

42/3

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-423

А.Е. Игнатенко

К ВОПРОСУ  
О ПЕРЕХОДАХ МЕЖДУ УРОВНЯМИ  
СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ  
В  $\mu$ -МЕЗОАТОМАХ

Дубна 1959 год

P-423

А.Е. Игнатенко

К ВОПРОСУ  
О ПЕРЕХОДАХ МЕЖДУ УРОВНЯМИ  
СВЕРХТОНКОЙ СТРУКТУРЫ  
В  $\mu$ -МЕЗОАТОМАХ

При исследовании эффектов сверхтонкой структуры в  $\mu$ -мезоатомах большой интерес представляет вопрос о существовании переходов между уровнями сверхтонкой структуры. В самом деле, теоретическое рассмотрение этих эффектов, проявляющихся при захвате поляризованных мезонов<sup>/1,2,3/</sup>, всегда делается для случая изолированных мезоатомов. В действительности, экспериментальная проверка предсказаний теории возможна только при остановке и образовании мезоатомов в среде. Между тем, наличие среды может привести к усложнению картины. Так, например, если для изолированных атомов состояния сверхтонкой структуры с  $F = J + \frac{1}{2}$  и  $F = J - \frac{1}{2}$  образуют некогерентную смесь, то в среде в некоторых случаях могут возникнуть переходы между ними. В частности, в жидком водороде наблюдается явление "перескока" мезона от одного протона к другому с одновременным переходом в нижнее состояние сверхтонкой структуры<sup>/4,5,6/</sup>. В работах<sup>/7,8/</sup> было обращено внимание на необходимость учета влияния среды на эффекты сверхтонкой структуры в других веществах. Например, в металлах возможны два типа переходов, сопровождающихся либо конверсией на электронах проводимости, либо магнитным дипольным излучением. Выражения для вероятностей соответствующих переходов  $W_K$  и  $W_P$  имеют следующий вид<sup>/7/</sup>:

$$W_K \approx 10 \left( \frac{1}{137} \right)^6 Z \left( \frac{m_e}{m_N} \right)^3 \frac{m_N c^2}{\hbar} \quad /1/$$

$$W_P \approx 10 \left( \frac{1}{137} \right)^{13} \left( \frac{e \hbar}{2 m c} \right)^3 \left( \frac{m_N}{m_P} \right)^3 \frac{m_N c^2}{\hbar} \quad /2/$$

Очевидно, что если средой является не металл, то переходы типа  $W_K$  будут отсутствовать.

В данном письме будет затронут вопрос об экспериментальной проверке существования переходов. Один из методов<sup>/8/</sup>, предложенный для обнаружения переходов, заключается в исследовании кривизны  $K$  кривой распада  $\mu^-$ -мезонов. Так, при универсальности взаимодействия типа  $A-V$  и наличии переходов в металлах, имеющих магнитный момент ядра  $\mu_N > 0$  и  $Z \geq 13$ , значение  $K$  должно быть отрицательным в случае, если захват мезонов происходит на отдельном "сверхоболочечном" протоне ядра. Предварительные результаты опыта<sup>/8/</sup> для  $Al$  указывают на то, что  $K < 0$ . Однако результаты

только одного этого опыта нельзя интерпретировать однозначно в пользу существования переходов вследствие того, что в настоящее время не имеется прямого экспериментального доказательства универсальности взаимодействия в процессе  $\mu^+ p \rightarrow \pi^+ \nu$ , а также того предположения, что захват мезонов в  $AC$  происходит на "сверхоболочечном" протоне ядра. Между тем, непосредственное обнаружение переходов усилило бы интерпретацию подобного типа опытов в пользу того, что и в процессе  $\mu^+ p \rightarrow \pi^+ \nu$  константы  $A$  и  $V$  взаимодействий имеют разные знаки<sup>18/</sup>.

В настоящем письме мы хотим обратить внимание на одну возможность непосредственной экспериментальной проверки существования переходов, заключающуюся в изучении поляризации мезонов в определенного типа мезоатомах. Суть предложения сводится к следующему. Оценки по формулам /1/ и /2/ величин  $W_K$  и  $W_P$  при различных значениях  $Z$  показывают, что величина  $W_P$  при малых  $Z$  на много порядков меньшая  $\Lambda$ -величины полной вероятности поглощения мезонов становится равной  $\Lambda$  по порядку величины при  $Z_{eff} \geq 30$ . Что касается величины  $W_K$ , то уже при небольших  $Z$  ее значение становится равным  $\Lambda$ . Так, для алюминия<sup>17/</sup>  $W_K = 4 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$ ,  $W_P = 1 \cdot 10^3 \text{ сек}^{-1}$  и  $\Lambda = 1,2 \cdot 10^6 \text{ сек}^{-1}$ .

Вполне очевидно, что существование переходов будет сказываться и на величине поляризации мезонов в мезоатомах металлов, а также неметаллов при  $Z_{eff} \geq 30$ . Поэтому величина поляризации в веществах, имеющих различные свойства, но одинаковые значения спина ядра  $J$ , может быть разной. Мерой вероятности переходов будет являться разность между значением поляризации, полученным на опыте и рассчитанным<sup>12/</sup> для изолированных мезоатомов.

Казалось бы, что лучше всего для предлагаемых опытов использовать вещества, имеющие  $J = \frac{1}{2}$  и  $\mu_N > 0$ . Действительно, такие мезоатомы будут образовываться в состояниях  $F = 1$  и  $F = 0$ . В случае нижнего состояния  $F = 0$  мезоны деполаризуются. Верхнее состояние  $F = 1$  "помнит" направление спина /деполяризация не происходит/. Каждое из состояний характеризуется своим значением  $g$ -величины гиромангнитного отношения. Если для измерения поляризации использовать метод измерения асимметрии электронов распада<sup>19/</sup>, то кривая прецессии спинов мезоядер в магнитном поле, наблюдаемая в этом случае, будет наипростейшей, соответствующей

либо состоянию  $F = 1$ , либо  $F = 0$ . Кроме того, поскольку величина  $P$  - степени поляризации мезона, находящегося на  $K$ -оболочке, усредненная по двум состояниям сверхтонкой структуры, равна <sup>12/</sup>  $P = \frac{1}{6} P_0 \cdot \frac{1}{3} \left[ 1 + \frac{2}{(2J+1)^2} \right]$

/здесь  $P_0$  - степень поляризации пучка мезонов/, то для веществ с  $J = \frac{1}{2}$  значение  $P$  будет наибольшим. К сожалению, опыты с такими веществами практически выполнить невозможно. Дело в том, что для веществ, имеющих  $J \neq 0$  и малые значения  $Z$ , где величины  $W_K$  и  $A$  оказываются сравнимыми, нет металлов, у которых  $J = \frac{1}{2}$ . Можно думать, что из "доступных" удобными объектами для исследования могли бы быть фосфор и серебро. В самом деле, эти вещества имеют одинаковые значения  $J = \frac{1}{2}$  и сильно отличаются своими свойствами: серебро-металл, фосфор - "неметалл". Поэтому в случае фосфора из-за малых значений величин  $W_K$  и  $W_P$  исследуемые переходы будут играть несущественную роль <sup>16/</sup>, в то время как для серебра - преобладающую. Однако результаты опытов с фосфором и серебром нельзя будет интерпретировать однозначно. Причина заключается в том, что у мезоядер серебра, имеющих значение  $\mu_N < 0$ , переходы будут происходить из состояния  $F = 0$  в состояние  $F = 1$ . Следовательно, в случае фосфора и серебра кривые прецессии, ожидаемые на опыте, будут принадлежать мезоядрам, пребывающим только в состоянии  $F = 1$ , вследствие чего величина поляризации будет одинаковой.

Непосредственно обнаружить переходы удастся в том случае, если использовать вещества с  $J > \frac{1}{2}$ , и при этом измерять на опыте не величины поляризации, а частоты прецессии мезоядер. Действительно, в этом случае кривая прецессии, наблюдаемая на опыте <sup>16/</sup> при отсутствии переходов, будет сложной, а именно - суперпозицией кривых прецессии спинов мезоядер, находящихся в двух состояниях сверхтонкой структуры с  $F \neq 0$ ; в случае наличия переходов - простой, соответствующей прецессии спинов мезоядер только в нижнем состоянии. Частоты прецессии при малых величинах поляризации  $P$ , как известно <sup>10/</sup>, могут быть измерены с лучшей точностью, чем значения  $P$  <sup>11/</sup>. В предлагаемом выше методе лучше всего использовать вещества, которые имеют одинаковые значения  $J > \frac{1}{2}$ , но разные знаки  $\mu_N$ , как, например,  $Li$  и  $Be$ . При наличии переходов такие мезоядра, находясь в нижнем состоянии, несмотря на одинаковые значения  $J$  будут прецессировать

с разными частотами. Следует заметить, что вышеприведенные рассуждения справедливы только в том случае, когда величины  $W_K$  и  $W_P$  являются достаточно большими по сравнению с  $\Lambda$ . В настоящее время мы проводим опыты с такими ядрами с целью обнаружения переходов.

Автор благодарен Хэ Цзо-сю, В.Б. Беляеву, Б.Н. Захарьеву за многочисленные дискуссии и постоянный интерес к работе.

Рукопись поступила в издательский отдел 27 октября 1959 года.

#### Л и т е р а т у р а

1. J. Bernstein, T.D. Lee, C.N. Yang and H. Primakoff, Phys. Rev. III, 313, 1958.
2. H. Uberall "Hyperfine Splitting effects in the capture of polarized  $\pi$ -mesons", Preprint Carnegie Institute of Technology. 1959.
3. Э.И. Долинский. Диссертация, НИИЯФ МГУ, 1959 г.
4. С.С. Герштейн. ЖЭТФ, 34, 463, 1959 г.
5. А.Е. Игнатенко, Л.Б. Егоров, Б.Халуца, Д.Чултэм. ЖЭТФ, 35, 894, 1958г.
6. Л.Б. Егоров, Е.А.Е. Игнатенко, Д.Чултэм. ЖЭТФ 1959г.
7. H. Primakoff. Rev. Mod. Phys., 31, 802, 1959.
8. V. Telegdi. Phys. Rev. Lett., 3, 59, 1959.
9. G. Garwin, L. Lederman, M. Weinrich. Phys. Rev., 105, 1415, 1957.
10. R.A. Lundy, J.C. Sens, R.A. Swanson, V.L. Telegdi and D.D. Yovanovich. Phys. Rev. Lett., 1, 38, 1958.
11. А.Е. Игнатенко, Л.Б. Егоров, Б.Халуца, Д.Чултэм. ЖЭТФ, 35, 1131, 1958 г.