

УДК 539.181.1

ФИЗИКА

Член-корреспондент АН СССР В. И. ГОЛЬДАНСКИЙ, А. А. ДЖУРАЕВ, В. С. ЕВСЕЕВ,
Ю. В. ОБУХОВ, В. С. РОГАНОВ, М. В. ФРОНТАСЬЕВА, Н. И. ХОЛОДОВ

АТОМНЫЙ ЗАХВАТ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЕЗОНОВ В ВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЯХ

Обнаруженная в Дубне периодичность захвата μ^- -мезонов кислородом в ряду окислов ⁽¹⁾, а также ряд других химических эффектов и характерных особенностей захвата μ^- - и π^- -мезонов в бинарных неорганических системах ⁽²⁻⁴⁾ получили недавно теоретическое истолкование в работе Аю-Янга и Коуэна ⁽⁵⁾, расчеты которых оказались в удовлетворительном согласии с экспериментами.

Целью настоящей работы было выявление возможных закономерностей в распределении отрицательных μ^- -мезонов между отдельными группами $Z_m H_n$ и атомами Z' в замещенных органических и вообще водородсодержащих соединениях типа $Z_m H_n Z_k'$ или $Z_m H_n Z_k' H_{n'}$. Подобные измерения существуют для проверки того, соблюдается ли «Z-закон» Ферми — Теллера ^(6, 7) на стадии первоначальной посадки π^- -мезонов между группами и атомами в сложных водородсодержащих соединениях.

Относительные вероятности захвата μ^- -мезонов определялись по известной методике ^(7, 8) путем измерения выхода электронов $\mu^- - e^-$ -распада. При этом принималось, что мезоны, попадающие на мезомолекуляр-

Таблица 1

Относительные вероятности захвата μ^- -мезонов водородсодержащими и углеводородными группами и ароматическими кольцами в соединениях с ионными связями, в хлоралкилах и галоидбензолах

Соединение	Отношение	$A_{\text{эксп}}$	$\frac{A_{\text{эксп}}}{A_{\text{теор}}}$	$\eta_{Z_m H_n}^{\text{эксп}} = \frac{A_{\text{эксп}}}{1 + A_{\text{эксп}}}$
NH ₄ F	NH ₄ /F	2,05±0,26	1,68±0,21	0,67±0,09
NH ₄ Cl (300°K)	NH ₄ /Cl	1,12±0,03	1,73±0,04	0,53±0,02
NH ₄ Cl (80°K)	NH ₄ /Cl	1,06±0,03	1,63±0,05	0,51±0,02
NH ₄ Br	NH ₄ /Br	0,48±0,03	1,54±0,09	0,32±0,02
NaOH	OH/Na	4,81±0,61	5,86±0,84	0,83±0,14
KOH	OH/K	2,2 ±0,4	4,6 ±0,8	0,7 ±0,2
Ca(OH) ₂	(OH) ₂ /Ca	6,93±0,38	7,72±0,40	0,8 ±0,06
Al(OH) ₃	(OH) ₃ /Al	7,00±0,50	3,37±0,24	0,88±0,08
KHF ₂	HF ₂ /K	1,70±0,24	1,70±0,24	0,63±0,11
иго-C ₃ H ₇ Cl	C ₃ H ₇ /Cl	2,03±0,06	1,38±0,04	0,67±0,03
C ₄ H ₉ Cl	C ₄ H ₉ /Cl	2,74±0,09	1,33±0,04	0,73±0,04
C(CH ₃)Cl	C(CH ₃)/Cl	2,88±0,10	1,40±0,05	0,74±0,04
C ₆ H ₁₃ Cl	C ₆ H ₁₃ /Cl	4,72±0,22	1,64±0,08	0,83±0,05
C ₆ H ₁₉ Cl	C ₆ H ₁₉ /Cl	6,77±0,22	1,58±0,09	0,87±0,04
C ₆ H ₅ F	C ₆ H ₅ /F	3,73±0,40	0,82±0,09	0,79±0,11
C ₆ H ₅ Cl	C ₆ H ₅ /Cl	3,50±0,31	1,45±0,13	0,78 ±0,09
C ₆ H ₅ Br	C ₆ H ₅ /Br	1,84±0,10	1,57±0,10	0,65±0,05
C ₆ H ₄ Cl ₂ (жидк)	C ₆ H ₄ /Cl ₂	2,28±0,21	1,94±0,18	0,70±0,08
C ₆ H ₄ Cl ₂ (тв)	C ₆ H ₄ /Cl ₂	2,09±0,21	1,78±0,18	0,68±0,08
C ₆ Cl ₆	C ₆ /Cl ₆	0,46±0,02	1,34±0,06	0,32±0,02
C ₆ F ₆	C ₆ /F ₆	0,70±0,03	1,05±0,04	0,41±0,02

ные орбитали групп Z_mH_n , Z_mH_v и $Z_h'H_v'$, практически полностью переходят на K -оболочки связывающих атомов Z (⁷, ⁹). Эксперименты выполнялись на чистом мюонном пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований с помощью аппаратуры, описанной в (¹⁰). Спектры выхода электронов распада во времени обрабатывались на ЭВМ. Окончательные результаты по вероятностям захвата приведены в табл. 1.

Для всех исследованных ионных молекул — солей аммония NH_4Hal ($Hal = R, Cl, Br$, щелочей $MeOH$ ($Me = Na, K$) и гидроокисей $Ca(OH)_2$ и $Al(OH)_3$ наблюдается нарушение Z -закона с преимущественной посадкой μ^- -мезонов на водородсодержащие группы NH_4^+ и OH^- . Экспериментальные отношения числа захватов водородсодержащими группами Z_mH_n

и атомами Z' (где Z' — галоиды и металлы) $A_{\text{эксп}} = \left[\frac{W_{Z_mH_n}}{W_{Z'}} \right]_{\text{эксп}}$ существенно превышают ожидаемые по Z -закону $A_{\text{теор}} = (n + mZ) / Z'$ (примерно в 1,5–2,3 раза для солей аммония и в 3–8 раз для щелочей и оснований).

Алифатические хлорзамещенные простые углеводороды с ковалентными связями типа $C_mH_{2m+1}Hal$ (где $Hal = Cl$ и $m = 1-9$) также обнаруживают заметные отклонения от Z -закона в сторону большей предпочтительности посадки мезонов на углеводородную цепь.

Тенденция к преобладающему захвату мезонов на ароматическое кольцо проявляется и в галоидзамещенных бензолах, за исключением, по-видимому, фторбензолов.

Предварительный анализ имеющихся экспериментальных данных для водородсодержащих ионных и ковалентных соединений показывает их непротиворечивость общим положениям модели (⁵), согласно которой при переходе из непрерывного спектра в дискретный мезоны захватываются на первичные делокализованные состояния с главным квантовым числом $N = 60-70$. При последующих переходах, происходящих в основном за счет Оже-каскада, волновая функция обобщенного состояния и конечная вероятность захвата на ионные остовы групп и атомов с $n = 20-30$ модулируются периодическим кристаллическим потенциалом решетки ионных соединений и эффективным параметром передачи заряда. Аналогом периодического потенциала в углеводородных замещенных служит внутримолекулярный потенциал линейной цепи C_mH_{2m+1} или фенильной группы (кольца) галоидбензолов. Модель предсказывает преимущественный захват мезонов из нелокализованных состояний на ионные остовы положительно заряженного центра (NH_4^+ , C_6H_5 , C_mH_{2m+1} и т. д. в нашем случае) или кислородсодержащей OH^- группы в решетке, что находится в полном согласии с настоящим экспериментом, поскольку с высоких орбиталей мезона с $N = 60-70$ эти группы воспринимаются как целое.

Измерения вероятностей посадок $w_{Z_mH_n}^{\text{эксп}}$ на водородсодержащие группы Z_mH_n как целое позволяют исключить неопределенность, связанную с отсутствием данных о распределении π^- -мезонов между Z_mH_n и Z' или Z_mH_v и $Z_h'H_v'$ при интерпретации экспериментальных данных по выходу перезарядки π^- -мезонов в сложных водородсодержащих соединениях и проверке так называемого мезохимического отрицательного индуктивного эффекта (¹¹).

В модели «больших мезомолекул» в предположении о распределении мезонов между группами Z_mH_n и атомами Z' по Z -закону используют для расчета вероятности захвата π^- -мезонов ядрами водорода в таких соединениях формулу

$$W_{Z_mH_nZ'} = \frac{a_{\pi} n / Z^2}{n + mZ + Z'} \quad (1)$$

Однако допущение о подобном характере распределения отрицательных мезонов между $Z_m H_n$ и Z' в сложном соединении не подтверждается настоящим прямым экспериментом.

Самый простой и непосредственный способ учета наших и литературных экспериментальных данных по вероятностям посадок отрицательных мезонов на водородсодержащие группы $Z_m H_n$, не затрагивающей других исходных положений модели, состоит в перенормировке измеряемой на опыте (или рассматриваемой с коэффициентами a_L для простых гидридов) вероятности $W_{Z_m H_n}$ с учетом реального распределения мезонов в сложном соединении $Z_m H_n Z'$ между $Z_m H_n$ и Z' .

Раньше эту величину относили к числу всех остановок — мезонов в соединении (¹², ¹³); следует же относить ее лишь к экспериментально измеряемой доле остановок, приходящейся на определенную водородсодержащую группу. При этом обработку данных по вероятностям захвата π^- -мезонов ядрами водорода рассматриваемой группы сложного соединения можно будет производить на основе формулы для бинарных соединений, написанной в рамках прочих допущений модели «больших мезомолекул», например:

$$\frac{W_{Z_m H_n Z'}^{\text{эксп}}}{w_{Z_m H_n}^{\text{эксп}}} = \frac{a_L n / Z^2}{n + mZ}; \quad (2)$$

здесь $w_{Z_m H_n}^{\text{эксп}}$ — относительная на одну остановку мезона в сложном соединении $Z_m H_n Z'$ экспериментальная вероятность попадания в группу мезона $Z_m H_n$, подобно определенной для ряда групп в настоящей работе или вычисленной по литературным данным (табл. 1); $W_{Z_m H_n Z'}^{\text{эксп}}$ — экспериментальное значение выхода перезарядки π^- -мезонов в сложном соединении на один остановившийся мезон.

В этом случае вычисленное по формуле (2) значение коэффициента a_L несет выделенную информацию именно об изменении характера химической связи H—Z атомов водорода в группе $Z_m H_n$, вызванной присутствием и влиянием атома-заместителя Z' , т. е. информацию, не осложненную перераспределением π^- -мезонного облака между Z' и группой $Z_m H_n$ как целого.

Институт химической физики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
28 XI 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Г. Зинов, А. Д. Конин и др., Ядерная физика, **2**, 859 (1965); **5**, 591 (1967).
- ² G. A. Grin, R. Kunselman, Phys. Rev. Lett., **31B**, 116 (1970). ³ L. Tauscher, G. Backenstoss et al., Phys. Lett., **27B**, 581 (1968). ⁴ H. Daniel, H. Koch et al., Phys. Lett., **26B**, 281 (1968). ⁵ M. Y. Au-Yang, M. L. Cohen, Phys. Rev., **174**, 468 (1968). ⁶ E. Fermi, E. Teller, Phys. Rev., **72**, 399 (1947). ⁷ J. S. Sens, R. A. Swanson et al., Nuovo Cimento, **7**, 536 (1958). ⁸ J. E. Lathrop, R. A. Lundy et al., Nuovo Cimento, **15**, 831 (1960). ⁹ Л. И. Пономарев, Ядерная физика, **2**, 233 (1965); **6**, 388 (1967). ¹⁰ А. И. Бабаев, И. Я. Балац и др., ЖЭТФ, **50**, 877 (1966). ¹¹ З. В. Крумштейн, В. И. Петрухин и др., Тез. докл. на IV Международн. конф. по физике элементарных частиц и структуре ядра, Дубна, 1971. ¹² З. В. Крумштейн, В. И. Петрухин и др., ЖЭТФ, **54**, 1690 (1968). ¹³ З. В. Крумштейн, В. И. Петрухин и др., ЖЭТФ, **55**, 1640 (1968).