



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин

P-1081

ПОГЛОЩЕНИЕ π^- -МЕЗОНОВ
В ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВАХ

В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин

P-1081

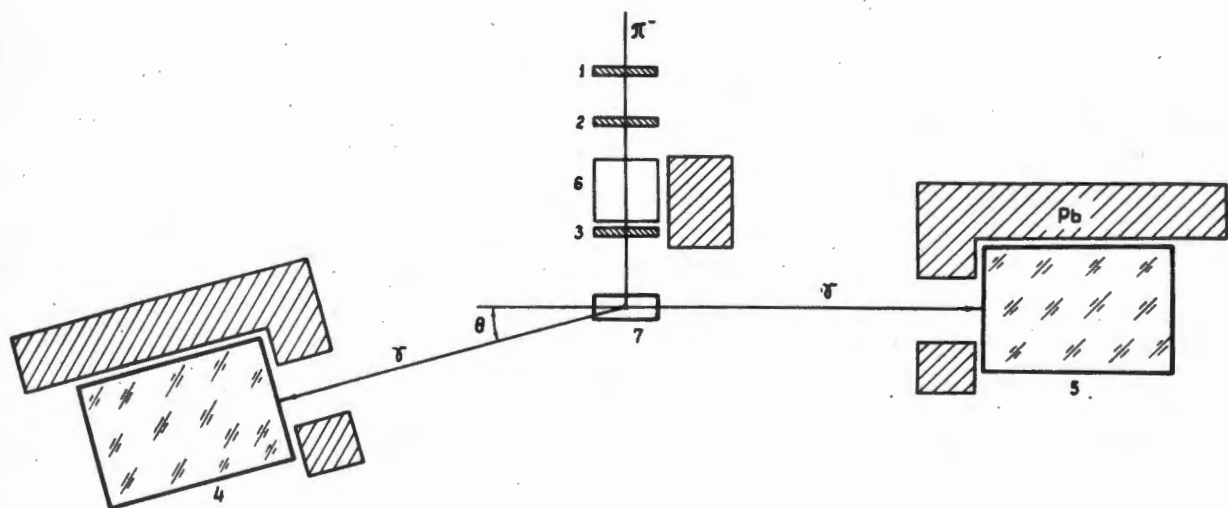
ПОГЛОЩЕНИЕ π^- -МЕЗОНОВ
В ВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ВЕЩЕСТВАХ

Направлено в *Physics Letters*

Дубна 1962 год

В нашей предыдущей работе^{/1/} было обнаружено, что при остановке π^- -мезонов в водородосодержащем веществе часть π^- -мезонов захватывается ядрами связанного водорода. Вероятность такого захвата для полиэтилена (C_2H_4) оказалась равной лишь $3,5 \cdot 10^{-3}$, что свидетельствовало об интенсивном перехвате π^- -мезонов ядрами углерода. Настоящая работа посвящена детальному исследованию этого явления в различных водородосодержащих веществах и установлению зависимости вероятности захвата π^- -мезона ядром водорода от заряда Z ядра атома, химически связанного с водородом.

Эксперименты были выполнены на пучке π^- -мезонов с энергией 75 Мэв. π^- -мезоны проходили через ряд сцинтилляционных счетчиков и останавливались в мишени (см.рис.1).



Р и с. 1.

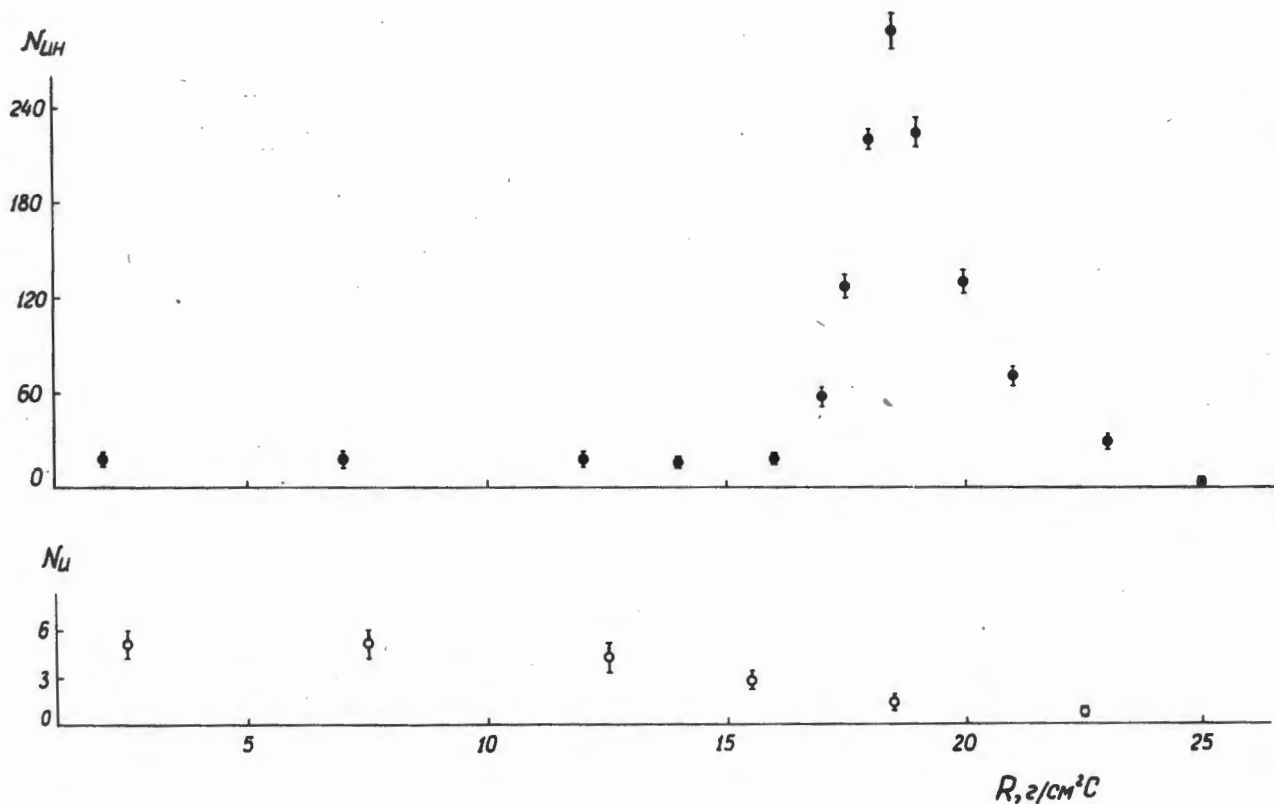
Схема эксперимента, 1,2-сцинтилляционные счетчики монитора пучка π^- -мезонов, 3-сцинтилляционный счетчик, 4,5-черенковские спектрометры полного поглощения с радиатором из стекла, 6-фильтр для торможения π^- -мезонов, 7-мишень. Спектрометры и счетчик 3 включены в быстродействующую схему совпадений.

Захват π^- -мезонов ядрами водорода идентифицировался по перезарядке



сопровождающей этот захват. Для регистрации пары γ -квантов, возникающих при распаде π^0 -мезонов, были использованы черенковские спектрометры полного поглощения, нечувствительные к фону постронного излучения^{/1,2/}.

Первые эксперименты были выполнены с мишенью из гидрида лития (LiH). На рис.2 приведена полученная в этих опытах зависимость скорости счета $\gamma\gamma$ совпадений N от толщины R фильтра, тормозящего π^- -мезоны. Характерный пик, наблюдающийся в этой зависимости, совпадает с кривой распределения пробегов π^- -мезонов, измеренной мето-



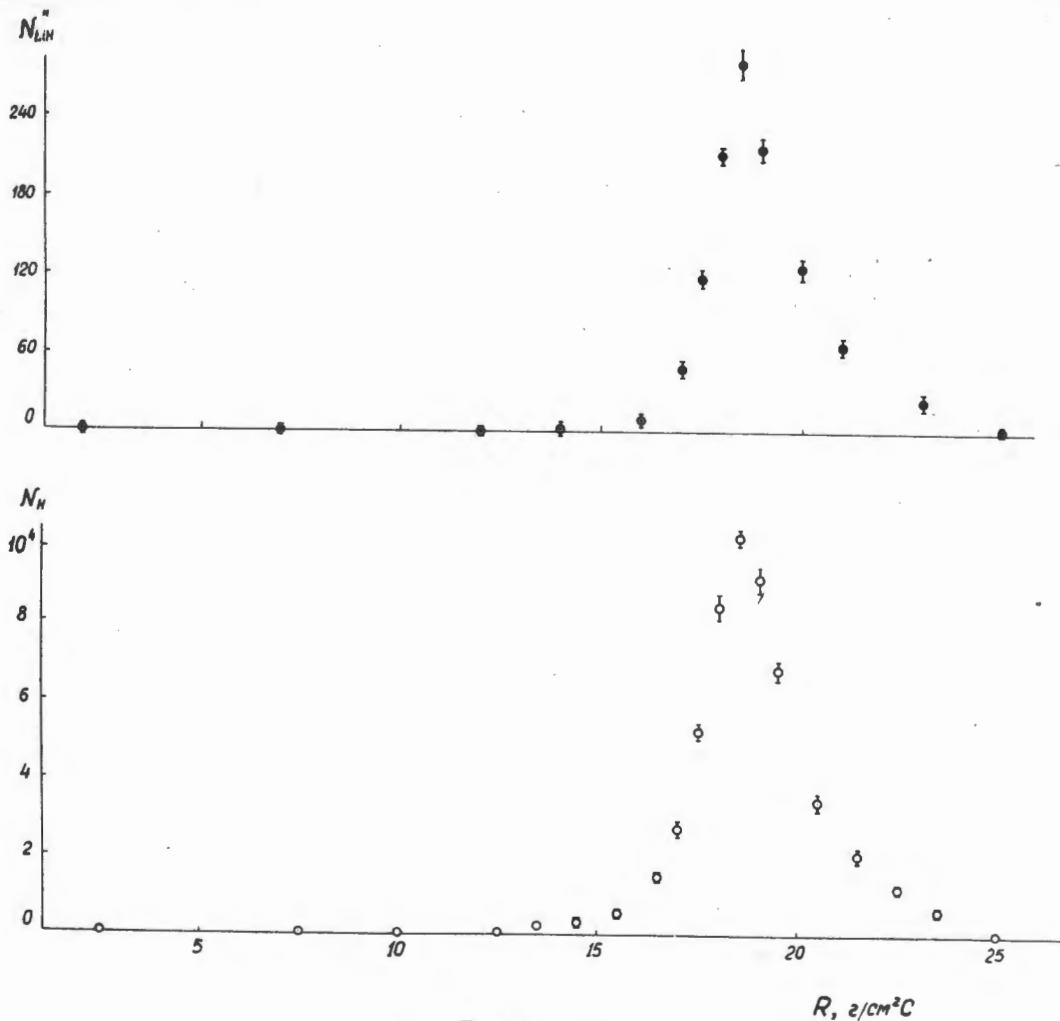
Р и с. 2.

Зависимость скорости счета $\gamma\gamma$ совпадений для мишеней из гидрида лития (N_{LiH}) и лития (N_{Li}) от толщины R тормозящего фильтра. Угол $\theta = 0^\circ$ (см. рис. 1).

дом "звездного детектора"^{/3/}. Сравнение зависимостей $N(R)$, измеренных для мишеней из LiH и лития (в последнем случае, как видно из рис. 2, скорость счета монотонно уменьшается с увеличением R), показывает, что практически весь регистрируемый в максимуме пика счет $\gamma\gamma$ совпадений вызван процессом, протекающим на ядрах водорода, связанного в LiH . При замене мишени из LiH на эквивалентную по тормозной способности литиевую мишень скорость счета падала в районе максимума пика в 200 раз.

Сравнительно небольшой счет $\gamma\gamma$ совпадений, наблюдающийся в области малых толщин R , где остановок π^- -мезонов не происходит, соответствует перезарядке π^- -мезонов на лету на ядрах лития (см. рис. 2) и водорода^{/4/}. Кривая пробегов $N_{LiH}^*(R)$, полученная вычитанием вклада от перезарядки на лету из зависимости $N_{LiH}(R)$, оказалось идентичной с зависимостью $N_H(R)$, найденной для мишени из жидкого водорода эквивалентной тормозной способности (см. рис. 3). Совпадение зависимостей, приведенных на рис. 3, доказывает, что наблюдаемая в случае LiH перезарядка π^- -мезонов в области пика происходит при остановке π^- -мезонов.

При помощи установки, показанной на рис. 1, нами была исследована угловая зависимость испускания двух γ -квантов из мишени. При поглощении π^- -мезонов в водороде угловая зависимость $N_H(\theta)$ имеет характерный вид^{/5/}, позволяющий установить



Р и с. 3.

Зависимость скорости счета $\gamma\gamma$ совпадений для LiH за вычетом вклада от перезарядки на лету (N_{LiH}^*) и для водорода (N_H) от толщины R тормозящего фильтра.

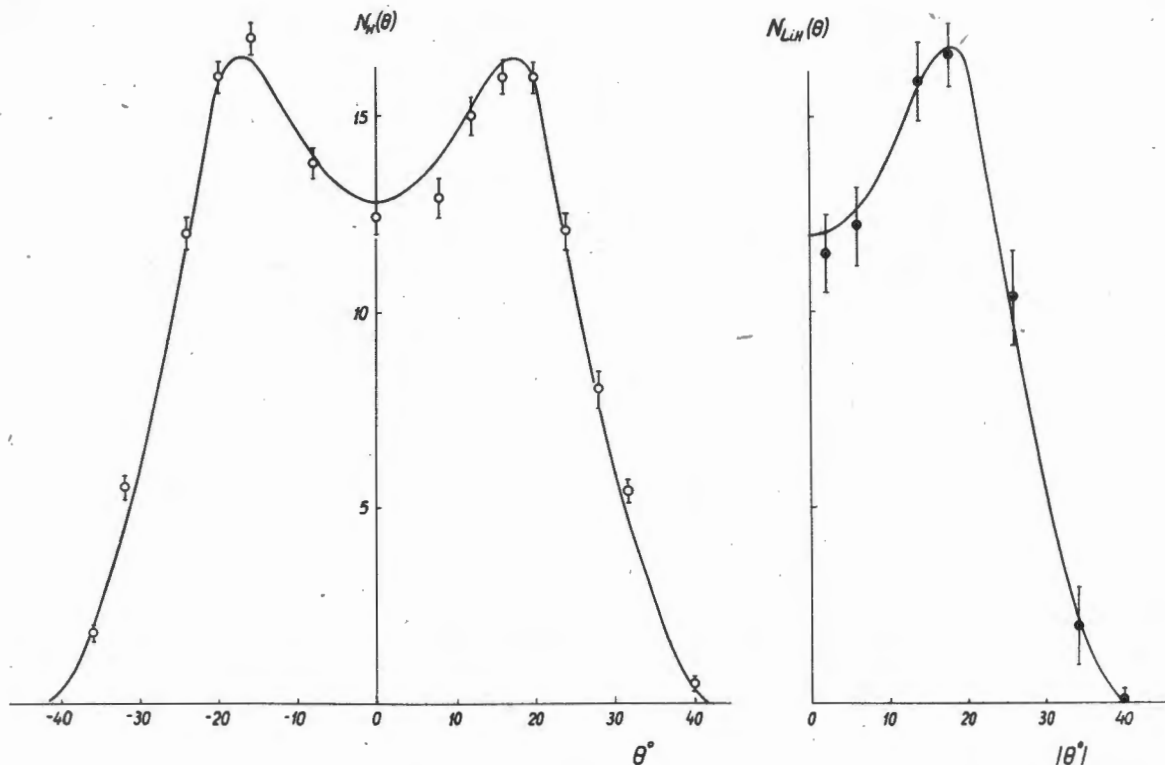
" π^0 -мезонную" природу $\gamma\gamma$ совпадений (см. рис. 4). Так, из полученного нами углового распределения $N_H(\theta)$ следует, что регистрируемая частица распадается на два γ -кванта и ее масса равна $(135,1 \pm 0,1)$ Мэв, что хорошо согласуется с найденным ранее^{/6/} значением массы π^0 -мезона $m_{\pi^0} = 135,0$ Мэв. Как видно из рис. 4, и в случае остановки π^- -мезонов в мишени из LiH угловое распределение γ -квантов совпадает с предсказываемым для процесса (1). Масса частицы, распадающейся на два регистрируемых γ -кванта, оказывается при этом равной

$$m = (135,2 \pm 0,3) \text{ Мэв.}$$

Захват π^- -мезона протоном наряду с перезарядкой (1) сопровождается также менее интенсивным радиационным процессом

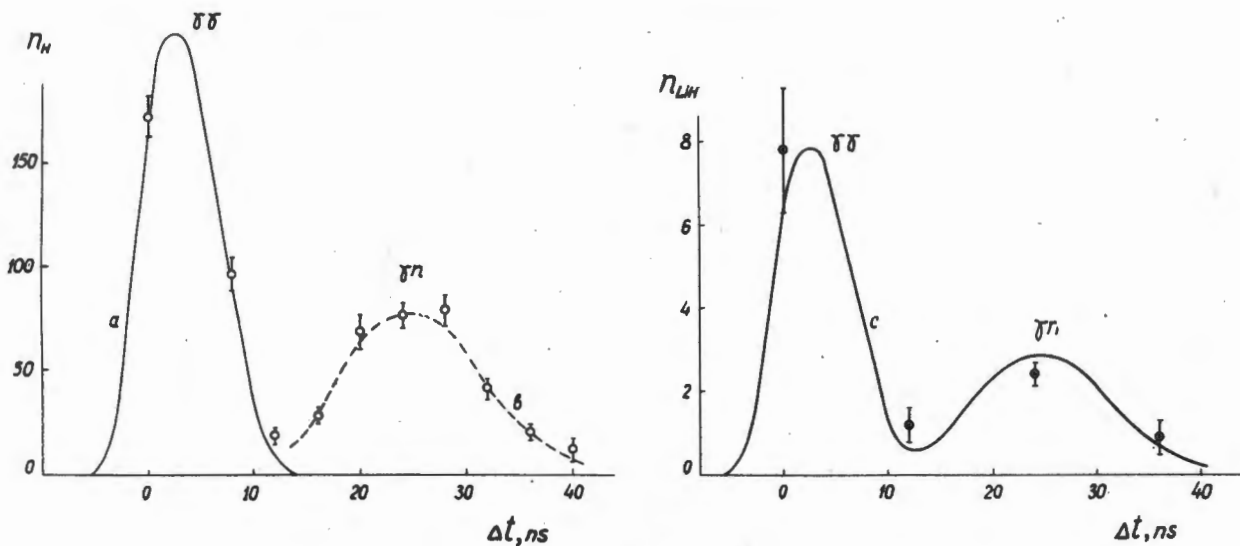


На рис. 5 приведены результаты эксперимента, который показал, что при остановке π^- -мезонов в LiH процесс (2) также наблюдается. Для регистрации радиационного захвата один из спектрометров был заменен сцинтилляционным детектором нейтронов, включенным в схему совпадений через переменную задержку. Эксперимент был проведен методом "времени пролета". На рис. 5 показано, как изменяется скорость счета совпадений с изменением задержки. В области малых задержек наблюдается пик, связанный с регистрацией $\gamma\gamma$ совпадений (один из γ -квантов конвертировался в сцинтилляторе нейтронного детектора, другой регистрировался спектрометром). Положение второго пика, отвечающего



Р и с. 4

Угловая зависимость скорости счета $\gamma\gamma$ совпадений для водородной мишени ($N_H(\theta)$) и мишени из LiH ($N_{LiH}(\theta)$). В последнем случае суммированы измерения, проводившиеся при положительных и отрицательных значениях θ . Расстояние между спектрометрами и мишенью 50 см, угловое разрешение аппаратуры $\pm 9^\circ$. Кривые вычислены на электронно-вычислительной машине для $m_{\pi^0} = 135,0$ Мэв с учетом экспериментально найденных распределений остановок π^- -мезонов в объеме мишени.



Р и с. 5.

Скорость счета совпадений при разных задержках Δt -спектрометра и счетчика 3 (см.рис. 1) относительно детектора нейтронов для мишеней из водорода (n_H) и гидроксида лития (n_{LiH}). *a* - кривая $\gamma\gamma$ совпадений. Для измерения ее перед нейтронным детектором был помещен свинцовый конвертор толщиной 5 мм. При этом скорость счета возросла в 10 раз. *b* -временное разрешение при регистрации γn совпадений. *c* -нормированная кривая, полученная суммированием кривых *a* и *b*.

регистрации γ событий, совпадает с рассчитанным для процесса (2). Интенсивность наблюдаемого в LiH радиационного захвата находится в хорошем согласии с предсказываемой на основании измеренной интенсивности перезарядки (1). Отношение Панофского R , определяемое как отношение вероятностей процессов (1) и (2), оказалось равным для водорода, связанного в LiH ,

$$R_{LiH} = 1,68 \pm 0,25,$$

что совпадает с величиной $R = 1,5$, найденной разными методами в опытах со свободным водородом^{17/}.

Зависимость вероятности захвата π^- -мезонов ядрами связанного водорода W от заряда Z соседнего ядра была изучена нами в интервале $Z \leq 22$ при облучении π^- -мезонами различных водородосодержащих веществ. Величина W определялась путем сравнения скорости счета $\gamma\gamma$ совпадений N^* (см. рис. 3) для исследуемого вещества и для водорода. При определении W учитывались различия в эффективных размерах мишеней. Для нахождения соответствующих поправок были проведены эксперименты, в которых исследовалась зависимость скорости счета $\gamma\gamma$ совпадений от положения "точечной" мишени из LiH , помещенной между спектрометрами. Правильность определения этих поправок была подтверждена контрольными экспериментами с мишенями разного размера, формы и плотности, а также результатами вычислений эффективностей, выполненных с учетом найденных экспериментально методом "звездного детектора" распределений остановок π^- -мезонов в объеме между спектрометрами и измеренной зависимости эффективности спектрометров от места и угла входа регистрируемого γ -кванта. Вычисления были выполнены методом Монте-Карло на электронной вычислительной машине.

Т а б л и ц а

Вещество	Дата	W	W средн.	P
LiH	14.2.62	$(1,18 \pm 0,14) 10^{-2}$	$(1,15 \pm 0,12) 10^{-2}$	$(1,15 \pm 0,12) 10^{-2}$
	16.2.62	$(1,13 \mp 0,14) 10^{-2}$		
CH_2	16.1.62	$(4,2 \pm 0,5) 10^{-3}$	$(4,4 \pm 0,4) 10^{-3}$	$(2,2 \pm 0,2) 10^{-3}$
	21.1.62	$(4,6 \pm 0,5) 10^{-3}$		
CH	5.1.62	$(1,6 \pm 0,2) 10^{-3}$	$(1,7 \pm 0,2) 10^{-3}$	$(1,7 \pm 0,2) 10^{-3}$
	27.1.62	$(1,8 \pm 0,2) 10^{-3}$		
$C_4O_2H_8$	27.1.62	$(1,30 \pm 0,20) 10^{-3}$	$(1,28 \pm 0,17) 10^{-3}$	$(8,5 \pm 1,1) 10^{-4}$
	16.2.62	$(1,26 \pm 0,20) 10^{-3}$		
H_2O	11.1.62	$(7,5 \pm 1,3) 10^{-4}$	$(6,5 \pm 1,0) 10^{-4}$	$(3,3 \pm 0,5) 10^{-4}$
	27.1.62	$(6,5 \pm 1,2) 10^{-4}$		
	16.2.62	$(5,8 \pm 1,2) 10^{-4}$		
TiH_2	16.2.62	$< 1,8 \cdot 10^{-5}$	$< 1,8 \cdot 10^{-5}$	$< 9 \cdot 10^{-6}$
H_2			1	0,5

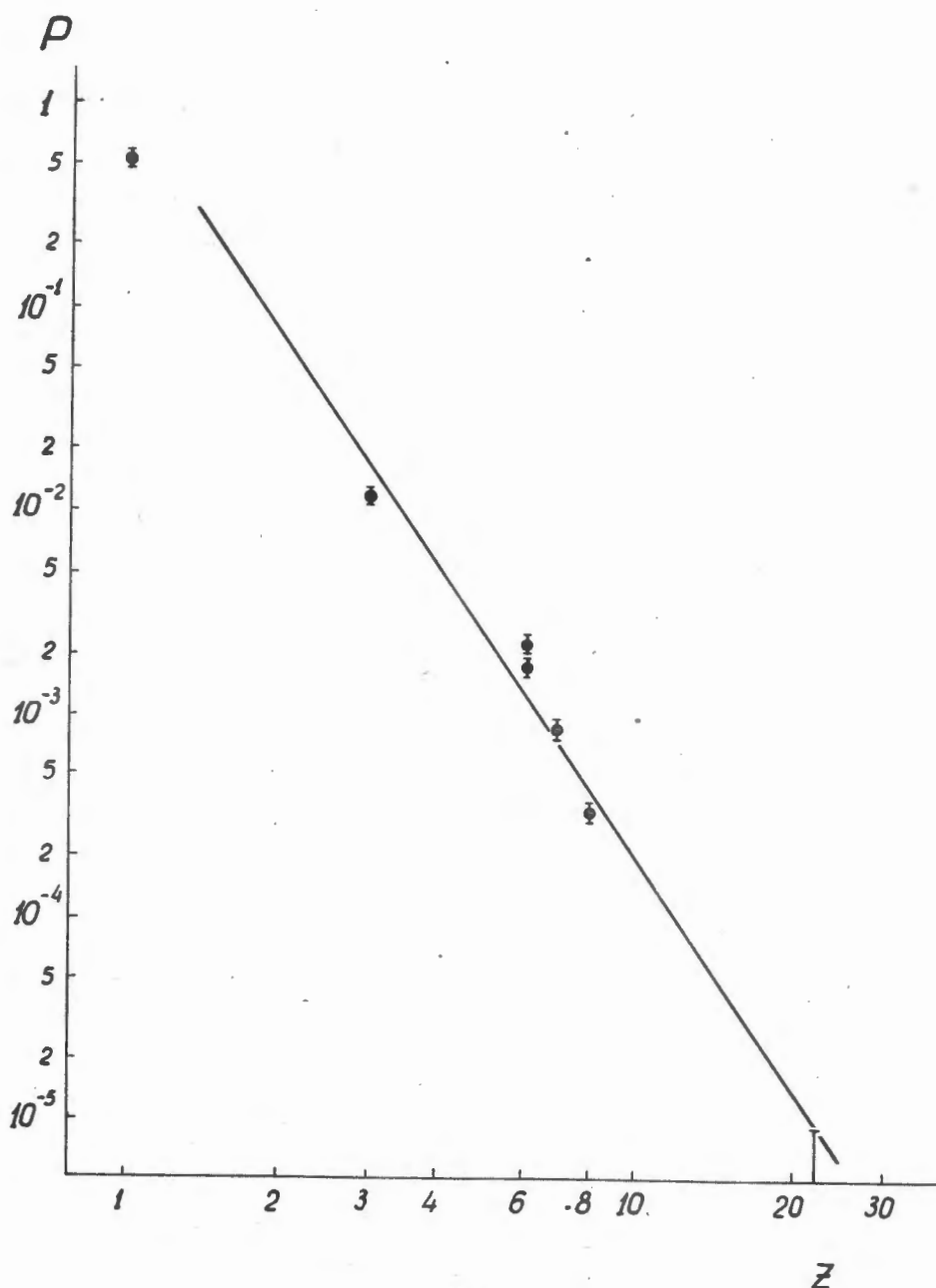
Полученные величины приведены в таблице. Как видно из этой таблицы, вероятность захвата π^- -мезона ядром связанного водорода резко уменьшается с ростом Z . Для более наглядного сопоставления полученных результатов введем приведенную вероятность P , характеризующую вероятность захвата π^- -мезона водородом в соединении типа XH , где X - элемент с зарядом Z . Приведенная вероятность P равна вероятности

W , деленной на относительную атомную концентрацию водорода (так, для CH_2 $P = W/2$).

Для веществ, отличающихся числом атомов водорода, аддитивность выполняется лишь, приближенно. Так, отношение вероятностей для CH и CH_2 равно не $1/2$, а

$$\frac{W_{CH}}{W_{CH_2}} = 0,39 \pm 0,04.$$

Однако уменьшение P с ростом Z происходит настолько быстро (см. рис. 6), что



Р и с. 6.

Зависимость приведенной вероятности захвата π^- -мезона ядром связанного водорода P от заряда Z ядра соседнего атома. Прямая - степенная зависимость $Z^{-3,5}$.

подобные небольшие отклонения от аддитивности несут существенны при анализе Z -зависимости. Как видно из рис. 6, это уменьшение приближенно описывается зависимостью

$$P = \text{const } Z^{-3,5}. \quad (3)$$

Механизм захвата π^- -мезонов в водородосодержащих веществах существенно отличается от механизма Ферми-Теллера^{18/}, согласно которому $P \sim Z^{-1}$.

В заключение пользуемся случаем поблагодарить А.Ф. Дунайцева и В.И. Рыкалина за помощь в работе, С.С. Герштейна за обсуждение результатов и И.В. Пузынина за проведение ряда вычислений.

Л и т е р а т у р а

1. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ЖЭТФ, 42, 1680, 1962.
2. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин. ЖЭТФ, 42, 632, 1962; A.F. Dunaitsev, V.I. Petrukhin, Yu. D. Prokoshkin, V.I. Rykalin, Nuovo Cim., 24, 405, 1962; Physics Letters, 1, 138, 1962.
3. A.F. Dunaitsev, Yu. D. Prokoshkin, Tang Syao - wei, Nucl. Instr., 9, 11, 1960.
4. D. Bodansky, A.M. Sachs, J. Steinberger. Phys. Rev., 93, 1367, 1954; W. Spry, Phys. Rev., 95, 1295, 1954; J. Tinlot, A. Roberts. Phys. Rev., 94, 137, 1954; K. Mivake, K.F. Kinsey, D.E. Knapp. Phys. Rev., 126, 2188, 1962.
5. W. Chinowsky, J. Steinberger. Phys. Rev. 93, 586, 1953.
6. A. Abashian, K.M. Crowe, J.B. Czitr. Phys. Rev. Lett., 3, 478, 1959. J.M. Cassels, D.P. Jones, P.G. Murphy, P.L. O'Neill. Proc. Phys. Soc., 74, 98, 1959.
7. J.M. Cassels, G. Fidicaro, A.M. Wetherell, J.R. Wormald, Proc. Phys. Soc. A. 70, 405, 1957; A.F. Dunaitsev, V.S. Pantuev, Yu. D. Prokoshkin, Tang Syao - wei, M.N. Khachatryan. Proc. X. Rochester Conference, p. 181, 1960; V.T. Cocconi, T. Fazzini, G. Fidicaro, M. Legros, N.H. Lipman, A.W. Merrison, Nuovo Cim., 22, 494, 1961; M. Pyka. Suppl. Nuovo Cimento, 23, 112, 1962.
8. E. Fermi, E. Teller, Phys. Rev. 78, 399, 1947.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 сентября 1962 г.