

СПИНОВАЯ РЕЛАКСАЦИЯ МЮОНОВ В ПАРАВОДОРДЕ

С.Г.Барсов¹⁾, А.Л.Геталов¹⁾, В.А.Гордеев¹⁾, Л.А.Кузьмин¹⁾, С.П.Круглов¹⁾,
С.М.Микиртычьянц¹⁾, Г.В.Щербаков¹⁾, Е.П.Красноперов, В.П.Смилга, В.Г.Сторчак

Исследовано затухание прецессии спина положительных мюонов в жидким и твердом параводороде, содержащем менее 2% ортомолекул. Обнаружено, что зависимость скорости затухания прецессии от температуры в твердом водороде имеет максимум при $T = 4$ К.

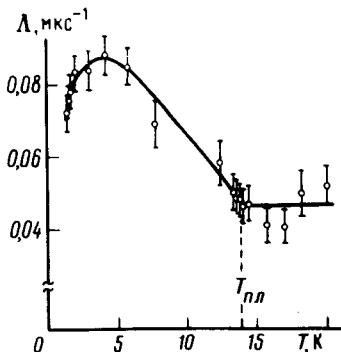
Исследование прецессии спина положительных мюонов в твердом водороде с различным орто-пара составом¹⁾ показали, что с понижением концентрации орто-молекул ($J = 1$) скорость деполяризации мюонов уменьшается медленнее, чем следует из теории диполь-дипольного взаимодействия мюона с окружающими орто-молекулами. Это обстоятельство стимулировало постановку экспериментов на параводороде с целью изучения кинетики заряженных частиц.

Эксперимент выполнен на мю-мезонном канале синхроциклотрона ЛИЯФ АН СССР с использованием стандартной μ SR-методики²⁾. Измерена скорость затухания амплитуды прецессии μ^+ -мезонов (скорость деполяризации) в водороде, содержащем менее 2% орто-молекул, в диапазоне температур $1,5 \div 20$ К в поперечном магнитном поле $H_{\perp} = 286$ Э.

Водород помещался в специальный низкофоновый криостат. Чтобы уменьшить количество конструкционных материалов на пути мюонов, внутренняя рубашка криостата (ее нижняя часть) изготовлена из отожженной нержавеющей фольги 1-X-18H-10T толщиной 45 мк. В наружном кожухе имеются окна диаметром 60 мм, закрытые такой же фольгой. Нержавеющая сталь была выбрана по той причине, что ниже 40 К она антиферромагнитна и в ней скорость деполяризации очень высока: $\Lambda > 100$ мкс⁻¹. Таким образом, холодные стенки криостата не дают прецессирующего сигнала, что заметно снижает уровень фона. Отношение числа мюонов остановившихся в стенках криостата к числу мюонов остановившихся в образце составляет $\leq 0,2$.

Кристаллизация водорода осуществлялась посредством контакта с медной пластиной, охлаждаемой гелием. Температуры ниже 4 К достигались откачкой гелия, заливаемого над кристаллом водорода. Температура образца контролировалась с помощью двух угольных термопар, расположенных за пределами пучка мюонов в верхней и нижней частях образца. Точность измерения температуры была лучше 0,5%.

¹⁾ Институт ядерной физики им. Б.П.Константинова АН СССР.



Температурная зависимость скорости затухания Λ амплитуды прецессии (скорость деполяризации) спина мюона в параводороде. $\Lambda = \frac{1}{\tau}$; τ – время затухания амплитуды прецессии в e раз

Фурье-спектр прецессии мюонного спина состоял из одной линии (на мюонной частоте), усиленной за счет деполяризации. Побочные линии в пределах 1% отсутствовали. Амплитуда прецессии описывалась простым экспоненциальным законом $A \sim \exp(-\Lambda t)$, где Λ – скорость деполяризации.

На рисунке показана зависимость скорости деполяризации мюонов от температуры. Экспериментальные данные исправлены с учетом мюонов, остановившихся в стенах криостата.

В жидком состоянии систематические ошибки в определении малых значений Λ не позволяют выявить ее зависимость от температуры. Ниже температуры плавления скорость деполяризации возрастает, достигает максимума при $T \cong 4$ К, а затем уменьшается. Заметим, что в области низких температур ($T \cong 1,5 \div 2$ К) производная $\partial\Lambda/\partial T$ очень высока.

Эффективная деполяризация мюонов в твердом параводороде указывает на то, что мюоны не являются свободными, а образуют некое связанное состояние. Поскольку энергия связи протона в ионе H_3^+ составляет 4,6 эВ, то весьма вероятно, что мюон захватывается молекулой водорода образуя ион $H_2\mu^+$. В таком ионе деполяризация осуществляется магнитными полями протонов. Распределение магнитных полей соответствует гауссову затуханию с параметром $\sigma^2 = 0,25$ мкс⁻². Поскольку наблюдаемые затухания невелики, то описание амплитуды прецессии законом $A \sim \exp(-\Lambda t)$ вполне оправдано.

Скорость деполяризации существенно зависит от того, вращается ион или нет. При быстром хаотическом вращении иона $H_2\mu^+$ за счет усреднения магнитных полей ядер деполяризация оказывается малой. При замораживании вращения скорость деполяризации возрастает. Этот эффект, известный в ЯМР как динамическое сужение линии, качественно объясняет малое значение Λ в жидком водороде. В твердой фазе, при охлаждении ниже $T_{\text{мел}}$, по-видимому, происходит замораживание вращений иона, что приводит к увеличению Λ . Уменьшение Λ ниже $4 \div 5$ К, может быть связано, по-видимому, с квантовыми явлениями.

Согласно теории³, при низких температурах могут иметь место высокие степени зависимости деполяризации от температуры (например $\sim T^9$). Возможно, именно поэтому, наблюдается большая величина производной $\partial\Lambda/\partial T$ ниже 2 К.

Авторы выражают глубокую благодарность Н.А.Черноплекову за поддержку работы; И.И.Гуревичу, В.И.Селиванову за обсуждение результатов.

Литература

- Красноперов Е.П. и др. Тезисы докладов НТ ХХIII, Таллин, 1984, 28, 58; Барсев С.Г. и др. Препринт ЛИЯФ № 1021.
- Seeger A. Positive Muons as Light Isotopes of Hydrogen. In Hydrogen in Metals, I, Topics in Applied Physics, 28 (Springer, Berlin, Heidelberg, New York 1978), 349.
- Андреев А.Ф., Либшиц И.М. ЖЭТФ, 1969, 56, 2057; Каган Ю.М., Максимов Л.А. ЖЭТФ, 1983, 84, 792.