

Р-54

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

1 - 9706

РИСИН
Виталий Ефимович

ИССЛЕДОВАНИЕ
МЕЗОМОЛЕКУЛЯРНЫХ И МЕЗОАТОМНЫХ ПРОЦЕССОВ,
ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ЯДЕРНОМУ ЗАХВАТУ π^- -МЕЗОНОВ
СВЯЗАННЫМ ВОДОРОДОМ

Специальность 01.04.16 - физика атомного ядра
и космических лучей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1976

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель: старший научный сотрудник кандидат
физико-математических наук В.И.Петрухин.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук
В.Г.Гришин,
кандидат физико-математических наук
С.В.Сомов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение:
Ленинградский Институт ядерной физики АН СССР, г.Гатчина,
Ленинградской области.

Автореферат разослан " _____ " 1976 г.

Защита диссертации состоится " _____ " 1976 г.
в " _____ " часов на заседании Специализированного совета Д-56/3
Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного
института ядерных исследований.

Ученый секретарь Совета
кандидат физико-математических наук

Ю.А.Батусов.

В последнее время на стыке трёх наук: ядерной физики, атомной физики и химии, появилось и развивается новое направление исследования физико-химических характеристик вещества. Это направление связано с использованием мезонных атомов и молекул, которые образуются при остановках в веществе заряженных элементарных частиц μ^- , μ^+ , π^- -мезонов. Само образование мезонных атомов, а также их взаимодействие со средой определяется атомными процессами и зависит от физико-химических свойств вещества среды. Применение мезонных атомов в прикладных исследованиях основано на влиянии микроструктуры вещества на их основные характеристики и поведение в веществе.

В 1962-1968 гг. в серии работ, выполненных в основном в Объединённом институте ядерных исследований (Дубна), было установлено, что остановившиеся в водородосодержащем соединении $Z_m H_n$ π^- -мезоны до ядерного захвата их водородом обязательно проходят через стадию образования $Z_m^{\pi^-} H_n$ -мезомолекул и затем πH -атомов. Прохождение пионом мезомолекулярной и мезоатомной стадий в веществе $Z_m H_n$, $Z'_k Z_m H_n$ приводит к значительному подавлению вероятности ядерного захвата π^- -мезонов водородом W , определяемой по отношению к числу остановок пионов в исследуемом веществе. Согласно модели больших мезомолекул, предложенной Л.И.Пономарёвым (ЯФ, 2, 223 (1965); ЯФ, 6, 389 (1967)) для объяснения результатов экспериментов, вероятности $W_{Z_m H_n}$, $W_{Z'_k Z_m H_n}$ определяются выражениями

$$W_{Z_m H_n} = \frac{a_{\pi-H} \cdot n \cdot Z^{-2}}{mZ + n}, \quad (1)$$

$$W_{Z'_k Z_m H_n} = \frac{a_{\pi-H} \cdot n \cdot Z^{-2}}{kZ' + mZ + n}, \quad (2)$$

где a_{Z-H} — феноменологический коэффициент, введенный для учета особенностей захвата Π^- -мезонов на орбитали $Z_m^T H_n^-$, $Z_K Z_m^S H_n^-$ -мезомолекул и $\langle r\Pi^- \rangle$ -атомов. В работе В.И.Петрухина и др. (Препринт ОИЯИ Р12-5224, Дубна, 1970) было показано, что коэффициенты a_{Z-H} , вычисляемые по вероятностям $W_{Z;Z_m H_n}$ на основе (2), качественно верно описывают особенности химических связей $Z-H$ в исследуемых водородосодержащих соединениях $Z_K Z_m H_n$. Тем самым была продемонстрирована принципиальная возможность использования ядерного захвата Π^- -мезонов водородом для изучения химических связей $Z-H$ в различных соединениях.

В рамках перехода от качественных опытов к систематическому количественному изучению с помощью Π^- -мезонов особенностей химических связей водорода в различных соединениях нами была проделана следующая работа.

1. Исследовано влияние структуры водородосодержащих соединений на вероятность ядерного захвата Π^- -мезонов связанным водородом. Установлено, что пространственное строение водородосодержащих соединений не оказывает заметного влияния на ядерный захват Π^- -мезонов связанным водородом.

2. Проведено изучение индукционного влияния заместителей X на вероятность ядерного захвата Π^- -мезонов водородом в производных органических соединениях $C_m H_n X_k$. Для метильных производных $C_n H_{2n} X$ установлена линейная зависимость коэффициентов a_{C-H} от индукционных констант заместителей σ_I .

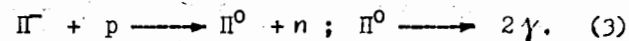
3. Обнаружен перехват Π^- -мезонов тяжелыми атомами Z от $\langle r\Pi^- \rangle$ -мезоатомов, образующихся на связанном водородом. Исследованы основные характеристики этого процесса, оценено его влияние на вероятность ядерного захвата Π^- -мезонов водородом органических соединений.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

В первой главе дается обзор исследований особенностей химических связей водорода в различных соединениях с помощью Π^- -мезонов; формулируются задачи развития таких исследований.

Во второй главе излагается постановка эксперимента.

Ядерный захват Π^- -мезонов водородом исследуемых веществ регистрировался в наших опытах по реакции перезарядки остановившихся пионов



На сложных ядрах Z, с которыми может быть связан водород, перезарядка Π^- -мезонов в остановках подавлена до уровня $< 10^{-4}$. Поэтому задача определения вероятностей ядерного захвата для различных соединений сводилась к регистрации Π^0 -мезонов при остановках Π^- -мезонов в мишенях. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 1. Π^- -мезоны 80-мэвного пучка синхротронного ОИЯИ проходили через сцинтилляционные счетчики C_1-C_3 и тормозящий фильтр Φ , после чего останавливались в веществе мишени M. В реакции (3) на водороде вещества мишени образовывались Π^0 -мезоны; γ -кванты от распада Π^0 -мезонов регистрировались черенковскими спектрометрами полного поглощения $Ч_1$ и $Ч_2$, включенными на совпадение со счетчиком C_3 ($\gamma\gamma$ -совпадения). Мониторирование пучка Π^- -мезонов, падающего на мишень, осуществлялось счетчиками C_1 и C_2 . В опытах использовались стандартные блоки быстрой электроники, разработанные в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Вероятности ядерного захвата Π^- -мезонов водородом исследуемых веществ определялись нами в относительных измерениях на основании зависимости

$$W^x = W^{эп} \cdot \frac{n_{\gamma\gamma}^{(x)} \cdot n_{\Pi^-}}{n_{\Pi^-}^{(эп)} \cdot n_{\Pi^0}^x}, \quad (4)$$

где $W_{\gamma\pi}$ - вероятность ядерного захвата π^- -мезонов водородом для эталонного водородосодержащего вещества; $n_{\gamma\gamma}^{(u)}$ - скорость счета $\gamma\gamma$ - совпадений; n_{π} - число остановок π^- -мезонов в мишени. В качестве эталонных веществ в наших опытах использовались водород H_2 - $W_H = 1$ и гидрид лития - $W_{LiH} = (35,1 \pm 1,3) \cdot 10^{-3}$.

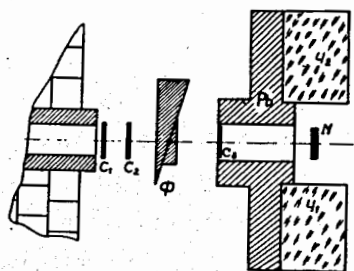


Рис.1. Схема экспериментальной установки. C_1, C_2, C_3 - сцинтилляционные счетчики, \check{C}_1, \check{C}_2 - черенковские спектрометры полного поглощения, Φ - тормозящий фильтр, M - исследуемая мишень.

Из-за разброса π^- - мезонов по энергиям ($\frac{\Delta E}{E} \approx 5\%$) и наличия фонового процесса перезарядки π^- -мезонов на лету в веществе мишени для выделения интересующего нас процесса (3) для каждой мишени производилась серия измерений $n_{\gamma\gamma}(R)$ при различных толщинах тормозящего фильтра, как это показано на рис.2.

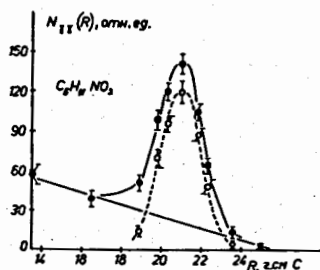


Рис. 2. Зависимость выхода π^0 -мезонов ($\gamma\gamma$ -совпадений $N_{\gamma\gamma}(R)$) в реакции (3) на связанном водороде (мишень $C_5H_{11}NO_2$) от толщины тормозящего фильтра R .

(Максимум кривой $N_{\pi}(R)$ на рис.2 соответствует максимуму остановок пионов в мишени $C_5H_{11}NO_2$. Прямая линия на рис. 2 - фон от перезарядки π^- -мезонов на лету в веществе мишени). После вычитания фона $n_{\gamma\gamma}^{(u)} = n_{\gamma\gamma} - n_{\gamma\gamma}^{\Phi}$ наборы значений $n_{\gamma\gamma}^{(u)}$ для исследуемой и эталонной мишени обрабатывались функциями типа гауссовых и вычислялись отношения $n_{\gamma\gamma}^{(u)} / n_{\gamma\gamma}^{(u)эт}$ в максимумах остановок пионов в мишенях. Значения n_{π}^x и $n_{\pi}^{эт}$ в максимумах остановок пионов вычислялись по тормозным толщинам мишеней Δ и распределениям π^- -мезонов пучка по пробегам $f(R)$:

$$n_{\pi} = \int_{R_m - \Delta/2}^{R_m + \Delta/2} f(R) dR. \quad (5)$$

Распределения $f(R)$ экспериментально определялись в каждом сеансе работы на синхротроне с помощью мишени LiH , тормозная толщина которой была существенно меньше разброса пионов по пробегам. Правильность вычисления значений n_{π} контролировалась экспериментально сравнением выходов реакции (3) для наборов мишеней гидрида лития и полиэтилена разной толщины.

В третьей главе диссертации описываются опыты, проводившиеся для изучения влияния на вероятности захвата пионов $W_{Z_m H_n}$, $W_{Z_k' Z_m Z_n}$ пространственного строения водородосодержащих соединений $Z_m H_n$, $Z_k' Z_m Z_n$ и особенностей химических связей водорода.

Ранее в работе З.В.Крумштейна и др. (ЖЭТФ, 55, 1640 (1968)) было обнаружено q -кратное подавление вероятностей W в основаниях и солях с общей формулой $R(Z_m H_n)_q$ (R - атом или группа атомов) по сравнению с предсказаниями модели больших мезомолекул - $W^{м.м.}$. Авторы предположили, что подавление ядерного захвата $\delta = q$ обусловлено структурными особенностями исследованных соединений; наличием q -тождественных водоро-

досодержащих групп $Z_m H_n$. С целью отыскания корреляций между структурой соединений и регистрируемыми в опытах вероятностями ядерного захвата W нами было исследовано более двух десятков различных по структуре водородосодержащих соединений. /1/

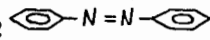
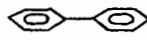


Установлено, что условия захвата Π -мезонов водородом насыщенных органических соединений $C_m H_n$ не изменяются при увеличении длины линейной молекулы ($C_5 H_{12}$, $C_8 H_{14}$, $C_{12} H_{26}$, $C_{17} H_{36}$, $(CH_2)_n$) и при переходе к циклической молекуле $C_6 H_{12}$. В то же время при переходе к ненасыщенным органическим соединениям - циклическому бензолу ($C_6 H_6$) и линейному этилену ($C_2 H_4$) - наблюдается уменьшение "химических" коэффициентов α_{C-H} в 2 и 1,5 раза, обусловленное изменениями в химических связях C-H. В опытах с пропиловым эфиром $(C_3 H_7)_2 O$ и его изомером установлено отсутствие заметных изомерных эффектов в ядерном захвате пионов связанным водородом.

В таблице I приведены результаты наших опытов с органическими молекулами различных типов, содержащими тождественные группы, и молекулами солей аммония. Анализ этих результатов позволил сделать вывод об отсутствии "эффекта тождественных групп" в органических соединениях и солях аммония. Подавления захвата пионов в этих соединениях $\xi = W^{NN}/W$, наблюдаемые относительно пентана-циклогексана - для насыщенных соединений ($\alpha_{C-H} = 2,05 \pm 0,04$), бензола - для ароматических структур ($\alpha_{C-H} = 0,98 \pm 0,08$) и $NH_4 NaCl$ - для солей аммония ($\alpha_{N-H} = 1,0 \pm 0,1$), в большинстве случаев сильно отличаются от Q и, по-видимому, обусловлены изменениями в химических связях C-H, N-H, а также перехватом пионов тяжёлыми атомами. /1/

Данные наших исследований, а также результаты работы В.И.Гольданского, В.И.Петрухина, И.Ф.Тупицина и др. (ДАН СССР,

214, 1105 (1974)) позволили отклонить предположение З.В.Крумштейна и др. о наличии эффекта тождественных групп в уксусноокислых солях $Z(CH_3COO)_q$.

Таблица I

Соединение	$W, 10^{-4}$	q	$\xi = W^{NN}/W$
$(C_3 H_7)_2 O$	$106,0 \pm 5,0$	2	$1,28 \pm 0,08$
$(CH_3)_2 S$	$61,0 \pm 4,0$	2	$1,52 \pm 0,11$
$(C_2 H_5)_4 N^+ J^-$	$42,0 \pm 4,5$	4	$2,08 \pm 0,24$
$(C_2 H_5)_3 N$	$123,0 \pm 13,0$	3	$1,17 \pm 0,13$
$(CH_2 OH)_2$	$44,3 \pm 2,5$	2	$1,71 \pm 0,12$
$C_{12} H_{10} N^+ N^-$ 	$16,0 \pm 2,0$	2	$2,22 \pm 0,26$
$C_{12} H_{10}$ 	$27,6 \pm 3,1$	2	$1,19 \pm 0,16$
$C_{18} H_{14}$ 	$27,6 \pm 3,1$	3	$1,11 \pm 0,14$
$C_{10} H_8$ 	$20,0 \pm 1,5$	2	$1,60 \pm 0,18$
$(NH_4)_2 C_2 O_4$	$15,5 \pm 1,2$	2	$1,6 \pm 0,1$
$(NH_4)_2 S O_4$	$13,2 \pm 0,7$	2	$1,7 \pm 0,1$
$NH_4 NO_3$	$8,1 \pm 0,6$	1	$2,4 \pm 0,2$
$(NH_4)_4 (Fe(CN)_6)$	$14,0 \pm 1,1$	4	$1,6 \pm 0,1$

Вместе с тем измерения В.М.Суворова и др. (IУ Международная конференция по физике высоких энергий и структуре ядра, Дубна, 7-11 сентября 1971, аннотации докладов, ДИ - 5988, Дубна, 1971, стр. 93) с мишенями $Al(OH)_3$, $B(OH)_3$, $Zr(OH)_4$ могут служить подтверждением существования эффекта тождественных групп в основаниях $Z(OH)_q$. В результате проведенного нами /1/ статистического анализа известных экспериментальных данных для соединений этого класса (KOH , $Ca(OH)_2$, $Sr(OH)_2$, $Ba(OH)_2$, $Al(OH)_3$, $Zr(OH)_4$,

$\text{В}(\text{ОН})_2$) было получено соотношение $\epsilon = (0,99 \pm 0,07) \cdot q$.

На основании изложенных выше экспериментальных данных нами был сделан вывод о том, что q -кратное подавление ядерного захвата пионов связанным водородом не носит общего характера. Поэтому оно не может быть обусловлено лишь особенностью строения молекул $R(Z_m H_n)_q$ - наличием q -тождественных водородосодержащих групп. Согласно И.Б.Берсукеру и В.И.Гольданскому (ДАН СССР, 203, 6 (1972)), наблюдаемое выборочное подавление $\epsilon = q$ можно объяснить особенностями химических связей $R-(Z_m H_n)$, $Z-H$ в соединениях $R(Z_m H_n)_q$. Таким образом, в целом, на основании существующих экспериментальных данных можно сделать вывод, что пространственное строение водородосодержащих соединений не оказывает заметного влияния на вероятности W ядерного захвата Π^- -мезонов водородом этих соединений. Вместе с тем изменения в химических связях $Z-H$ приводят к регистрируемым изменениям вероятностей W , коэффициентов $\alpha_{Z-H} = f(W)$.

В рамках изучения зависимости коэффициентов α_{Z-H} от особенностей химических связей $Z-H$ в водородосодержащих соединениях нами была предпринята попытка наблюдения индукционного влияния (индукционного эффекта) электроноакцепторных заместителей X на захват Π^- -мезонов водородом в органических молекулах $C_m H_n X$.

Индукционный эффект связан с перераспределением плотности электронов связей $C-H$ при введении в молекулу $C_m H_n$ заместителя X , что должно приводить для электроноакцепторных заместителей к подавлению вероятностей захвата $W_{C_m H_n X} = \epsilon = \alpha_{C-H}^{C_m H_n} / \alpha_{C-H}^{C_m H_n X}$. Такое подавление захвата наблюдалось нами в производных насы-

щенных соединений, а также в производных бензола. Наиболее сильный эффект наблюдался для метильных производных CH_3X ($\epsilon \approx 2-5$). Это связано с тем, что в насыщенных соединениях индукционный эффект наиболее сильно сказывается на атоме углерода, находящемся в α -положении к заместителю. Заметно меньший эффект ($\epsilon \approx 1,6$) был обнаружен для хлор- и нитропентана ($\text{C}_5\text{H}_{11}\text{Cl}$, $\text{C}_5\text{H}_{11}\text{NO}_2$) и циклогексанона ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}$), что обусловлено слабой передачей электронных эффектов по насыщенной цепи. Для метильных производных установлена линейная зависимость подавления ϵ от индукционных констант заместителей σ_I , которые обычно используются в органической химии в качестве характеристик индукционного влияния заместителей X на молекулу $C_m H_n X$ (см. рис.3).

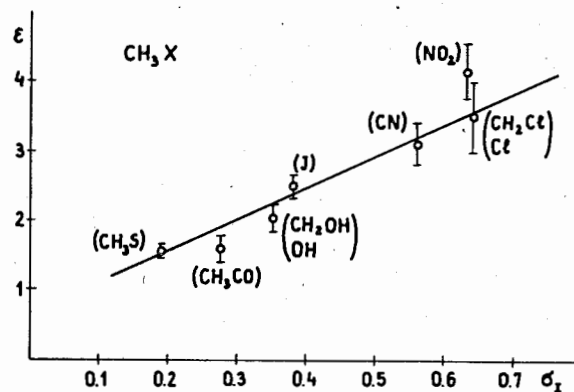


Рис. 3. Зависимость подавления ϵ от индукционных констант заместителей σ_I в метильных производных. В скобках указаны заместители X . Прямая описывается уравнением $\epsilon = \alpha \cdot \sigma_I + \beta$, где $\alpha = 4,7 \pm 0,6$; $\beta = 0,6 \pm 0,2$.

Эта зависимость дает основание полагать, что коэффициенты α_{C-H} достаточно правильно описывают особенности химических связей C-H в органических молекулах, а рассматриваемый метод исследования химических связей водорода достаточно чувствителен для исследования взаимного влияния атомов и групп в органических молекулах и может быть использован для получения новой информации в этой области. По зависимости $\varepsilon(\sigma_I)$ для метильных производных нами была определена индукционная константа σ_I для группы $COCl$ - $\sigma_{COCl} = 0,9 \pm 0,1$.

Для производных бензола были получены значения подавлений $\varepsilon = 2-2,5$, которые по величине находятся между метильными производными и производными пентана. Однако в этом случае индукционный эффект не является доминирующим, его вклад в подавление может искажаться эффектами сопряжения, которые могут действовать в противоположную сторону. Действительно, как видно на рис. 4, наблюдаемый эффект слабо скоррелирован с индукционными константами σ_I .

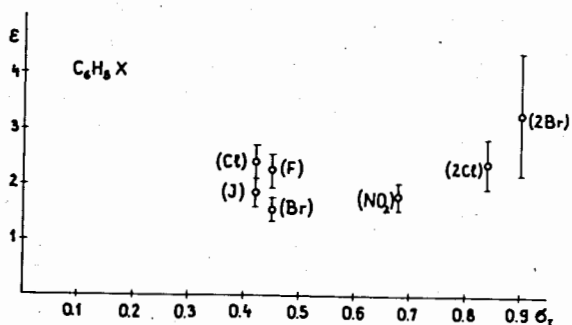
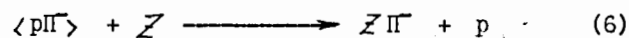


Рис. 4. Зависимость подавления ε от индукционных констант заместителей σ_I в производных бензола. В скобках указаны заместители X.

В четвертой главе диссертации описываются опыты по наблюдению и исследованию процессов перехвата Π^- -мезонов



в водородосодержащих соединениях $Z_m H_n$ и смесях $Z_m H_n + Z'$. Перехват приводит к подавлению вероятности ядерного захвата пионов водородом, если в исследуемой системе, кроме водорода, присутствуют тяжелые атомы $Z > I$. Хотя мезомолекулярный механизм подавления захвата пионов связанным водородом удовлетворительно объясняет известные экспериментальные данные, для надежного выделения "химических эффектов" необходимо иметь более точную оценку роли других возможных механизмов подавления захвата пионов связанным водородом. Ранее перехват Π^- -мезонов наблюдался лишь в смесях свободного водорода с другими газами $H_2 + Z' (Z' : He, Ne, Ar, Kr, Xe, N_2, CO_2)$ (В.И.Петрухин и др. ЖЭФ, 55, 2173 (1969); Препринт ОИЯИ PI-9136, Дубна, 1975). В водородосодержащих соединениях $Z_m H_n$ и смесях $Z_m H_n + Z'$ наблюдение перехвата (6) сильно осложняется интенсивным мезомолекулярным подавлением захвата пионов связанным водородом.

Существование перехвата (6) в водородосодержащих соединениях было установлено нами по уменьшению вероятностей захвата Π^- -мезонов водородом молекул метана (CH_4), этилена (C_2H_4), декана ($C_{10}H_{22}$) и бензола (C_6H_6) в смесях $CH_4 + Ar$, $C_2H_4 + Ar$, $C_{10}H_{22} + CCl_4$, $C_6H_6 + CCl_4 - W(c)$ по сравнению с захватом в соответствующих чистых углеводородах - $W(o)$ (см. рис. 5 и 6). Механизм перехвата, по-видимому, "включается" в момент отделения $\langle p\Pi^- \rangle$ -атома от мезомолекулы $Z_m \Pi^- H_n$. Образовавшийся в возбужденном состоянии $\langle p\Pi^- \rangle$ - атом, блуждая в веществе $Z_m H_n$ ($Z'_k Z_m H_n$), при столкновениях с атомами Z , Z'

может передать им пион по реакции (6). Конкурирующим по отношению к перехвату процессом является девозбуждение $\langle p\pi^- \rangle$ -атома с последующим захватом пиона протоном при столкновениях $\langle p\pi^- \rangle$ с молекулами $Z_m H_n$ и атомами водорода. С учётом перехвата (6) вероятность W ядерного захвата π^- -мезонов водородом соединений $Z_m H_n$, $Z'_k Z_m H_n$ должна определяться выражением

$$W = W^{M/M} \cdot q, \quad (7)$$

где $W^{M/M}$ вероятность образования $\langle p\pi^- \rangle$ -атома при остановке пиона в соединении $Z_m H_n$, $Z'_k Z_m H_n$ (определяется формулами (1), (2) модели больших мезомолекул); q - вероятность ядерного захвата пиона протоном в $\langle p\pi^- \rangle$ -атоме (из-за перехвата $q < 1$).

Результаты эксперимента обрабатывались нами в рамках феноменологической модели перехвата (Л.И.Пономарёв. ЯФ, 2, 223 (1965); В.И.Петрухин и др. ЖЭТФ, 55, 2173 (1969)), согласно которой

$$\frac{W(c)}{W(0)} = \frac{1 + \langle \Lambda_c \rangle \cdot C_c}{1 + \langle \Lambda_c \rangle \cdot C_c + \langle \Lambda_z \rangle \cdot C_z} \quad (8)$$

($C_c = m/n$, $C_z = n_z/n_n$ - концентрации атомов углерода в $C_m H_n$ и Az или CCl_4 в смеси $C_m H_n + Z$; n_z, n_n - числа атомов примеси Z и водорода в 1 см^3 ; $\langle \Lambda_c \rangle, \langle \Lambda_z \rangle$ - константы перехвата π^- -мезонов атомами углерода и примеси Z). Было получено

$$\langle \Lambda_{Az, CCl_4} \rangle = 5,0 \pm 0,7; \quad \langle \Lambda_c \rangle = 1,0 \pm 0,4. \quad (9)$$

Согласующееся с (9) значение $\langle \Lambda_c \rangle = 1,2 \pm 0,2$ было получено нами позднее и при изучении перехвата π^- -мезонов в ряду насыщенных углеводородов ($CH_4, C_2H_6, C_5H_{12}, \dots (CH_2)_n$), где концентрация углерода в молекулах изменялась от $C_c = 0,25$ до $C_c = 0,5$.

Анализ значений $\langle \Lambda_c \rangle, \langle \Lambda_{Az, CCl_4} \rangle$ показал, что они в 2-5 раз меньше соответствующих констант Λ_z , которые характеризуют перехват пионов в смесях свободного водорода с другими газами

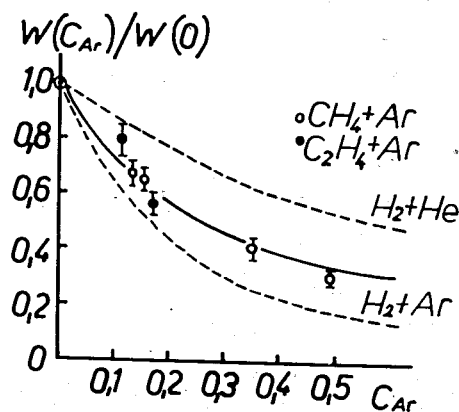


Рис.5. Подавление ядерного захвата π^- -мезонов водородом в смесях $CH_4 + Ar$ и $C_2H_4 + Ar$ в зависимости от атомных концентраций аргона C_{Ar} . Сплошная кривая проведена по формуле (8) для смеси $CH_4 + Ar$ при $\langle \Lambda_c \rangle = 1,0 \pm 0,4$; $\langle \Lambda_{Ar} \rangle = 5,0 \pm 0,7$.

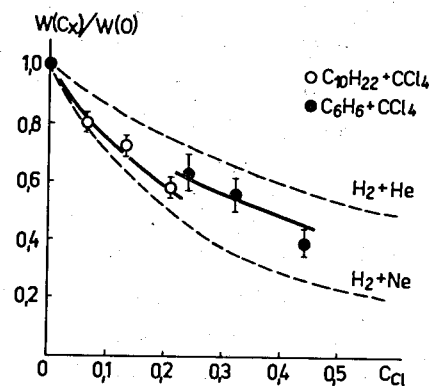


Рис.6. Подавление ядерного захвата π^- -мезонов водородом в растворах $C_{10}H_{22} + CCl_4, C_6H_6 + CCl_4$ в зависимости от атомных концентраций хлора C_{Cl} . Сплошные кривые рассчитаны по формуле (8) при $\langle \Lambda_c \rangle = 1,0 \pm 0,4$; $\langle \Lambda_{Cl} \rangle = 5,0 \pm 0,7$. Разрыв расчётной кривой обусловлен различием в концентрациях углерода в исходных молекулах $C_{10}H_{22}$ и C_6H_6 .

(He, Ne, Ar, Kr, Xe, N₂, CO₂). На основании этого был сделан вывод о неидентичности процессов перехвата пионов в водородосодержащих соединениях Z_mH_n, а также смесях Z_mH_n+Z' и в смесях свободного водорода с другими газами.

Для установления причин различия констант <Λ> и Λ нами были проделаны опыты с двумя типами газовых смесей: H₂ + Z + Z' и H₂ + C_mH_n.

В первом случае исследовался перехват π⁻-мезонов в смесях H₂ + Ar + Xe и H₂ + Xe + Ne. Установлено отсутствие заметных эффектов взаимного влияния примесей Z и Z' на перехват пионов - аддитивность перехвата по отношению к числу типов тяжёлых атомов в водородосодержащей системе [H₂, Z⁽¹⁾, ... Z^(k)]. Отсюда следует корректность формулы (8) и, следовательно, значений констант перехвата (9).

В опытах со смесями второго типа - H₂ + C_mH_n (C_mH_n: CH₄, C₂H₆, C₂H₄)^{14/} был выделен канал перехвата π⁻-мезонов атомами углерода органических молекул C_mH_n с ππ⁻-мезоатомами, образующихся на свободном водороде H₂. Оказалось, что константы перехвата Λ_c в этом случае в расчёте на один атом углерода метана, этана и этилена совпадают в пределах погрешностей измерений (Λ_c = 4,6 ± 0,3) и хорошо согласуются с данными по перехвату π⁻-мезонов в смесях H₂ + He, Ne, Ar, Kr, Xe, N₂, CO₂. В то же время значение Λ_c в 4 раза превышает значение константы перехвата пионов атомами углерода в чистых органических соединениях C_mH_n и смесях C_mH_n + Z - <Λ> = 1,2 ± 0,2. По результатам опытов был сделан вывод о том, что наблюдаемое различие констант перехвата Λ и <Λ> обусловлено разными энергиями возбуждения ππ⁻ и <ππ⁻>-атомов, которые образуются, соответственно, на свободном водороде H₂ и на водо-

роде химических соединений Z_mH_n. <ππ⁻>-атомы образуются с меньшими энергиями возбуждения E_n, в результате чего, по-видимому, уменьшается как сечение перехвата, поскольку размеры мезоатома ~ n², так и время жизни мезоатома, поскольку скорость ядерного захвата π⁻-мезона протоном в мезоатоме Γ_{ns} = const / n³.

В заключительной серии опытов был исследован перехват π⁻-мезонов в смесях CH₄ + He, Ne, Ar, Kr, Xe, CO₂, SF₆^{15/}. Установлено, что для инертных газов константы перехвата Λ_Z^{<ππ⁻>} описываются зависимостью Λ · (Z^{1/3} - 1), характерной для перехвата в смесях H₂ + Z, но с существенно меньшей (в ≈ 2,5 раза) константой Λ. Для углерода, входящего в состав органических молекул C_mH_n, наблюдается уменьшение константы перехвата <Λ_c> ≡ Λ_c^{<ππ⁻>} в 2 раза по сравнению с Λ_c^{<ππ⁻>}, обусловленное, по нашему мнению, пространственной экранировкой углеродных атомов атомами водорода. Перехват пионов атомами CO₂ и SF₆ также заметно (на ≈ 40%) подавлен из-за взаимной экранировки тяжёлых атомов в молекулах. Слабая (Z^{1/3}) зависимость константы перехвата Λ_Z^{<ππ⁻>} от заряда ядра Z свидетельствует о значительной экранировке кулоновского поля ядра атомными электронами в процессах перехвата π⁻-мезонов атомами Z от <ππ⁻>-атомов. Это, в свою очередь, означает, что перехват (6) происходит на достаточно больших расстояниях (порядка "нормальных" атомных радиусов) между <ππ⁻> и ядром Z. По результатам опытов предложены зависимости для оценок вклада перехвата π⁻-мезонов в подавление ядерного захвата π⁻-мезонов водородом органических соединений C_mH_nX_k

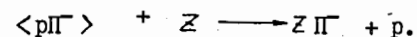
$$\varepsilon = (1 + \langle \Lambda_c \rangle \frac{m}{n} + \langle \Lambda_k \rangle \frac{k}{n})^{-1}; \quad \langle \Lambda_Z \rangle \approx 1,5 \cdot (Z^{1/3} - 1). \quad (10)$$

Основные результаты диссертации сводятся к следующему.

1. Исследовано влияние структуры водородосодержащих соединений на вероятность W ядерного захвата Π^- -мезонов связанным водородом. ^{11/} Установлено, что пространственное строение водородосодержащих соединений не оказывает заметного влияния на ядерный захват Π^- -мезонов связанным водородом. Вместе с тем изменения в химических связях $Z-H$ в соединениях $Z_m H_n$, $Z'_k Z_m H_n$ приводят к регистрируемым изменениям вероятностей $W_{Z_m H_n}$, $W_{Z'_k Z_m H_n}$ коэффициентов $a_{Z-H} = f(W)$, вычисляемых по формулам (1), (2) модели больших мезомолекул.

2. В рамках изучения зависимости коэффициентов a_{Z-H} от особенностей химических связей $Z-H$ исследовано влияние различных электроноакцепторных заместителей X на захват Π^- -мезонов водородом в производных органических соединений. ^{12/} По подавлению захвата пионов водородом $\varepsilon = a_{C-H}^{(C_6H_5)_n} / a_{C-H}^{C_m H_n X}$ в производных насыщенных соединений $C_n H_{2n+1} X$, $C_n H_{2n+1} X$ и в производных бензола $C_6 H_{6-k} X_k$ наблюдалось индукционное влияние заместителей X на состояние связей $C-H$ в молекулах исследованных соединений. Для метильных производных $CH_3 X$ установлена линейная зависимость подавления ε от индукционных констант заместителей σ_I . Эта зависимость дает основание полагать, что коэффициенты a_{C-H} достаточно правильно описывают влияние изменений в химических связях $C-H$ на вероятности W . Таким образом, рассматриваемый метод изучения химических связей водорода оказывается достаточно чувствительным для исследования взаимного влияния атомов и групп в органических молекулах и может быть использован для получения новой информации в этой области.

3. Обнаружен перехват Π^- -мезонов тяжелыми атомами Z от $\langle p\Pi^- \rangle$ -атомов, образующихся на связанном водороде ^{13/}



С учетом перехвата вероятность W ядерного захвата Π^- -мезонов водородом химических соединений должна определяться выражением

$$W = W^{44} \cdot q,$$

где W^{44} - вероятность образования $\langle p\Pi^- \rangle$ -атома при остановке Π^- -мезона в водородосодержащем соединении (определяется формулами модели больших мезомолекул); q - вероятность ядерного захвата пиона протоном в $\langle p\Pi^- \rangle$ -атоме (из-за перехвата $q < 1$).

4. Установлено различие в интенсивностях перехвата Π^- -мезонов в водородосодержащих соединениях $C_m H_n$ ^{14/}, а также смесях $C_m H_n + Z$ ^{13/} и известного ранее перехвата пионов в смесях свободного водорода с другими газами $H_2 + Z$. Меньшая интенсивность перехвата в случае связанного водорода обусловлена, по-видимому, меньшими энергиями возбуждения $\langle p\Pi^- \rangle$ -атомов при их образовании на водороде химических соединений в результате развала $Z_m^{\pi} H_n$ -мезомолекул по сравнению с энергиями возбуждения мезоатомов водорода, образующихся при развале $H_2 \Pi^-$ -мезомолекул. ^{14/} Интенсивность перехвата пионов тяжелыми атомами от $\langle p\Pi^- \rangle$ -атомов уменьшается при объединении атомов Z , Z' в молекулу $Z_m Z'_k, Z_m H_n$, что, по-видимому, обусловлено пространственным экранированием атомов в молекулах в отношении перехвата. По результатам опытов ^{13-5/} предложены зависимости для оценок вклада перехвата в подавление ядерного захвата Π^- -мезонов водородом органических соединений $C_m H_n X_k$

$$\varepsilon = (1 + \langle \lambda_c \rangle \frac{m}{n} + \langle \lambda_x \rangle \frac{k}{n})^{-1}; \langle \lambda_z \rangle \approx 1,5 \cdot (Z^{1/3} - 1).$$

На основании проделанной работы в диссертации констатируется, что ядерный захват Π^- -мезонов водородом может использоваться для получения полуколичественной информации об особенностях химических связей $Z-N$ в водородосодержащих соединениях на основании формул модели больших мезомолекул. При этом, однако, необходимо проводить предварительный отбор соединений в исследуемые группы таким образом, чтобы оценочные значения подавлений q из-за перехвата пионов для отобранных соединений слабо различались.

Материал, положенный в основу диссертации, опубликован в работах /1-5/ и докладывался на IV Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра (Дубна, сентябрь 1971 г.).

Литература

1. Э.В.Крумштейн, В.И.Петрухин, В.Е.Рисин, Л.М.Смирнова, В.М.Суворов, И.А.Ютландов. ЖЭТФ, 65, 455 (1973).
2. Л.Вильгельмова, П.Зимрот, В.И.Петрухин, В.Е.Рисин, Л.М.Смирнова, В.М.Суворов, И.А.Ютландов. ЖЭТФ, 65, 24 (1973).
3. В.И.Петрухин, В.Е.Рисин, В.М.Суворов. ЯФ, 19, 626 (1974).
4. В.И.Петрухин, В.Е.Рисин, И.Ф.Самёноква, В.М.Суворов. ЖЭТФ, 69, 1883 (1975).
5. V.M.Bystrisky, V.A.Vasiljev, I.Galm, V.I.Petrukhin, V.E.Risin, V.M.Suvorov, B.A.Khomenko. Abstracts of contributed papers 6th International conference on high energy physics and nuclear structure. Santa Fe-Los Alamos, June 9-14, 1975 (p.188), LA 6030-C, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 апреля 1976 года.