

СТРАННАЯ ДИФФУЗИЯ μ^+ -МЕЗОНА В ВИСМУТЕ

В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, В.А.Жуков
 А.И.Климов, В.Н.Майоров, А.П.Маньч,
 Е.В.Мельников, Б.А.Никольский, А.В.Пирогов,
 А.Н.Пономарев, В.И.Селиванов, В.А.Суетин

Измерена температурная зависимость $\Lambda(T)$ скорости релаксации спина μ^+ -мезона в висмуте при $T < 250\text{К}$. Одной из возможных интерпретаций экспериментальной зависимости $\Lambda(T)$ является предположение о когерентной квантовой диффузии μ^+ -мезона при $T < 80\text{К}$.

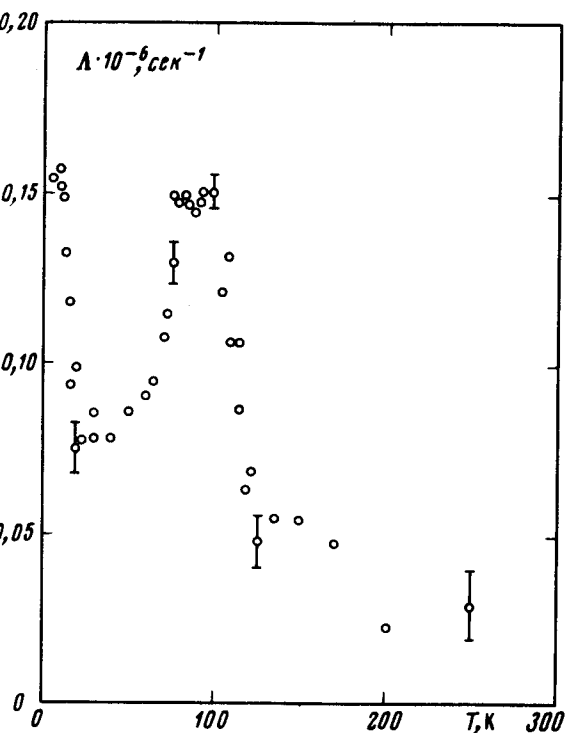
В работах [1, 2] была измерена температурная зависимость $\Lambda_{\text{Cu}}(T)$ скорости релаксации спина μ^+ -мезона в меди. Эта зависимость представляет собой плато, т. е. $\Lambda_{\text{Cu}}(T) = \text{const}$ при $T \lesssim 80\text{К}$, и монотонно убывающую функцию ($\Lambda_{\text{Cu}}(T) \rightarrow 0$) при более высоких температурах. Значение скорости релаксации спина μ^+ -мезона на плато зависимости $\Lambda_{\text{Cu}}(T)$ определяется дипольной релаксацией спина μ^+ -мезона из-за взаимодействия магнитных моментов μ^+ -мезона и ядер меди. Спад кривой $\Lambda_{\text{Cu}}(T)$ при повышении температуры естественно объясняется диффузией μ^+ -мезона по решетке меди.

В настоящей работе была измерена температурная зависимость $\Lambda(T)$ скорости релаксации спина μ^+ -мезона в висмуте, которая существенно отличается от описанной выше зависимости $\Lambda(T)$ в меди. Использованный образец висмута был выполнен из поликристаллического материала с количеством примесей менее 0,01%. Работа сделана на синхроциклотроне ЛЯПОИЯИ в Дубне. Полученная экспериментальная зависимость $\Lambda(T)$ представлена на рисунке. Приведенные на рисунке значения Λ определялись по затуханию амплитуды прецессии спина μ^+ -мезона в поперечном магнитном поле $H = 70 \text{ э}$ методом максимального правдоподобия при сопоставлении экспериментальных прецессионных кривых и теоретического выражения

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau_0} [1 - a e^{-\Lambda^2 t^2} \cos \omega t]. \quad (1)$$

Здесь $N(t)$ — число позитронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада, вылетающих по направлению первичной, соответствующей времени $t = 0$ поляризации μ^+ -мезона; $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6} \text{сек}$ — время жизни μ^+ -мезона; a — экспериментальный коэффициент асимметрии углового распределения пози-

тронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада; $\omega = eH/m\mu c$ — ларморовская частота прецессии спина μ^+ -мезона в поле $H = 70$ э. Из выражения (1) следует, что скорость релаксации спина μ^+ -мезона — Λ определяется в предположении гауссовской зависимости $P(t) = e^{-\Lambda^2 t^2}$ поляризации μ^+ -мезона от времени. Гауссовский вид зависимости $P(t)$ действительно должен наблюдаться при отсутствии диффузии μ^+ -мезона [2]. Для диффундирующего μ^+ -мезона зависимость $P(t)$ имеет более сложный вид, и по мере возрастания скорости диффузии (т.е. при высоких температурах) асимптотически приближается к экспоненциальной функции времени [3]. На рисунке зависимость $\Lambda(T)$ изображена для единообразия в предположении, что $P(t) = e^{-\Lambda^2 t^2}$, т.е. в соответствии с выражением (1) во всем исследованном интервале температур.



Температурная зависимость скорости релаксации спина μ^+ -мезона в висмуте

Из рисунка видно, что зависимость $\Lambda(T)$ в висмуте имеет немонотонный характер и ее описание не может быть столь простым, как описание соответствующей зависимости в меди [2]. Существенное уменьшение скорости релаксации Λ при температурах $T \gtrsim 150$ К естественно объясняется быстрой диффузией μ^+ -мезона при высоких температурах. Однако объяснение минимума кривой $\Lambda(T)$ при $T \approx 25$ К требует учета каких-то иных процессов. Одним из возможных объяснений этого эффекта может быть относительно медленная при низких температурах диффузия μ^+ -мезона в более устойчивые положения равновесия. При более высоких температурах такая диффузия становится достаточно быстрой и экспериментально не наблюдается.

Другим возможным объяснением минимума зависимости $\Lambda(T)$ при $T \sim 25$ К является когерентная квантовая диффузия [4, 5] μ^+ -мезона в висмуте при $T < 80$ К. В отличие от обычной диффузии средняя скорость диффундирующей частицы при квантовой диффузии возрастает с уменьшением температуры. Поэтому при квантовой диффузии скорость релаксации спина μ^+ -мезона должна падать с уменьшением температуры, что и наблюдается при $T < 80$ К. Для объяснения наблюдающегося на опыте увеличения $\Lambda(T)$ при $T < 20$ К следует предположить возможность захвата μ^+ -мезона в дислокации или другие дефекты кристаллической решетки висмута, что становится возможным именно при низких температурах, когда скорость когерентной диффузии резко возрастает.

В заключение отметим, что граничная температура T_0 , ниже которой возможна когерентная диффузия в кристалле, существенно зависит от массы m диффундирующей частицы. Эта зависимость определяется выражением [4]: $T_0 \sim \Theta (\Delta / \Theta)^{1/2}$. Здесь Θ — температура Дебая данного кристалла; $\Delta = e \cdot \text{const} \sqrt{m}$ — ширина когерентной зоны для диффундирующей частицы массы m . Количественные оценки показывают, что для μ^+ -мезона в металле $\Delta \sim 1$ К и величина T_0 не существенно отличается от температуры Дебая Θ . Так для висмута, где $\Theta = 120$ К, $T_0 \sim 50$ К, что вполне согласуется с возможностью наблюдать когерентную диффузию μ^+ -мезона в этом металле при $T < 80$ К. Следует также отметить моноизотопный состав висмута, что также благоприятствует когерентным процессам.

Авторы приносят благодарность В.П.Джелепову за предоставленную возможность выполнить эту работу на ускорителе ЛЯП ОИЯИ; А.Ф.Андрееву, А.М.Афанасьеву, В.Г.Ваксу, Б.Т.Гейликману, Ю.М.Кагану, Л.А.Максимову за полезные обсуждения; А.Ю.Дидыку, В.С.Роганову за помощь в работе.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
25 февраля 1977 г.

Литература

- [1] I.I.Gurevich, E.A.Meleshko, I.A.Muratova, B.A.Nikolsky, V.S.Roganov, V.I.Selivanov, B.V.Sokolov. Phys. Lett., 40 A, 143, 1972.
- [2] В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, В.А.Жуков, А.П.Маныч, Е.А.Мелешко, И.А.Муратова, Б.А.Никольский, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. ЖЭТФ, 68, 1548, 1975.
- [3] А.Абрагам. Ядерный магнетизм, М., ИЛ, стр. 407, 1963.
- [4] А.Ф.Андреев, И.М.Лифшиц. ЖЭТФ, 56, 2057, 1969.
- [5] Yu.Kagan, M.I.Klinger. Phys., 7C, J.Phys., 7C, 2791, 1974.