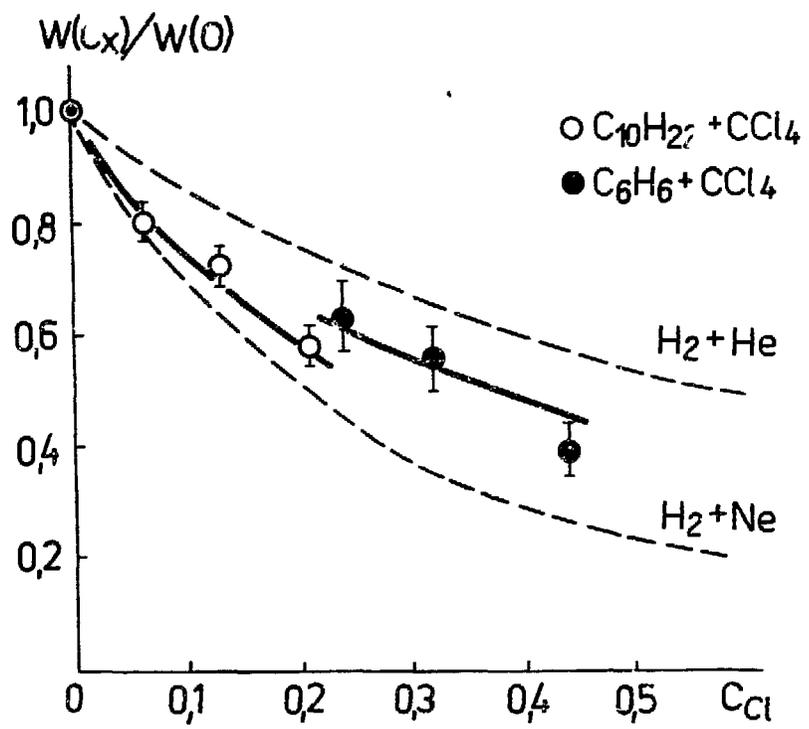


Рис. 2. Подавление ядерного захвата  $\pi^-$ -мезонов водородом в растворах  $C_{10}H_{22} + CCl_4$  и  $C_6H_6 + CCl_4$  в зависимости от атомных концентраций хлора  $C_{Cl}$ . Сплошные кривые рассчитаны по формуле /4/ при  $\langle \Lambda_c \rangle = 1,0 \pm 0,4$ ,  $\langle \Lambda_{Cl} \rangle = 5,0 \pm 0,7$ . Разрыв расчетной кривой обусловлен различием в концентрациях углерода в исходных молекулах  $C_{10}H_{22}$  и  $C_6H_6$ .

которую можно получить на основе феноменологической модели перехвата /9/. Полученные в предположении  $\langle \Lambda_{Cl} \rangle = \langle \Lambda_{Ar} \rangle = \text{const}$  и  $\langle \Lambda_e \rangle = \text{const}$  константы перехвата пионов с мезоатомами  $\langle p \pi^- \rangle$ , образующихся в водородсодержащих веществах,  $\langle \Lambda_{Ar} \rangle = \langle \Lambda_{Cl} \rangle = 5,0 \pm 0,7$  и  $\langle \Lambda_e \rangle = 1,0 \pm 0,4$  меньше соответствующих значений констант  $\Lambda_{Ar} = 8,8 \pm 0,9$ ,  $\Lambda_{Cl} = 8,4 \pm 0,9$  и  $\Lambda_e = 5,5 \pm 0,7$  для смесей  $H_2 + Z / 10 /$  все  $\Lambda_i$  приведены к  $C_i = 0,5 /$ .

Если считать, что интенсивность перехвата  $Q \sim n^4$  ( $n$  — главное квантовое число возбужденного  $p \pi^-$ -мезоатома), это различие не кажется неожиданным, поскольку  $\langle p \pi^- \rangle$ -мезоатом образуется при развале мезомолекулы  $Z_m \pi^- H_n$  с меньшим возбуждением, чем при развале мезомолекулы  $H_2 \pi^-$ .

Можно ожидать, что константы перехвата  $\langle \Lambda \rangle$  будут зависеть от концентрации  $C_x$ , как это наблюдается в смесях  $H_2 + Z / 10 /$ . Скудость экспериментальных данных об энергетической зависимости отношения тормозных способностей  $S_Z / S_H$  в области малых кинетических энергий пионов /  $\lesssim$  кэВ / не позволяет исключить вклад в наблюдаемый эффект от возможной зависимости числа посадок пионов на водород в смеси  $H_2 + Z$  от концентрации  $C$ . Это обстоятельство, а также возможная зависимость констант перехвата  $\langle \Lambda \rangle$  от степени ассоциирования атомов / как водородных, так и тяжелых / в молекулах, не позволяют выделить вклад перехвата в подавление захвата пионов связанным водородом. Можно, однако, констатировать, что перехват пионов имеет место не только в механических / газовых / смесях атомов, но и в химических соединениях и их смесях. Этот механизм работает всегда, когда образуется мезоатом водорода  $p \pi^-$  в присутствии других атомов  $Z$  / свободных или связанных /.

Такой же вывод можно сделать из данных, приведенных на рис. 3. Как видно из этого рисунка, наблюдается слабый перехват пионов атомами дейтерия с атомов водорода в смеси обычной и тяжелой воды  $H_2O + D_2O$ . Зависимость вероятности перехвата  $Q = 1 - W(C_x)$  от концентрации  $C_D$  аналогична наблюдавшейся нами ранее / 11 / для смесей газов  $H_2 + D_2$  / кривая на рис. 3 /. Это означает, что различие в мезоатомах  $\langle p \pi^- \rangle$  и  $\langle d \pi^- \rangle$ ,

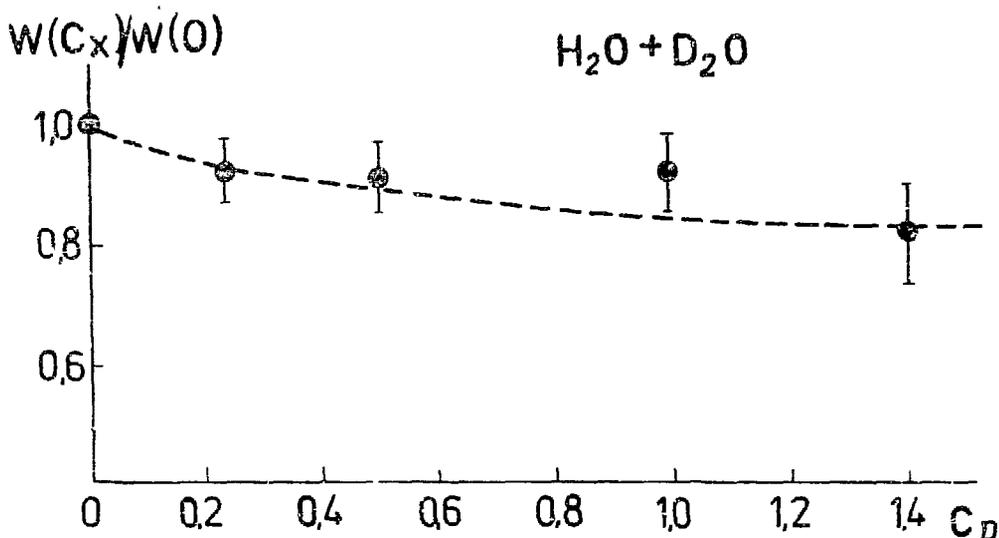


Рис. 3. Подавление ядерного захвата  $\pi^-$ -мезонов водородом в растворе  $\text{H}_2\text{O} + \text{D}_2\text{O}$ . Пунктирная кривая - данные о перехвате в смеси газов  $\text{H}_2 + \text{D}_2$ .

обуславливающее наличие перехвата  $\pi^-$ -мезонов атомами дейтерия с водорода, не проявляется при столкновениях  $\langle p\pi^- \rangle$  и  $\langle d\pi^- \rangle$  с атомами кислорода.

Таким образом, в общем случае вероятность захвата  $\pi^-$ -мезонов связанным водородом должна определяться по формуле

$$W = W_{\text{MM}} q \epsilon, \quad /5/$$

где  $W_{\text{MM}} = \frac{\pi a_2 Z^{-2}}{\pi Z + a}$  - вероятность захвата, определяе-

мая по формулам модели больших мезомолекул для бинарных соединений  $Z_m \text{H}_n$  с ковалентной связью /8/, а  $Z$  - определяемая из опыта константа;  $q = 1 - Q$  - подавление захвата из-за перехвата /1/;  $\epsilon$  - подавление захвата из-за особенностей химической связи водорода в молекулах /химические эффекты/. До сих пор считалось, что  $q = 1$ . Это давало возможность в случае  $\epsilon \rightarrow 1$  считать  $W = W_{\text{MM}}$  и определять  $a_2$  из измерений с бинарными соединениями  $Z_m \text{H}_n$  /4/. Как показано выше, всегда  $q < 1$ .

Это означает, что используемая в модели больших мезомолекул константа должна быть перенормирована с учетом перехвата, новые значения константы:

$$a_z = a_z / q \quad /6/$$

#### Литература

1. V.I.Petrukhin, Yu.D.Prokoshkin. *Nuovo Cim.*, 28, 99 (1953).
2. В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин. *ДАН* 160, 1, 71 /1965/.
3. Л.И.Пономарев. *ЯФ*, 2, 223 /1965/, *ЯФ*, 6, 338 /1967/.
4. Э.В.Крумштейн, В.И.Петрухин, Л.И.Пономарев, Ю.Д.Прокошкин. *ЖЭТФ*, 54, 1690 /1968/; Э.В.Крумштейн, В.И.Петрухин, Л.И.Пономарев, Ю.Д.Прокошкин. *ЖЭТФ*, 55, 1640 /1968/.
5. В.И.Петрухин, Л.И.Пономарев, Ю.Д.Прокошкин. *Химия высоких энергий*, 1, 283 /1967/.
6. Э.В.Крумштейн, В.И.Петрухин, Л.М.Смирнова, В.М.Суворов, И.А.Ютландов. *Дубна*, P12-5224 /1970/.
7. В.И.Петрухин. *Труды V Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра*. Дубна, 1971. Изд. ОИЯИ, Д1-6349, Дубна, 1972.
8. С.С.Герштейн, В.И.Петрухин, Л.И.Пономарев, Ю.Д.Прокошкин. *УФН*, 97, 3 /1969/.
9. В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин, В.М.Суворов. *ЖЭТФ*, 55, 2173 /1968/.
10. В.И.Петрухин, В.М.Суворов. *Дубна*, P13-6703 /1972/.
11. В.И.Петрухин, Ю.Д.Прокошкин. *ЖЭТФ*, 56, 501 /1969/.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 августа 1973 года.