

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ МЮОННОВ В КОНДЕНСИРОВАННОЙ ОКИСИ УГЛЕРОДА

В.Г.Сторчак, В.Г.Гребинник, В.Н.Дугинов, Б.Ф.Кириллов,
А.В.Пирогов, А.Н.Пономарев, В.А.Жуков, А.Б.Лазарев, С.Н.Шилов

Измерены параметры спиновой релаксации мюонов в жидкой и кристаллической окиси углерода (аналог азота с ядерными магнитными моментами равными нулю) в перпендикулярном магнитном поле в диапазоне температур 10-80 К. Поляризация мюонов в СО изменяется от 0,5 в кристалле до 0,2 в жидкости.

Поляризованные положительные мюоны при попадании в диэлектрики могут образовывать как диамагнитные соединения, так и водородоподобный атом мюония (μ^+e^-)¹. Поскольку масса мюона составляет 1/9 массы протона, мюоний можно рассматривать как легкий изотоп водорода, что определяет к нему особый интерес. Поляризация мюонов, внедренных в вещество, состоит из диамагнитной части P_d , мюониевой поляризации P_{Mu} и так называемой "потерянной" поляризации P_p , причем $P_d + P_{Mu} + P_p = 1$ ¹.

В работе² исследовалась деполяризация мюонов в конденсированном азоте в перпендикулярном магнитном поле. Было обнаружено, что диамагнитная фракция описывает от 0,3 до 0,5 мюонной поляризации. Оставшаяся часть поляризации относится к "потерянной" фракции, поскольку мюоний не был обнаружен как в жидким, так и в кристаллическом азоте. Отсутствие наблюдения долгоживущего атома мюония в конденсированном азоте может быть обусловлено двумя причинами: 1) быстрым затуханием мюониевой прецессии благодаря наличию дипольных полей ядерных магнитных моментов азота; 2) химической реакцией мюония, в результате которой за короткие (ненаблюдаемые в эксперименте) времена происходит переход из парамагнитного состояния в диамагнитное.

Первая причина аналогична явлению, наблюдавшемуся в кристаллическом ортовородороде³, в котором происходило быстрое затухание мюониевой прецессии за счет взаимодействия с ядерными магнитными моментами молекул орто- N_2 . В параводороде, в котором ядерные магнитные моменты равны нулю, наблюдалась прецессия на мюониевой частоте.

Вторая причина была предложена в работе² для объяснения природы потерянной поляризации в конденсированном азоте. Предложенная реакция $Mu + N_2 \rightarrow N_2\mu^+$

(1) может протекать лишь при условии образования мюония в конденсированном азоте в возбужденном состоянии ².

Выяснение истинной причины отсутствия долгоживущего атома мюония в конденсированном азоте может быть осуществлено путем измерения поляризации мюонов в конденсированной окиси углерода (СО). Кристаллический СО является полным аналогом азота по своим свойствам ⁴. Существенным отличием, имеющим решающее значение для μSR -исследований, является отсутствие ядерных магнитных моментов в окиси углерода. Именно это обстоятельство позволяет использовать СО для определения причины отсутствия мюония в конденсированном азоте. Если в СО будет обнаружена мюониевая прецессия, может иметь место первая причина. Если же мюоний в СО обнаружен не будет, первая причина оказывается абсолютно исключенной, поскольку в СО нет оснований для затухания прецессии мюония.

Помимо выяснения причины отсутствия мюония в конденсированном азоте, измерение окиси углерода позволит проверить высказанное в ⁵ предположение о том, что ядерное сверхтонкое взаимодействие, зависящее от скорости вращения молекул азота, определяет температурную зависимость остаточной поляризации мюонов в азоте. Если это действительно так, температурная зависимость остаточной поляризации мюонов в конденсированной СО по крайней мере при низких температурах должна представлять собой константу $P = 1/2$, не имея особенностей вблизи $\alpha - \beta$ -перехода.

Настоящая работа посвящена μSR -исследованиям жидкой и кристаллической окиси углерода в перпендикулярном магнитном поле. Насколько известно авторам, это первое исследование конденсированных фаз окиси углерода μSR -методом. В эксперименте использовалась окись углерода с содержанием кислорода не более 10^{-4} . Эксперимент выполнен с использованием стандартной μSR -аппаратуры. Параметры образца СО (размеры, "эффективная толщина" и т.д.) были приблизительно такими же, как и образца азота ².

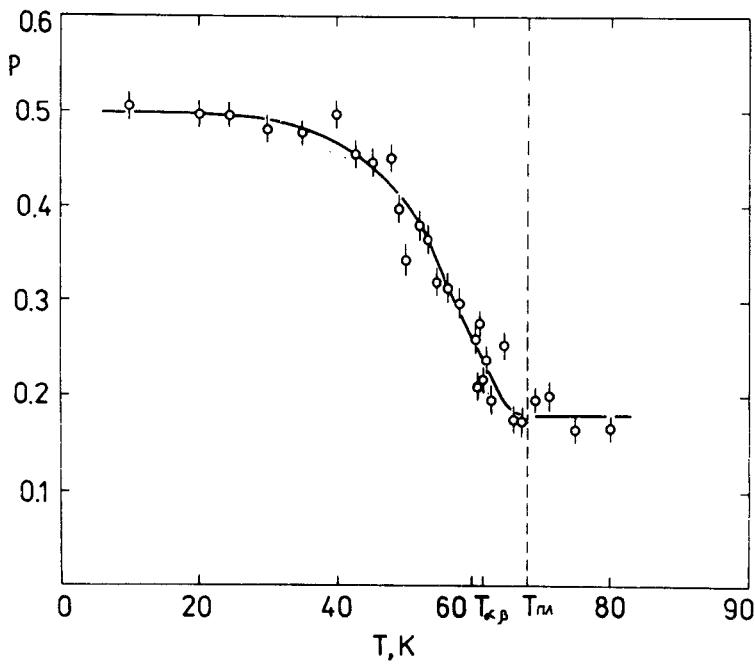
Попытки обнаружить долгоживущий атом мюония в окиси углерода были предприняты как в жидкости при $T = 80$ К, так и в α -фазе кристаллической СО при $T = 37,8$ К. Исследовались параметры прецессии в магнитном поле $H = 5,2$ Э. Фурье анализ спектров прецессии выявил лишь одну линию. Мюониевая компонента не превышала уровень фона, который составлял менее 4% амплитуды спектра на мюонной частоте.

Таким образом, долгоживущий атом мюония отсутствует как в жидкой, так и в кристаллической фазах окиси углерода. Этот результат позволяет сделать однозначный выбор в пользу химической реакции, как причины наблюдения "потерянной" поляризации как в азоте, так и в окиси углерода.

Частота мюонной прецессии с точностью 10^{-3} соответствовала внешнему перпендикулярному магнитному полю. Это свидетельствует о том, что в конденсированной СО при временах $t > 10^{-8} - 10^{-7}$ с мюон находится в диамагнитном состоянии. Анализ возможных диамагнитных состояний мюона в СО показал, что наиболее вероятным состоянием является ион $\text{CO}\mu^+$. Известно, что при попадании протона в окись углерода образуется ион CO_p^+ с энергией связи 6,26 эВ ⁶. Скорость деполяризации мюонов в кристаллической СО не зависит от температуры и составляет $0,03 \mu\text{s}^{-1}$, что определяется неоднородностью магнитного поля по образцу.

На рисунке показана температурная зависимость поляризации мюонов (P_d) в окиси углерода, полученная в результате обработки спектров прецессии в магнитном поле 100 Э. Значения поляризации получались путем нормировки начальной амплитуды мюонной прецессии в СО на величину полной мюонной амплитуды, измеренной в образце меди. Во всем диапазоне температур от 10 до 80 К остаточная поляризация мюонов в СО оказывается меньше единицы. Это означает,

что в конденсированной окиси углерода имеет место быстрая деполяризация мюонов. По-видимому, причиной быстрой деполяризации мюонов в CO, как и в азоте ², является образование атома мюония, который за короткие времена вступает в химическую реакцию с образованием иона $\text{CO}\mu^+$. Предлагаемая реакция $\text{Mu} + \text{CO} \rightarrow \text{CO}\mu^+$ (2) аналогична реакции (1), по-видимому, протекает по крайней мере в кристаллической CO при температурах $T < 40$ К. Как и реакция (1), реакция (2) может иметь место лишь с участием возбужденного атома Mu.



Температурная зависимость поляризации мюонов в конденсированной окиси углерода

Тот факт, что остаточная поляризация мюонов в α -фазе CO при $T < 40$ К равна $1/2$ свидетельствует в пользу высказанного в ⁵ предположения о природе температурной зависимости поляризации мюонов в конденсированном азоте, связанной с ядерным сверхтонким взаимодействием. В азоте ядерное сверхтонкое взаимодействие приводит к переворотам электронного спина мюония, что влечет за собой уменьшение поляризации ниже $1/2$. В окиси углерода ядерное сверхтонкое взаимодействие отсутствует и при низких температурах $P = 1/2$.

Как видно из рисунка, поляризация мюонов понижается от $0,5$ в α -фазе CO до $0,2$ в жидкости. В настоящее время трудно сделать однозначное заключение о природе этого явления. Это может быть связано с взаимодействием мюония с парамагнитными примесями кислорода. Нельзя исключить возможность взаимодействия мюония с вращательными магнитными моментами молекул CO, которые по порядку величины оказываются такими же, как и ядерные магнитные моменты. Наконец, возможно объяснение, связанное с различными химическими реакциями мюония в жидкости и в твердом теле.

Авторы признателны И.И.Гуревичу за поддержку работы, Н.В.Прокофьеву, В.Г.Фирсову за обсуждение результатов., В.Г.Ольшевскому, В.Ю.Помякушину за помощь в экспериментах.

Литература

1. *Schenck A.* Muon Spin Rotation Spectroscopy.-Bristol,Hilger, 1985.
2. *Гребинник В.Г., Дугинов В.Н., Кириллов Б.Ф. и др.* Письма в ЖЭТФ, 1990, 51, 7.
3. *Brewer J.H. et al.* 5th International Conference on μ SR, Oxford, 1990, 102.
4. Криокристаллы. (Под редакцией Б.И.Веркина и А.Ф.Прихолько), Киев: Наукова думка, 1983.
5. *Гребинник В.Г. и др.* ФНТ, 1990, 16, 1184.
6. *Bohme D.K. et al.* J. of Chem. Phys., 1980, 73, 4976.

Институт атомной энергии им.И.В.Курчатова
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
19 октября 1990 г.
