

6
И-26

ЛЯП

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

А. Е. Игнатенко, Л. Б. Егоров, Б. Халупа и Д. Чултэм

Р 191

P-191

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ
 π^0 -МЕЗОНОВ В ЖИДКОМ ВОДОРОДЕ

исктф, 1958, т35, в4, с894-898.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

г. Дубна, 1958 год

Investigation of μ^- -meson depolarization in liquid
hydrogen.

A.E. Ignatenko, L.B. Egorov, B. Halupa, A. Chultem

Angular distribution of electrons from μ^- -decay in liquid hydrogen measured by scintillation counter method was found to be isotropic within the experimental errors. Polarization of μ^- -mesons in mesohydrogen determined from the results of an electron angular distribution equals $(2.9 \pm 2.9)\%$. The total depolarization of μ^- -mesons observed is mainly connected with the suggested by Ya. B. Zeldovich and S.S. Gershtein mechanism of jumping of a muon from one proton to another with simultaneous transition into the lower state of the hyperfine structure. Due to this the transformation of orthohydrogen and parahydrogen molecules into each other is possible.

А н н о т а ц и я

Методом сцинтилляционных счетчиков измерено угловое распределение электронов от распада \bar{K}^0 -мезонов в жидком водороде; оно оказалось изотропным в пределах ошибок опыта. На основании результатов измерений углового распределения электронов определена степень поляризации \bar{K}^0 -мезонов в мезоводороде; она равна $(2,9 \pm 2,9)\%$. Наблюдавшаяся полная деполяризация \bar{K}^0 -мезонов, по-видимому, связана, в основном, с предложенным Я.Б.Зельдовичем и С.С.Герштейном механизмом перескока \bar{K}^0 -мезона от одного протона к другому с одновременным переходом в нижнее состояние сверхтонкой структуры. Благодаря этому механизму может осуществляться превращение друг в друга молекул ортоводорода и параводорода.

§ I. В в е д е н и е .

Изучение захвата поляризованных \bar{K}^0 -мезонов в водороде дает возможность получить сведения о виде слабого взаимодействия \bar{K}^0 -мезонов с нуклонами $(I, 2, 3)$. Принято полагать, что процесс поглощения \bar{K}^0 -мезонов протонами в мезоводороде идет посредством реакции $\bar{K}^0 + p \rightarrow n + \nu$. Одним из путей определения вида взаимодействия является изучение углового распределения нейтронов от этой реакции. Угловое распределение нейтронов описывается формулой

$$W(\theta) = 1 + a \cos \theta \quad /1/,$$

где β - коэффициент асимметрии в угловом распределении нейтронов, величина и знак которого зависят от вида взаимодействия, θ - угол между направлением вылета нейтрона и спина $M\bar{B}$ -мезона; a - коэффициент, учитывающий степень поляризации $M\bar{B}$ -мезонов в мезоводороде.

Из формулы /1/ следует, что эксперименту по изучению углового распределения нейтронов должно предшествовать измерение поляризации $M\bar{B}$ -мезонов в мезоводороде. Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию поляризации $M\bar{B}$ -мезонов в жидком водороде. Работа была выполнена на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований.

§ 2. Основные теоретические представления.

Рассмотрим возможные механизмы деполяризации $M\bar{B}$ -мезонов при замедлении и остановке в жидком водороде.

В работах (4,5) было показано, что при замедлении $M\bar{B}$ -мезонов в веществе до скоростей, сравнимых со скоростями электронов в атомах, $M\bar{B}$ -мезоны не деполяризуются. Деполяризация, по-видимому, не происходит и при дальнейшем их торможении до нулевой скорости, т.е. вплоть до захвата на мезоатомные орбиты. В дальнейшем при образовании мезопротона возможна деполяризация из-за спин-орбитального взаимодействия, которая однако не является полной (6) Мезопротон имеет два состояния сверхтонкой структуры: основное-синглет ($F=0$), и первое возбужденное -триплет ($F=1$). В случае $F=0$ мезон "забывает" о первоначальном направлении своего спина (деполяризуется). Состояние $F=1$ "помнит" направление

спина (деполяризация не происходит). Нетрудно видеть, что для изолированного мезоатома переход $M\bar{b}$ -мезона между уровнями сверхтонкой структуры за время его жизни не происходит. Действительно, вследствие того, что возбужденное состояние выше основного на $0,2 \text{ eV}$, вероятность радиационного перехода ($\Gamma_{\text{рад}} \sim 10^6 \text{ сек.}$) оказывается на много порядков меньше, чем вероятность распада $M\bar{b}$ -мезона ($\tau \sim 10^{-6} \text{ сек.}$)⁽⁷⁾. Рассмотрим теперь, что происходит с мезопротоном при образовании его в жидком водороде. В этом случае возможны следующие процессы: 1) перехват $M\bar{b}$ -мезона дейтроном, присутствующим в жидком водороде как примесь: $\mu^-H+A \rightarrow \mu^-D+H+135\text{eV}$,

2) рассеяние: $\mu^-H+H \rightarrow \mu^-H+H$, $\mu^-D+H \rightarrow \mu^-D+H$,

3) образование мезомолекулярных ионов: $\mu^-H+H \rightarrow \mu^-HH$,
 $\mu^-H+A \rightarrow \mu^-HA$, $\mu^-D+H \rightarrow \mu^-DH$.

Теоретическое рассмотрение вероятностей этих процессов было дано в работах^(7-II). Одним из интересных результатов этих работ является то, что сечение процесса 2) на два порядка превышает сечения остальных процессов. Зельдович и Герштейн⁽⁷⁾ показали, что в процессе рассеяния ввиду нейтральности мезопротона существует весьма эффективный механизм "перескока" $M\bar{b}$ -мезона от одного протона к другому с одновременным переходом в нижнее состояние сверхтонкой структуры. Благодаря тому, что вероятность этих перескоков ($\sim 10^9 \text{ сек}^{-1}$) на три порядка превышает вероятность распада $M\bar{b}$ -мезона ($\Gamma_{\text{расп.}} = 0,5 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$), мезопротоны за время жизни $M\bar{b}$ -мезона полностью перейдут в основное состояние сверхтонкой структуры. Результатом наличия этих переходов должна явиться полная депляризация $M\bar{b}$ -мезонов.

§ 3. Эксперимент.

Поляризация $\mu\bar{\nu}$ -мезонов при остановке их в жидком водороде исследовалась путем измерения анизотропии в угловом распределении электронов распада⁽⁶⁾.

Пучок отрицательных π -мезонов с энергией ~ 150 Мэв и интенсивностью ~ 900 $\pi/\text{см}^2 \cdot \text{сек}$ направлялся на экспериментальную установку (рис. I). Для торможения $\mu\bar{\nu}$ -мезонов и "очистки" пучка от π -мезонов использовались алюминиевые фильтры с общей толщиной, равной 32 см. Часть $\mu\bar{\nu}$ -мезонов, пройдя через фильтры, останавливалась в мишени с жидким водородом. Мишень представляла собой обычный стеклянный дьяр. Внутренний диаметр сосуда дьяра был равен 15 см, высота сосуда равнялась 30 см. На мишень была намотана катушка из медной проволоки, предназначенная для создания магнитного поля, необходимого для прецессии $\mu\bar{\nu}$ -мезонов. Для регистрации $\mu\bar{\nu}$ -мезонов, падающих на мишень, использовались два сцинтилляционных счетчика № 1 и № 2, включенные на совпадение. Электроны от распада $\mu\bar{\nu}$ -мезонов в мишени регистрировались счетчиками № 3 и № 4, также включенными на совпадение. Разрешающее время схем совпадений равнялось $5 \cdot 10^{-8}$ сек. В качестве сцинтилляторов использовалась пластмасса (2% р-терфенила в полистироле + 0,1 ANPO). Сцинтилляторы имели следующие размеры: диаметр 100 мм и толщина 6 мм. Между счетчиками № 3 и № 4 располагался парафиновый фильтр толщиной 6 $\text{г}/\text{см}^2$. Электронная схема работала следующим образом. Импульс со схемы совпадений 1+2, задержанный на 0,5 мсек, открывал схему пропускания ("ворота") на время 1,5 мсек. Импульсы со схемы совпадений 3+4 проходили через "ворота", поступали на пересчетное устройство и регистрировались механическим счетчиком. Одновременно, импульсы

со схемы совпадений $I+2$ поступали на свое пересчетное устройство, показания которого служили в качестве монитора. Таким образом, система регистрировала электроны, имеющие пробег больше 8 г/см^2 , которые образуются в интервале времени от 0,5 до 2 мсек. спустя после остановки $M\bar{B}$ -мезонов в водороде. Угловое распределение электронов исследовалось путем измерения числа электронов в зависимости от величины намагничивающего тока в катушке. Область изменения напряженности магнитного поля, в котором находилась мишень, соответствовала рассчитанной для прецессии мезопротона в триплетном состоянии. В этом состоянии мезопротон имеет магнитный момент, равный приблизительно магнитному моменту $M\bar{B}$ -мезона, а угловой момент $F = I/2 + I/2 = I$. Нетрудно показать, что частота прецессии мезопронов в поле H будет в два раза меньше, чем частота прецессии, которую совершают свободные $M\bar{B}$ -мезоны. Для снижения уровня фона от постороннего излучения, счетчики и мишень окружались со всех сторон свинцовой защитой толщиной 20 см. Обычно в опытах скорость счета электронов была около 20 в минуту. Уровень фона составлял 4 отсчета в минуту и не зависел от поля H . Такой "низкий" уровень фона в этих опытах удалось получить благодаря использованию в качестве дьюара -мишени, защиты и намагничивающей катушки веществ с относительно большими λ , вероятность распада $M\bar{B}$ -мезона в которых оказывается малой. В опыте не было обнаружено зависимости скорости счета электронов от тока намагничивающей катушки. Величина коэффициента асимметрии A в угловом распределении электронов распада $I(\theta) = 1 + A \cos \theta$ получилась равной $A = -0,01 \pm 0,01$. В приведенную величину A были введены поправки, учитывающие время задержки, ширину "врот", распад $M\bar{B}$ -мезонов и телесный угол детектора электронов. Указанная ошибка является стандартным статистическим отклонением.

§ 4. Интерпретация полученных результатов.

Как видно из величины A , угловое распределение электронов оказалось изотропным в пределах ошибок опыта. Из результатов измерений величины A , можно определить степень поляризации P .

Мю-мезонов в мезоводороде, если использовать энергетическую зависимость асимметрии электронов в μ^+e^+ -распаде⁽¹²⁾. Будем считать, что пучки Мю-мезонов, полученные с внутренних мишеней синхроциклотронов, имеют примерно одинаковую степень поляризации независимо от энергии протонного пучка. При предположении, что использованный нами пучок Мю-мезонов имеет такую же степень поляризации, как и пучки Мю-мезонов, можно определить величину P из полученного в работе⁽¹³⁾ неравенства $3\alpha_0 \leq P \leq 4\alpha_0$, где α_0 - коэффициент асимметрии для всего интегрального спектра. Из этого неравенства следует, что ~~величина~~ $P = (2.9 \pm 2.9)\%$.

Как указывалось в § I деполяризация мезонов из-за тонкой и сверхтонкой структуры в процессе образования мезопротонов является неполной. Деполяризация мезонов в процессе рассеяния мезопротонов в магнитных полях атомов будет незначительной из-за малого числа соударений, необходимых для перескока Мю-мезона в нижнее состояние сверхтонкой структуры.^(14,15) Следовательно, наблюдавшаяся полная деполяризация, по-видимому, связана, в основном, с предложенным Я.Б.Зельдовичем и С.С.Герштейном механизмом перескока Мю-мезона от одного протона к другому с одновременным переходом в нижнее состояние сверхтонкой структуры. Этот результат является принципиально важным. Он показывает, что определение вида взаимодействия Мю-мезонов с нуклонами путем измерения углового распределения нейтронов от реакции $\mu^+p \rightarrow n + \nu$ в жидком водороде невозможно из-за полной деполяризации мезонов.

Возникает вопрос: нельзя ли каким-либо образом избавиться от деполяризации Мю-мезонов? Что касается устранения деполяризации из-за тонкой и сверхтонкой структуры, то вполне очевидно, что этого сделать нельзя. Что касается устранения деполяризации из-за механизма "перескока", то, казалось бы, для этой цели можно использовать газообразный водород, где число столкновений мезопротонов с атомами водорода будет меньше, а следовательно, будет меньше и число "перескоков". Однако этот путь восстановления поляризации является неразумным по той причине, что вероятность вышеуказанных переходов настолько велика, что "перескок" происходит сразу же после первых нескольких соударений (7, I4).

Следует отметить (I4), что избежать деполяризацию Мю-мезонов из-за механизма "перескока" и из-за сверхтонкой структуры можно только в том случае, если удастся полностью поляризовать среду (водород) в направлении поляризации пучка Мю-мезонов.

Выше мы рассмотрели вопрос о том, что происходит с мезопротонами при столкновении их с атомами водорода. Рассмотрим теперь, что будет происходить с молекулами водорода при столкновении с ними мезопротонов. Как известно, обыкновенный водород на 75% состоит из молекул ортоводорода с параллельными ядерными спинами. и на 25% из молекул параводорода с антипараллельными спинами. Так как самопроизвольные переходы между орто- и пара-молекулами невозможны, то соотношение 3:1 сохраняется и в жидком водороде; только в присутствии определенных катализаторов (например, активированного угля) можно осуществить превращение ортомолекул в парамолекулы. Нетрудно убедиться в том, что в присутствии мезопротонов из-за механизма "перескока" может происходить превращение друг в друга орто- и пара-молекул. Поэтому, если облучать

водород пучком Мю-мезонов достаточной интенсивности, то соотношение $3 : 1$ изменится и станет близким к $1 : 1$.

§ 5. В ы в о д ы . . .

1. Методом сцинтилляционных счетчиков измерено угловое распределение электронов от распада остановившихся $\bar{\mu}$ -мезонов в жидком водороде; оно оказалось изотропным в пределах ошибок опыта.

2. На основании результатов измерения углового распределения электронов распада определена степень поляризации $\bar{\mu}$ -мезонов в мезоводороде; она равна $(2,9 \pm 2,9)\%$.

3. Наблюдавшаяся полная деполяризация $\bar{\mu}$ -мезонов, по-видимому, связана, в основном, с предложенным Я.Б.Зельдовичем и С.С. Герштейном механизмом "перескока" Мю-мезона от одного протона к другому с одновременным переходом в нижнее состояние сверхтонкой структуры.

4. Определение вида взаимодействия $\bar{\mu}$ -мезонов с нуклонами путем измерения углового распределения нейтронов от реакции $\bar{\mu} + p \rightarrow n + \nu$ в жидком водороде невозможно из-за полной деполяризации Мю-мезонов.

В заключение авторы считают своим долгом поблагодарить Я.Б. Зельдовича и С.С. Герштейна за предоставление возможности ознакомиться с их работой до ее опубликования и обсуждение полученных результатов.

Авторы также благодарны В.Беляеву и Б.Захарьеву за многочисленные дискуссии и постоянный интерес к работе.

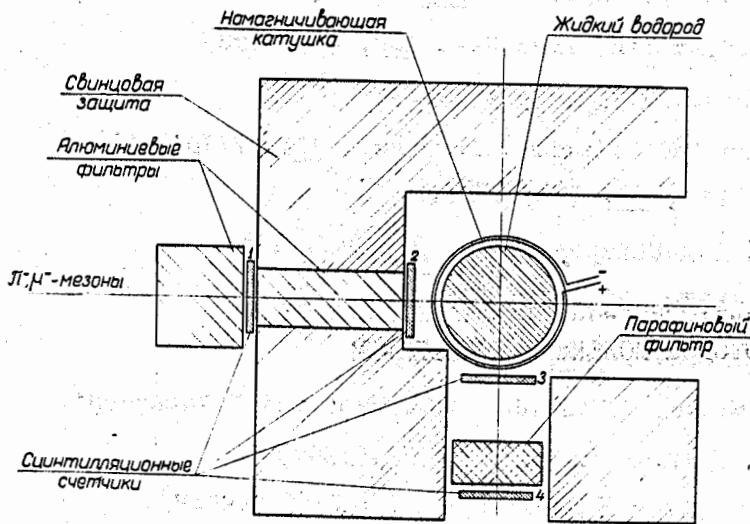


РИС. I. . - Схема опыта.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Л и т е р а т у р а

1. И.С.Шапиро, Э.И.Долинский и Л.Д.Блохинцев, ДАН СССР, 116, 946 (1957).
2. Б.Л.Иоффе, ЖЭТФ, 33, 308, 1957.
3. T.D.Lee and C.N.Yang, Phys.Rev. 108, 1340 (1958)
4. G.W.Ford and C.J.Mullin, Phys.Rev. 108, 477 (1958)
5. A.M.Bincer, Phys.Rev. 107, 1434 (1957)
6. Garwin, Lederman and Weinrich, Phys.Rev. 105, 1415 (1957)
7. С.С.Герштейн, ЖЭТФ, 34, 463, 1958.
8. Я.Б.Зельдович, А.Д.Сахаров, ЖЭТФ, 32, 947, 1957.
9. Я.Б.Зельдович, ЖЭТФ, 33, 310, 1957.
10. J.D.Jackson, Phys.Rev. 106, 330 (1957)
11. S.Nayashi, T.Nakano, M.Nishida, S.Suekane and Y.Yamaguchi,
Progr.Theor.Phys. 17, 615 (1957)
12. А.И.Мухин, Е.Б.Озеров и Б.Понтекорво, ЖЭТФ (в печати).
13. H.Uberall, Nuovo Cimento 6, 533 (1957)
14. В.Беляев и Б.Захарьев. Частное сообщение.
15. V.W. Hughes, Phys. Rev., 108, 1106 (1958)

Работа поступила в издательский отдел
29 апреля 1958 г.