

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

498/2-80

4/2-80
P1 - 12784

В.С.Евсеев, Т.Н.Мамедов, В.С.Роганов,
М.В.Фронтасьева

ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ В ВОДЕ

1979

P1 - 12784

В.С.Евсеев, Т.Н.Мамедов, В.С.Роганов,
М.В.Фронтасьева

ИССЛЕДОВАНИЕ
ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ В ВОДЕ

Евсеев В.С. и др.

P1 - 12784

Исследование температурной зависимости
деполяризации отрицательных мюонов в воде

Методом прецессии спина мюона в слабом поперечном магнитном поле измерены относительные /по отношению к графиту/ коэффициенты асимметрии a/a_c в угловом распределении электронов $\mu^- \rightarrow e^-$ -распада при остановке мюонов в воде для определения скорости химических реакций мезоазота с водой с лучшей точностью, чем это было сделано ранее. На основе полученной зависимости деполаризации отрицательных мюонов от температуры в широком температурном интервале /от температуры жидкого гелия 4°K до температуры кипения воды 373°K / найдена величина скорости химических реакций мезоазота с водой $\lambda_0 = 1,9 \pm 0,7 \cdot 10^{10} \text{c}^{-1}$. Обсуждается роль "горячих" реакций мезоатомов со средой и на основе имеющихся экспериментальных данных делается вывод об их незначительном вкладе.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Evseev V.S. et al.

P1 - 12784

Investigation of Temperature Dependence of
Depolarization of Negative Muons in Water

Relative (with respects to graphite) asymmetry coefficients a/a_c in angular distribution of $\mu^- \rightarrow e^-$ -decay electrons in water have been measured from 4 K to a room temperature by the muon spin precession method in a weak transverse magnetic field with better precision. The mesic atom chemical reaction rate in water has been obtained on the base of temperature dependence of residual polarization of negative muons: $\lambda_0 = (1,9 \pm 0,7) \cdot 10^{10} \text{c}^{-1}$. A part of "hot" reactions of mesic atoms with medium is discussed. On the basis of experimental data available it is concluded that its contribution is negligible.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

В ранних^{/1/} экспериментах по исследованию механизмов деполяризации отрицательных мюонов при их остановке в конденсированных средах была установлена температурная зависимость деполяризации мюонов в воде, явившаяся первым экспериментальным доказательством существования химических реакций мезоатома со средой^{/2/}, в которой он образовался.

Как следовало из развитой в^{/3/} модели, температурная зависимость асимметрии в угловом распределении электронов $\mu^- \rightarrow e^-$ -распада может наблюдаться тогда, когда образующийся мезоатом /в случае воды мезоазот μN / вступает в химическую реакцию с радикалами, возникающими в среде при образовании мезоатома. Так как скорость вступления в химическую реакцию зависит от температуры среды, то наблюдение температурной зависимости свидетельствует о справедливости положения феноменологической теории деполяризации^{/3/} о том, что потери поляризации в основном состоянии мезоатома обусловлены сверхтонким взаимодействием спина μ^- - мюона с моментом электронной оболочки мезоатома, если эта оболочка парамагнитна.

На основе полученных в^{/1/} экспериментальных данных были определены величины скорости химических реакций мезоатома, аналога атомарного азота, с водой^{/4/}. Однако найденные в^{/4/} величины имели точности, в настоящее время недостаточные, поскольку знание скорости вступления в химическую реакцию μN в воде представляет интерес с точки зрения ряда других^{/5/} экспериментов, где исходя из концентрационной зависимости остаточной поляризации определяется отношение скорости вступления в химическую реакцию μN в растворяемом веществе и растворителе /воде/. При этом для расчетов скорость химических реакций μN с водой является основополагающей величиной.

Настоящие измерения температурной зависимости деполяризации в воде были предприняты для получения более точной величины скорости вступления мезоазота в химическую реакцию с водой, и для этого, в частности, уточнен ход температурной зависимости величины остаточной поляризации в области низких температур.

Как и в ^{1/}, измерение остаточной поляризации проводилось методом прецессии спина мюона в поперечном магнитном поле на мюонном пучке синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ ^{6/}. Методика измерения остаточной поляризации мюонов и обработка экспериментальных данных описаны в ^{7/}. Совокупность данных ^{1/} и настоящей работы охватывает диапазон температур от температуры жидкого гелия до температуры кипения воды.

Для измерений при температуре жидкого гелия был изготовлен гелиевый криостат специальной конструкции с патрубком для мишени, входящим в зазор между счетчиками экспериментальной установки ^{7/}. Для контроля температуры перед началом измерений использовались углеродные резисторы, а в процессе измерений уровень гелия определялся с помощью поплавка, смонтированного в корпус криостата.

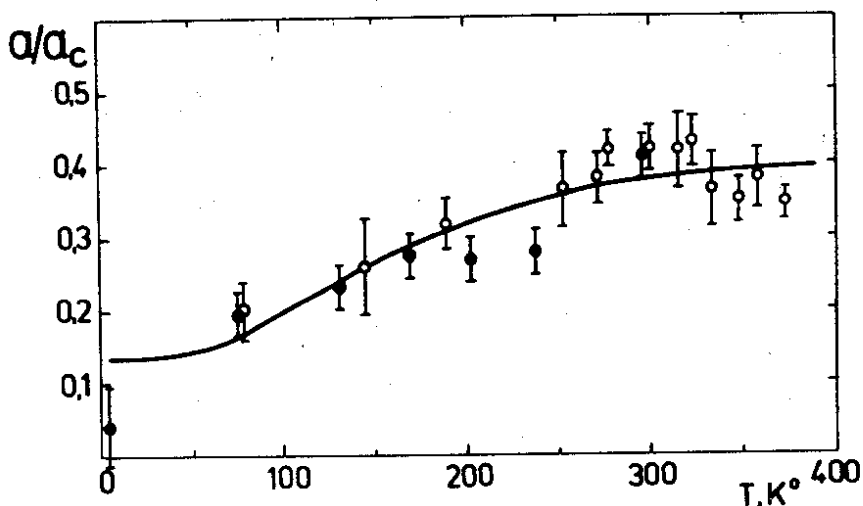
Измерения в интервале температур от температуры жидкого азота до комнатной проводились в криостате из пенопласта, соединенного с азотным дьюаром большого размера. Конструкция дьюара позволяла регулировать интенсивность испарения азота и температуру паров азота, поступающих в пенопластовый дьюар с мишенью. Пары азота поступали в дьюар снизу и выходили через выходную трубу, расположенную сверху. Температура мишени контролировалась тремя термопарами из железа-константана и стабилизировалась с точностью около 2°. Один конец термопары 1 был заморожен в центр мишени. Термопара 2 размещалась вблизи поверхности мишени, что позволяло следить за градиентом температур при переходе от одной температуры к другой. Вторые концы термопар 1 и 2 опускались в воду со льдом. Оба конца контрольной термопары 3 находились в воде со льдом. Сигналы с термопар подавались на самописец, который поочередно фиксировал информацию с каждой термопары.

На рисунке представлена температурная зависимость остаточной поляризации в воде, включающая как данные работы ^{1/}, так и результаты настоящих измерений.

Как видно из рисунка, температурная зависимость имеет насыщающийся характер и достаточно хорошо описывается формулой ^{3/}

$$\frac{a}{a_c} = \frac{a_0 \lambda}{a_c \lambda_0} \left[\frac{Q}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{\lambda}\right)^2}} + (1-Q) \operatorname{th} \frac{\lambda_0}{2\nu} \right], \quad /1/$$

по которой проводилась обработка экспериментальных данных. В этой формуле a_0 - значение коэффициента асимметрии к концу мезоатомного каскада после восстановления электронной оболочки мезоатома; a_c - коэффициент асимметрии в графите;



Температурная зависимость деполаризации отрицательных мюонов в воде. / o - данные работы /1/ ; • - настоящие измерения/. Линия на рисунке соответствует обработке методом наименьших квадратов в соответствии с формулой /1/.

$Q = 1/3 [1 + 2/(2J + 1)^2]$ /см.^{8/ /, J - полный момент электронной оболочки мезоатома; λ - скорость вступления μ^- в химические реакции с образованием диамагнитных соединений; λ_0 - скорость вступления μ^- в химические реакции с образованием как диамагнитных, так и парамагнитных соединений; ν - частота сверхтонкого взаимодействия спина μ^- -мюона с моментом электронной оболочки мезоатома; Ω - частота прецессии магнитного момента системы мюон-электронная оболочка /использовалось среднее по двум метастабильным состояниям электронной оболочки мезоатома значение, равное мюониевой частоте прецессии/. При обработке по формуле /1/ полагалось, что}

$$\lambda_0 = \Lambda \left(\frac{T}{300} \right) \exp \left(- \frac{E_a}{KT} \right) \quad /2/$$

и реакции мезоатома описываются теорией химических реакций в конденсированной фазе, лимитируемых диффузией^{9/}, т.е. что показатель степени в температурной зависимости константы скорости химической реакции равен единице. В этом выра-

жении Λ - предэкспоненциальный множитель скорости химических реакций мезоатома с окружающей средой при температуре 300°K; E_a - энергия активации в кал/моль и K - постоянная Больцмана, равная 1,987 кал/моль.град. Зависимость результатов от показателя степени температуры исследована ранее^{/4/}.

В результате обработки экспериментальных данных по формуле /1/ с использованием метода наименьших квадратов /программа FUMLI / на ЭВМ CDC-6500 были получены следующие значения варьируемых параметров: $\frac{a_0 \Lambda}{a_c \lambda_0} = 0,41 \pm 0,03$; $\Lambda = 3,75 \pm 0,98$; $E_a = 395 \pm 108$ кал.

Кривая с этими параметрами показана на рисунке. Из изменений в продольных магнитных полях следует^{/2/}, что основное состояние мезоазота $^4S_{3/2}$ не реализуется во время жизни мезоатома. Если полагать $\nu = 0,7 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$ ^{/2/} /что соответствует частоте сверхтонкого взаимодействия спина μ^- -мюона в 1s-состоянии с электронной оболочкой мезоазота μN в метастабильных состояниях $^2P_{3/2}$ и $^2D_{5/2}$ /, то для скорости вступления мезоазота в химическую реакцию в воде получим

$$\lambda_0 = 1,9 \pm 0,7 \cdot 10^{10} \cdot \text{с}^{-1}$$

При более строгом подходе к анализу результатов обработки экспериментальных данных следует рассматривать несимметричное распределение вероятности значения параметра λ_0 . Тогда на уровне достоверности 66% получим для скорости вступления мезоазота в химическую реакцию с водой $\lambda_0 = 1,9^{+2,5}_{-0,4}$, а с вероятностью 95% - $\lambda_0 = 1,9^{+17}_{-0,9}$. Как видно, нижняя граница для величины скорости, полученная из температурной зависимости, как и в работе^{/5/}, и концентрационной зависимости остаточной поляризации, не сильно зависит от уровня достоверности, т.е. является более устойчивой.

Полученное значение λ_0 в пределах ошибки совпадает с ранее найденным аналогичным образом значением в работе^{/4/}. Благодаря увеличению количества экспериментальных точек и уменьшению статистической неопределенности по сравнению с^{/4/}, полученная в настоящей работе ошибка в определении λ_0 в два раза меньше, чем в работе^{/4/}.

Результаты настоящих измерений подтверждают положение о том, что наблюдение асимметрии углового распределения электронов $\mu^- \rightarrow e^-$ -распада в воде на частоте свободного спина мюона становится возможным благодаря вступлению мезоатома в химическую реакцию с образованием диамагнитных продуктов, при этом мезоатом вступает в химическую реакцию термализованным. Верхним пределом вклада "горячих" реакций

мезоазота /до термализации/ в воде с образованием диамагнитных продуктов можно считать величину $\frac{4+6}{\%}$, равную $\frac{a}{a_c}$ при температуре жидкого гелия.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить Ю.В.Обухова, В.И.Кудинова и Г.И.Савельева за помощь в проведении эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсеев В.С. и др. ЯФ, 1968, 8, с.741.
2. Evseev V.S. Muon Physics, Acad.Press, 1975, v.3, p.235.
3. Евсеев В.С. ОИЯИ, P14-4052, Дубна, 1968; Джураев А.А., Евсеев В.С. ЖЭТФ, 1972, 62, с.1166.
4. Джураев А.А. и др. ЖЭТФ, 1974, 66, с.433; Джураев А.А. и др. ЖЭТФ, 1972, 62, с.2210.
5. Баландин М.П. и др. ОИЯИ, P1-12082, Дубна, 1979.
6. Варламов В.Г. и др. ОИЯИ, 1-4084, Дубна, 1968.
7. Бабаев А.И. и др. ЖЭТФ, 1966, 50, с.877.
8. Джрбашян В.А. ЖЭТФ, 1959, 36, с.277.
9. Колдин Е. Быстрые реакции в растворе. "Мир", М., 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел
11 сентября 1979 года.