

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕМЮНИЕВОЙ СТАДИИ ДЕПОЛЯРИЗАЦИИ μ^+ -МЕЗОНОВ В ГЕРМАНИИ

*В.И.Кудинов, Е.В.Минайчев, Г.Г.Мясищева,
Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, Г.И.Савельев, В.Г.Фирсов*

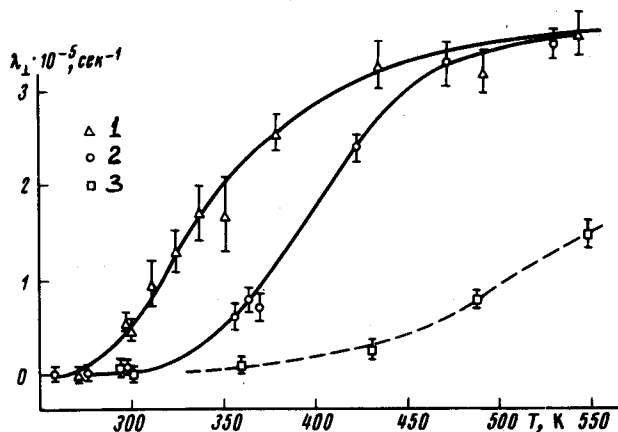
Измерена скорость медленной релаксации спина μ^+ -мезона в монокристаллах германия *n*-типа как функция температуры среды и концентрации легирующей примеси. Данные обсуждаются в рамках общей картины взаимодействий мюония (μ^+ -мезона) с германием.

Методом наблюдения ларморовой прецессии в поперечных магнитных полях [1] изучен процесс медленной (протекающей после завершения мюониевой стадии) деполяризации [2] μ^+ -мезонов в германии. Измерена скорость релаксации спина μ^+ -мезона в зависимости от температуры среды и концентрации легирующих примесей. Эксперименты выполнены на жестко-фокусирующем мезонном тракте синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ [3]. Пучок поляризованных ($P_0 \sim 0,86$) μ^+ -мезонов останавливался в исследуемой мишени и под углом $\sim 0^\circ$ по отношению к первоначальному импульсу μ^+ -мезонов регистрировались позитроны μe -распада. В поперечном магнитном поле (H_\perp) распределение зарегистриро-

ванных актов по времени вследствие пространственной асимметрии распада модулировано с частотой $\omega = gH_{\perp}$, где g — гиромагнитное отношение для μ^+ -мезона. Распределение по времени вероятности регистрации распада $W(t)$ после учета фона и экспоненты времени жизни μ^+ -мезона имеет вид

$$W(t) \sim [1 - c_0' e^{-\lambda t} \cos(\omega t + \phi)],$$

где c_0' — экспериментальный коэффициент асимметрии в среде в момент времени $t = 0$ (начало отсчета времени — остановка μ^+ -мезона в мишени), λ — константа скорости медленной релаксации спина μ^+ -мезона, ϕ — сдвиг фазы мезонной прецессии, обусловленный наличием мюониевой стадии. Абсолютная нормировка поляризации μ^+ -мезонов проводилась по контрольным экспериментам с эталонной мишенью из бромформа (СНВr_3) с учетом энергетического спектра регистрируемых позитронов распада. В рассматриваемых опытах основной измеряемой величиной является параметр λ . При выбранной напряженности поля ($H_{\perp} \approx 120 \text{ э}$) и времени наблюдения $\sim 8 \text{ мксек}$ прослеживалось 12 — 13 периодов прецессии при общей статистике зарегистрированных актов распада $\sim 2,5 \cdot 10^5$ в каждом опыте.



Зависимость скорости деполаризации μ^+ -мезонов (λ) в монокристаллах германия n -типа с различной концентрацией носителей заряда от температуры (T) среды: 1 — $1 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$; 2 — $1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$; 3 — $1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$

Исследуемые образцы монокристаллов германия, легированного мышьяком с концентрацией $1 \cdot 10^{14}$; $1,5 \cdot 10^{15}$ и $1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ (n -тип проводимости), помещались в термостат, в котором поддерживалась заданная температура с точностью $\pm (1 + 2)^\circ$. Учитывался вклад остановок μ^+ -мезонов в стенках термостата, не превышавший 5%.

Результаты экспериментов по определению скорости медленной деполаризации μ^+ -мезонов представлены на рисунке. Отметим два важных вывода, следующих из представленных данных: во-первых, процесс деполаризации ускоряется с повышением температуры, во-вторых, увеличение концентрации носителей заряда оказывает обратное действие, т. е. замедляет процесс.

Выявленная зависимость скорости деполаризации от температуры ($d\lambda/dT > 0$) для μ^+ -мезонов в германии n -типа (аналогичный эффект отмечен нами [4] и для германия p -типа) резко отличает этот процесс от

механизма диполь-дипольной релаксации спина μ^+ -мезона [2, 5], где $d\lambda/dT < 0$. Отметим, что в условиях рассмотренных выше экспериментов все образцы германия являлись невырожденными, с полностью ионизированными атомами примеси. Сравнение данных для образцов с последовательно увеличивающейся концентрацией атомов мышьяка показывает, что обратная пропорциональность изменения скорости релаксации спина μ^+ -мезона от плотности электронов проводимости носит нелинейный характер, а с ростом температуры может достигаться предельное значение λ (для образца германия $n = 1,5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ — лишь в области более высоких температур).

В наших предыдущих работах было показано [4, 6], что μ^+ -мезоны в германии с вероятностью, близкой к единице, образуют атомы мюония, которые в дальнейшем вступают в химическую реакцию с атомами кристаллической решетки. Возникающая при этом диамагнитная связь, создаваемая парой скомпенсированных по спину электронов, предотвращает "быструю" (в течение мюониевой стадии) деполяризацию μ^+ -мезонов за счет сверхтонкого взаимодействия в атоме мюония [7]. Наиболее вероятным представляется образование химической связи типа гидридной $\text{Ge} - \text{H}$ [8]. Таким образом, процесс медленной — (послемюониевой) деполяризации, исследовавшийся в настоящей работе, можно рассматривать как последующее термическое нарушение химической связи, в результате чего образуется парамагнитный центр, деполяризующий μ^+ -мезоны.

Приведенные выше зависимости скорости деполяризации μ^+ -мезона от температуры в других средах, кроме германия, до сих пор не наблюдались. В этих случаях может быть весьма плодотворна феноменологическая теория деполяризации μ^+ -мезона с учетом возможного образования нестабильных диамагнитных соединений, изложенная в работе Ивантера и Смилги [9]. Однако, более детальный анализ взаимодействия мюония (μ^+ -мезона) с германием требует проведения дополнительных экспериментов, в частности, при дальнейшем увеличении температуры. Определение количественных характеристик процесса нарушения диамагнитной связи $\text{Ge} - \text{Mu}$, безусловно, позволит выявить конкретный механизм образования этой связи.

Институт теоретической
и экспериментальной физики

Поступила в редакцию
17 февраля 1977 г.

Литература

- [1] А.И.Бабаев, М.Я.Балац, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, В.Г.Фирсов. ЖЭТФ, 50, 877, 1966.
- [2] Е.В.Минайчев, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, Г.И.Савельев, В.Г.Фирсов. ЖЭТФ, 57, 421, 1969.
- [3] Ю.М.Грашин, Б.А.Долгошеин, В.Г.Кириллов-Угрюмов, А.А.Кропин, В.С.Роганов, А.В.Самойлов, С.В.Сомов, АЭ, 18, 384, 1965.
- [4] Д.Г.Андрианов, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, В.Г.Фирсов, В.И.Фистуль. ЖЭТФ, 56, 1195, 1969.

- [5] В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, В.А.Жуков, А.П.Маньч, Е.А.Мелешко, И.А.Муратова, Б.А.Никольский, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. ЖЭТФ, 68, 1548, 1975.
- [6] В.И.Кудинов, Е.В.Минайчев, Г.Г.Мясищева, Ю.В.Обухов, В.С.Роганов, Г.И.Савельев, В.М.Самойлов, В.Г.Фирсов. ЖЭТФ, 70, 2041, 1976.
- [7] В.Г.Носов, И.В.Яковлева. ЖЭТФ, 43, 1750, 1962.
- [8] Д.Г.Андрианов, Ю.В.Обухов, В.Г.Фирсов, В.И.Фистуль. Доклады АН СССР, 201, 884, 1971.
- [9] И.Г.Ивантер, В.П.Смилга. ЖЭТФ, 60, 1985, 1971.
-