

С 346

7-89



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Д. Чултэм

925

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ОСТАНОВИВШИХСЯ μ^- -МЕЗОНОВ

втореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель - кандидат
физико-математических наук

А.Е. Игнатенко

Дубна 1962 год

Д. Чултэм

С 346

7-89

825

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ОСТАНОВИВШИХСЯ μ^- -МЕЗОНОВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель - кандидат
физико-математических наук

А.Е. Игнатенко

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Возможность постановки экспериментов по исследованию деполяризации μ^- -мезонов стала ясной в связи с открытием несохранения четности в распадах π и μ -мезонов, когда выяснилось, что пучки μ^- -мезонов, получаемых на ускорителях, могут быть высокополяризованными.

Интерес к этим исследованиям был вызван необходимостью:

1. Выяснения причины низкой асимметрии распада μ^- -мезонов в веществе по сравнению с μ^+ -мезонами.
2. Изучения возможностей применения поляризованных μ^- -мезонов, например, в опытах по μ^- -захвату, в атомной физике и т.д.

В основу реферируемой диссертации вошли результаты систематического исследования поляризации остановившихся μ^- -мезонов в различных веществах, опубликованные в работах /1,2,3,4/. Диссертация состоит из трех глав. В первой главе дается обзор теорий деполяризации μ^- -мезонов. Во второй главе обсуждается проблема постановки экспериментов, описаны методика экспериментов и экспериментальная установка. В третьей главе обсуждаются полученные результаты и проводится сравнение их с теорией.

Поляризация μ^- -мезонов, остановившихся в мишени, исследовалась путем измерения анизотропии углового распределения электронов распада. Был применен "метод прецессии" в его первоначальном варианте /5/. Однако условия наших экспериментов отличались от тех, которые имелись в аналогичных экспериментах с μ^+ -мезонами:

1. Различием времени жизни μ^- -мезона в различных веществах.
2. Различием гиромагнитного отношения прецессирующей системы в разных случаях.
3. Наличием фона, связанного с остановкой μ^- -мезонов в веществе, в результате поглощения их ядрами.

4. Трудностью калибровки начальной поляризации пучка. Эти обстоятельства подробно рассмотрены в диссертации.

Обсуждается проблема выбора веществ для мишеней. При этом мы стремились к тому, чтобы была возможность выявить основные особенности отдельных механизмов деполаризации. С этой точки зрения наибольший интерес представляют вещества, состоящие из атомов одного сорта, т.к. использование сложных веществ приведет к дополнительным трудностям при интерпретации результатов опыта. Для того, чтобы выделить роль спин-орбитального взаимодействия в явлениях деполаризации, был выбран ряд веществ, состоящих, в основном, из четно-четных изотопов. Выбранные нами вещества не только обладают нулевыми ядерными спинами, но и различаются величиной атомного номера, внутренней структурой, электрическими и магнитными свойствами. Тут имеются диэлектрики /вода, сера, парафин, полиэтилен/, диамагнитные и слабопарамагнитные нормальные металлы /графит, магний, цинк, кадмий, свинец/, а также парамагнитные переходные металлы /хром, молибден, палладий, вольфрам/. Такие разнообразные по свойствам материалы выбраны нами специально для исключения влияния окружающей мезоатом среды, влияния электронной оболочки самого мезоатома, а также влияния размера ядра на поляризацию μ^- -мезона в мезоатоме. Наряду с палладием исследовался гидрид палладия / $Pd H_{0,6}$ /, в котором атомы палладия не обладают парамагнетизмом. Это было сделано с целью прямого доказательства существования взаимодействия спинов μ^- -мезона и электронной оболочки в мезоатоме. Для исследования деполаризации, связанной с влиянием спина ядра, в качестве мишеней мы выбрали фосфор и алюминий. Они являются наиболее подходящими для этих целей: во-первых, они представляют собой практически чистые моноизотопы / P^{31} и Al^{27} /; во-вторых, они сильно различаются значениями спина ядра /в 5 раз /. Эти обстоятельства важны для интерпретации результатов и количественного сравнения их с предсказаниями теории. Был исследован также жидкий водород.

В диссертации подробно изложена обработка данных: введение различного рода поправок инструментального характера.

Результаты исследований показывают, что в мезоатомах диамагнитных и слабопарамагнитных веществ коэффициент асимметрии в распаде μ^- -мезонов почти не зависит от Z и в среднем составляет величину $a \sim 0,05$. Поляризация μ^- -мезонов / $P = 3a$ / в мезоатомах графита, парафина, полиэтилена, воды, магния, серы, цинка, кадмия и свинца получается порядка $\sim 15-20\%$ от первоначальной. Этот результат очень хорошо согласуется с теоретическими расчетами, учитывающими только спин-орбитальное взаимодействие в каскадных переходах мезоатомов /6,7,8/. Наблюдающаяся независимость деполаризации μ^- -мезонов от электропроводности вещества свидетельствует об отсутствии влияния как свободных, так и атомных электронов на поляризацию μ^- -мезонов в указанной группе веществ. Совпадение наблюдаемой на опыте частоты прецессии мезоатомов C, O, Mg и S с частотой прецессии свободного μ^- -мезона подтверждает этот вывод.

В случае парамагнитных веществ, которые имеют внутренние магнитоактивные оболочки электронов / Pd, Mo, Cr, W /, мы наблюдаем постоянную интенсивность электронов на тех частотах, где обнаруживается характерная асимметрия для веществ с нулевым спином ядра. Этот результат интерпретирован нами как изменение гиромангнитного отношения мезоатома с одновременной деполаризацией μ^- -мезона за счет спиновой связи μ^- -мезона и электронной оболочки. Контрольный опыт с гидридом палладия подтверждает этот вывод. Эти результаты показывают, что поляризованные мезоны, возможно, могут быть использованы в качестве средства для исследования магнитных свойств атомов переходных металлов, актинидов и лантанидов.

В случае фосфора экспериментальное значение коэффициента асимметрии a значительно меньше, чем для рассмотренных выше веществ с нулевыми спинами ядра, а в случае алюминия и жидкого водорода значение a не отличается от достигнутых статистических ошибок, которые очень малы. Согласно сделанному выше выводу, в этих веществах влияние электронной оболочки на поляризацию μ^- -мезонов должно отсутствовать. Однако эти мезоатомы отличаются от рассмотренных выше тем, что они обладают ядерными спинами, отличными от нуля. Экспериментальный результат $a_p \approx 1/2 a_c$ хорошо

согласуется с теоретическими расчетами в работах /9,10,11,12/. Наличие спиновой связи μ^- -мезона и ядра в основном состоянии мезоатома подтверждается еще тем, что на опыте видна прецессия мезоядра, имеющего гироманнитное отношение $\gamma = 1/2 \mu_\mu$. Этот факт непосредственно указывает на то, что спин отрицательного μ^- -мезона равен $1/2$. Этот результат является принципиальным, ибо спин μ^- -мезона определялся раньше весьма косвенным путем. Успех в опыте с фосфором достигнут благодаря использованию красного фосфора, в котором вероятность перехода μ^- -мезона с верхнего уровня сверхтонкой структуры на нижний мала /13/. Результат опыта с алюминием также не противоречит теоретическим расчетам. Наблюдающуюся полную деполаризацию μ^- -мезонов в жидком водороде трудно объяснить только тонким и сверхтонким взаимодействиями в мезоводороде и для удовлетворительного объяснения требуется дополнительный механизм, которым могут быть, например, процессы рассеяния мезопروتон в водороде.

В ы в о д ы

1. Систематическое исследование поляризации μ^- -мезонов в различных группах мезоатомов позволило выявить основные особенности процессов их деполаризации. В мезоатомах диамагнитных и слабопарамагнитных веществ с нулевыми спинами ядра поляризация μ^- -мезонов уменьшается приблизительно в 6 раз. Наличие спина у ядра и электронной оболочки мезоатома еще в 2 - 3 раза уменьшает поляризацию μ^- -мезонов. Эти факты хорошо объясняются обычной квантовой теорией атомов, основанной на электромагнитном взаимодействии /6-12/.

2. Так как низкая асимметрия в распаде μ^- -мезонов в веществе полностью объясняется их деполаризацией, то отсюда следует идентичность угловых распределений e^\pm - в каскадах $\pi^\pm - \mu^\pm - e^\pm$ в вакууме. Этот вывод согласуется со следствиями как CP -, так и CPT -инвариантностей.

3. Малая, но вполне заметная поляризация μ^- -мезонов в большинстве веществ позволяет осуществить эксперименты по захвату поляризованных μ^- -мезонов ядрами.

4. В наших экспериментах впервые наблюдались различные эффекты тонкой и сверхтонкой структур мезоатомных уровней, заключающиеся в зависимости от спина ядра и электронной оболочки не только величины поляризации μ^- -мезонов, но и гироманнитного отношения прецессирующей системы. Следует отметить, что возможность мезоатомной спектроскопии ранее не позволяла экспериментально установить даже наличие этих явлений.

5. В результате этих исследований был определен спин μ^- -мезона.

6. Показана также возможность использования поляризованных μ^- -мезонов в исследовании свойств парамагнитных атомов.

7. Были обнаружены некоторые другие эффекты: полная деполаризация μ^- -мезонов в жидком водороде; отсутствие влияния водорода на поляризацию μ^- -мезонов в некоторых водородосодержащих веществах /парафин, полиэтилен/.

8. Общая закономерность деполаризации μ^- -мезонов, обнаруженная в наших экспериментах, подтверждается последующими экспериментами других авторов. В диссертации содержится таблица, которая включает все данные, накопившиеся в литературе к настоящему времени по данному вопросу.

Результаты наших экспериментов многократно обсуждались на научных семинарах ЛЯП ОИЯИ, были доложены на заседаниях Ученого совета Института, на международных конференциях по физике высоких энергий в 1953-1960 г.г. и опубликованы в журнале ЖЭТФ /1-4/.

Л и т е р а т у р а

1. А.Е. Игнатенко, Л.Б. Егоров, Б. Халупа, Д. Чултэм. ЖЭТФ, 35, 1130 /1958/.
2. Л.Б. Егоров, А.Е. Игнатенко, Д. Чултэм. ЖЭТФ, 37, 1517 /1959/.
3. Л.Б. Егоров, Г.В. Журавлев, А.Е. Игнатенко, Ля-Сюань-Мин, М.Г. Петраш-ку, Д. Чултэм. ЖЭТФ, 40, 391 /1961/.
4. А.Е. Игнатенко, Л.Б. Егоров, Б. Халупа, Д. Чултэм. ЖЭТФ, 35, 894 /1958/.
5. R.L.Garwin, L.M.Lederman and M.Weinrich. Phys.Rev. 105, 1415 (1957).
6. I.M.Shmushkevich. Nucl. Phys. 11, 419 (1959).
7. В.А. Джрбашян. ЖЭТФ, 36, 277 /1959/.
8. R.A.Mann and M.E.Rose. Phys. Rev. 121, 293 (1961).
9. H.Uberall. Phys.Rev. 114, 1640 (1959).
10. E.Lubkin. Phys. Rev. 119, 615 (1960).
11. И.С. Шапиро, Л.Д. Блохинцев, ЖЭТФ, 37, 760 /1959/. Э.И.Долинский, Диссертация НИИЯФ МГУ /1960/.
12. А.П. Бухвостов, И.М. Шмушкевич, ЖЭТФ, 41, 1895 /1961/.
13. А.Е. Игнатенко, М.Г. Петрашку, Д. Чултэм, ЖЭТФ /в печати/.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 февраля 1962 г.