

УДК 539.181.1

ФИЗИКА

Н. И. ХОЛОДОВ, член-корреспондент АН СССР В. И. ГОЛЬДАНСКИЙ
О Z-ЗАВИСИМОСТИ ЯДЕРНОГО ЗАХВАТА π^- -МЕЗОНОВ
СВЯЗАННЫМ ВОДОРОДОМ

Систематическое изучение вероятностей W захвата π^- -мезонов (¹⁻⁵), антипротонов (⁶) и K^- -мезонов (⁷) ядрами связанного водорода в гидридах $Z_m H_n$ и замещенных углеводородах $Z_m H_n Z_k'$ привело к обнаружению вариации вероятностей $W^{\text{экс}}$ в 5–10 раз от ранее принятых значений (^{8, 9}). Их учет вносит неопределенность порядка единицы в показатель степенной зависимости $W_{Z_m H_n}^{\text{экс}} \approx a_L \cdot Z^{-3 \pm 1}$, причем оказалось, что постоянство коэффициентов a_L (^{8, 9}) внутри периода L является следствием ограниченного и случайного выбора объектов исследования. С другой стороны, в (¹⁰) было показано, что оба допущения модели «больших мезомолекул» (⁸) о соблюдении Z -закона на стадии первоначальной посадки и о прямых радиационных переходах из области валентных оболочек на $n_\pi=1$ (комбинация которых могла бы дать $W_{Z_m H_n} \sim Z^{-3}$) не подтверждаются прямыми экспериментами.

Таблица 1

ZH_n	Z	$W^{\text{экс}} \cdot 10^3$	$W^{\text{хим}} \cdot 10^3$	δ_H
LiH	3	35 ± 4 (^{8, 9})	111 ± 13	-0,23
B ₂ H ₆	5	$27,0 \pm 3,0$ *	$59,4 \pm 6,6$	-0,05
CH ₄	6	$26,4 \pm 3,0$ *	$54,9 \pm 6,2$	0,01
NH ₃	7	$14,20 \pm 0,90$ (⁴)	$38,00 \pm 2,41$	0,07
H ₂ O	8	$3,90 \pm 0,25$ **	$15,10 \pm 0,97$	0,15
HF	9	$0,66 \pm 0,08$ (⁴)	$4,94 \pm 0,60$	0,17

* Данные для диборана и метана вычислены нами, исходя из аддитивного характера вероятности захвата (⁸) по формулам: $CH_4 = 2W_{CH_2}^{\text{экс}}$, $W_{B_2H_6} = 2,14W_{BH_{1,4}}^{\text{экс}}$.

В расчете использовались значения $W_{CH_2}^{\text{экс}} = (13,2 \pm 1,5) \cdot 10^{-3}$ для полиэтилена и $W_{B_{10}H_{14}}^{\text{экс}} = (12,6 \pm 1,4) \cdot 10^{-3}$ для декаборана, взятые из (^{8, 9}).

** Приведено значение вероятности, повторно измеренное нами совместно с Н. Н. Зацепиной, В. И. Петрухиным, В. Е. Рисиним, В. М. Суворовым, И. Ф. Тулицыным, И. А. Ютландовым. Оно совпадает в пределах экспериментальных погрешностей с литературными данными (^{8, 9}).

В этих условиях представляется целесообразным возвратиться к рассмотрению вида зависимости от Z вероятностей $W_{ZH}^{\text{экс}}$ водородного захвата π^- -мезонов на примере однотипных объектов — предельных гидридов ZH_n второго периода, по которым имеются наиболее полные данные. Другая цель сообщения заключается в количественном обосновании наших исследований (^{1-4, 10}) влияния электронной структуры и реакционной способности вещества на распределение π^- -мезонов между атомами.

Экспериментальные значения вероятностей захвата π^- -мезонов $W_{ZH}^{\text{экс}}$ ядрами связанного водорода, отнесенные к полной вероятности π^- -мезонного захвата в ZH_n , приведены в табл. 1 и на рис. 1.

Приступая к анализу поведения $W_{ZH_n}^{\text{экс}}$ (рис. 1) в зависимости от Z и от параметров электронной структуры связей H—Z во втором периоде, необ-

ходимо прежде всего пронормировать ее на вероятность $W_{\text{смеси}}$ захвата π^- -мезонов водородом в смеси $(n/2)\text{H}_2 + \text{Z}$, соответствующей по брутто-составу химическому соединению ZH_n . Для этого выделим из $W_{\text{ZH}_n}^{\text{эксп}}$ функцию

$$W_{\text{смеси}} = \frac{n}{n + \Lambda} = \frac{n}{n + 0,72 \cdot Z}; \quad (1)$$

здесь $\Lambda = (0,72 \pm 0,07)Z$ есть эмпирическая относительная константа перехвата π^- -мезонов от $\pi^- \text{H}^+$ -мезоатомов водорода к тяжелым атомам Z (⁸, ¹¹). Формула (1) написана в приближении преобладания процессов перехвата (с константой Λ) над процессом девозбуждения $\pi^- \text{H}^+$ -мезоатомов (с относительной константой k), т. е. при $\Lambda \gg k$ (⁸, ¹¹). Впрочем учет k , а также возможное уточнение Λ * (и Λ , и k вычисляются из экспериментальных скоростей перехвата π^- -мезонов в смесях водорода с инертными и молекулярными газами), не повлияет на существо нашего подхода и его результаты.

График остающейся функции $W^{\text{хим}}$,

$$W^{\text{хим}} = \frac{W_{\text{ZH}_n}^{\text{эксп}}}{W_{\text{смеси}}} = \frac{W_{\text{ZH}_n}^{\text{эксп}} (n + 0,72 \cdot Z)}{n}, \quad (2)$$

изображен на рис. 2. Эта функция отражает влияние факта вхождения водорода в химическое соединение ZH_n на дополнительное перераспределение π^- -мезонов между атомами H и Z и ее удобно назвать химическим инкрементом вероятности захвата π^- -мезонов связанным водородом. Из рис. 2 видно, что $W^{\text{хим}}$ для гидридов второго периода линейно зависит от Z . Обработка данных по методу наименьших квадратов приводит к соотношению

$$W^{\text{хим}} \cdot 10^3 = [158 \pm 7] - [16,7 \pm 0,8] \cdot Z. \quad (3)$$

Отправным пунктом для поисков связи между эффектами электронной структуры вещества и распределением отрицательных элементарных частиц между атомами может служить тот давно установленный факт, что при замедлении и остановке, например, отрицательных мезонов из-за малой вероятности прямого радиационного перехода мезона из непрерывного спектра в дискретный (¹³) его атомная или молекулярная локализация осуществляется только при взаимодействии с электронами, атомами или решеткой. Поскольку здесь рассматривается вероятность водородного захвата π^- -мезонов, то целесообразно попытаться выявить связь между химическим инкрементом вероятности $W^{\text{хим}}$ и эффективным (избыточным) электронным зарядом δ_{H} на атоме водорода. Мы вычислили δ_{H} (табл. 1) для предельных гидридов второго периода, воспользовавшись гипотезой о выравнивании орбитальных электроотрицательностей (¹⁴). Рис. 3 демонстрирует наличие прямой пропорциональности между вероятностью $W^{\text{хим}}$ захвата π^- -мезонов, приходящихся на один атом водорода в соединении, и эффективным электронным зарядом на нем δ_{H} . Зависимость выражается корреляционным уравнением

$$W^{\text{хим}} \cdot 10^3 = [50 \pm 3] - [258 \pm 15] \delta_{\text{H}}. \quad (4)$$

* В (¹²) сообщалось о другой полуэмпирической формуле для Λ , но детали расчета не опубликованы.

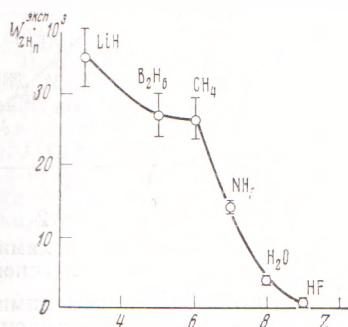


Рис. 1. Эмпирические вероятности $W_{\text{ZH}_n}^{\text{эксп}}$ захвата π^- -мезонов связанным водородом в предельных гидридах ZH_n второго периода

Большая величина зарядового коэффициента свидетельствует о довольно высокой чувствительности выделенной химической функции π^- -мезонного водородного захвата к изменению плотности валентных электронов на протоне.

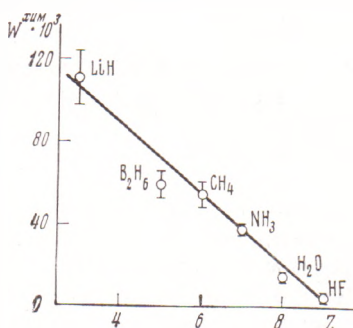


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость химического инкремента W^{xim} вероятности захвата π^- -мезонов водородом от Z в гидридах ZH_n

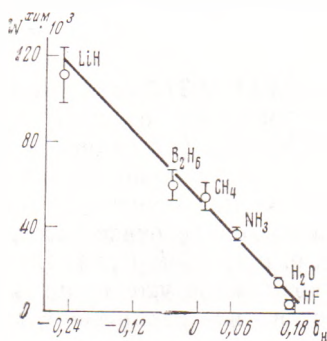


Рис. 3

Рис. 3. Зависимость химического инкремента W^{xim} вероятности захвата π^- -мезонов водородом от эффективного электронного заряда δ_n на атомах водорода в гидридах второго периода

При исследовании закономерностей захвата π^- -мезонов водородом в замещенных соединениях $Z_m H_n Z_{k'}$, где $Z_{k'}$ — заряд ядра замещающего атома или группы, W^{xim} получается делением $W_{Z_m H_n Z_{k'}}^{xim}$ на выражение для $W_{смеси}$ вида

$$W_{смеси} = \frac{n}{n + 0,72(mZ + kZ')} \quad (5)$$

При изучении захвата π^- -мезонов водородом селективно дейтерированных соединений $Z_m H_n Z_{k'} D_n$ (³) W^{xim} для протонированной группы вычисляется аналогичным образом с использованием дейтериевой константы Λ^p (⁸, ¹⁵). Наконец, рассматривая проявления электронных эффектов в захвате связанным водородом более тяжелых отрицательных элементарных частиц K^- -мезонов, антипротонов, Σ^- -гиперонов и т. д., необходимо при расчете W^{xim} пользоваться их собственными константами перехвата Λ^{K^-} , Λ^p , Λ^{Σ^-} , существенно отличающимися от π^- -мезонной (¹⁶). В (¹⁷) показывается, что установленные нами ранее корреляции изменений вероятностей π^- -мезонного захвата с индукционными постоянными σ_I Гаммета — Тафта (³), константами автопротолиза pK_s (⁴), радиационно-химическими выходами водорода $G(H_2)$ при радиоллизе и интенсивностями I соответствующих ионов (²) сохраняют свою силу и для химического инкремента W^{xim} , придающего этим соотношениям строгую форму.

Установление обратной линейной Z -зависимости химического инкремента W^{xim} вероятности захвата π^- -мезонов связанным водородом и линейной связи W^{xim} с эффективными зарядами δ_n расширяет возможности использования электронных представлений в химии отрицательных элементарных частиц и делает желательным получение экспериментального материала по водородному захвату π^- -мезонов в водородсодержащих соединениях других периодов.

Авторам приятно поблагодарить И. Ф. Тупицына и Н. Н. Зацепину за участие в обсуждении.

Междуведомственный научный центр
по биологическим испытаниям химических соединений
Институт химической физики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
26 XI 1973

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Гольданский, Н. Н. Зацепина и др., Препринт ИХФ АН СССР, М., 1974; ДАН, т. 216, № 6 (1974). ² В. И. Гольданский, Н. Н. Зацепина и др., Препринт ИХФ АН СССР, М., 1974; ДАН, т. 217, № 1 (1974). ³ В. И. Гольданский, Н. Н. Зацепина и др., Препринт ЛЯП ОИЯИ Р14-7359, Дубна, 1973; ДАН, т. 214, № 5, 1105 (1974). ⁴ В. И. Гольданский, Н. Н. Зацепина и др., Препринт ЛЯП ОИЯИ Р14-7361, Дубна, 1973; ДАН, т. 214, № 6, 1337 (1974). ⁵ В. И. Петрухин, В кн. Тр. IV Международн. конф. по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 1972, стр. 431. ⁶ W. T. Pawlewicz, S. T. Marphy et al., Phys. Rev., v. 2D, 2538 (1970). ⁷ W. H. Barkas, J. N. Duerr et al., Phys. Rev., v. 112, 622 (1958). ⁸ Л. И. Пономарев, Тр. IV Международн. конф. по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 1972, стр. 393; С. С. Герштейн, В. И. Петрухин и др., УФН, т. 3, 97 (1969). ⁹ З. В. Крумштейн, В. И. Петрухин и др., ЖЭТФ, т. 54, 1690 (1968); т. 55, 1640 (1968). ¹⁰ Н. И. Холодов, В. И. Гольданский, Препринт ИХФ АН СССР, М., 1973. ¹¹ В. И. Петрухин, Ю. Д. Прокошкин, В. М. Суворов, ЖЭТФ, т. 55, 2173 (1968). ¹² В. И. Петрухин, В. М. Суворов, В кн. Аннотации докладов на IV Международн. конф. по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 1971, стр. 96. ¹³ J. A. Wheeler, Rev. Mod. Phys., v. 21, 133 (1949); Phys. Rev., v. 71, 320 (1947). ¹⁴ J. E. Huneey, J. Org. Chem., v. 31, 2365 (1966). ¹⁵ K. Derrick, M. Derrick et al., Phys. Rev., v. 151, 82 (1966); В. И. Петрухин, Ю. Д. Прокошкин, ЖЭТФ, т. 56, 501 (1969). ¹⁶ W. M. Bugg, G. T. Condo et al., Phys. Rev., 5D, 2142 (1972). ¹⁷ Н. И. Холодов, В. И. Гольданский, Препринт ИХФ АН СССР, М., 1974.