

РЕЛАКСАЦИЯ СПИНА μ^+ -МЕЗОНА В ХРОМЕ

*В.Г. Гребинник, И.И. Гуревич, В.А. Жуков,
И.Г. Ивантер, А.И. Климов, А.П. Маныч,
Е.В. Мельников, Б.А. Никольский, А.В. Пирогов,
А.Н. Пономарев, В.И. Селиванов, В.А. Суетин,
С.В. Фомичев*

Исследуется релаксация спина μ^+ -мезона в антиферромагнитном состоянии хрома в продольном и поперечном магнитных полях. Оценена вероятность $1/\tau \sim 10^{11}$ сек⁻¹ диффузионного перескока μ^+ -мезона между двумя порами кристаллической решетки хрома при $T = 100 - 300$ К.

В работах [1, 2] исследовалась релаксация спина μ^+ -мезона в редкоземельных металлах, находящихся в парамагнитном и антиферромагнитном состояниях. В этой работе, выполненной на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне, исследуются магнитные взаимодействия μ^+ -мезона в хrome. Как известно, при температуре $T < T_N = 311\text{K}$ хром находится в магнитоупорядоченном антиферромагнитном состоянии, характеризующимся довольно большим атомным магнитным моментом $M = 0,6$ магнетона Бора. При $T > T_N$ магнитный момент у атомов хрома отсутствует.

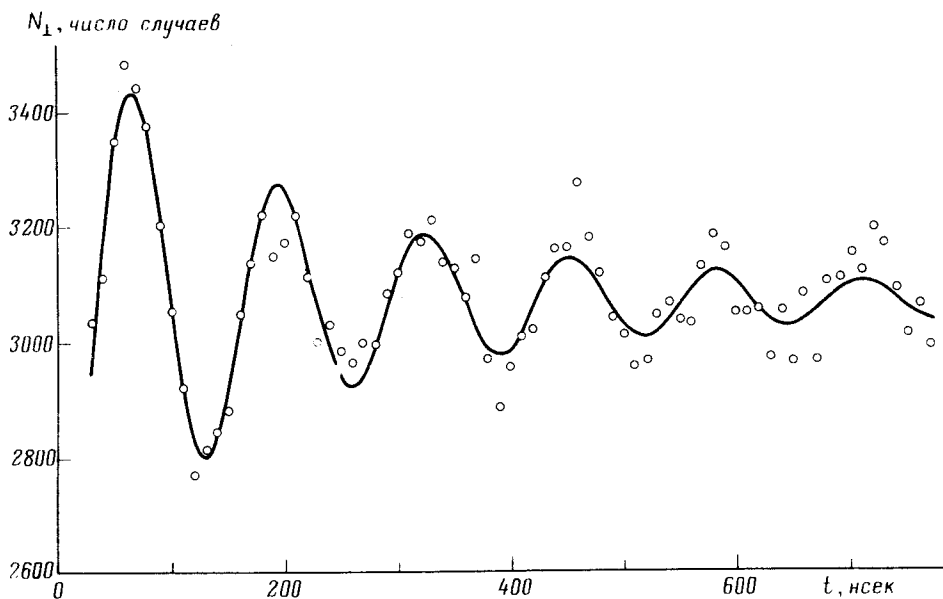


Рис. 1. Прецессия спина μ^+ -мезона в хrome в поперечном магнитном поле $B_{\perp} = 390$ э при $T = 213\text{K}$. Сплошная кривая представляет собой зависимость (1) $N_{\perp}(t)$

На рис. 1 изображена прецессия в поперечном магнитном поле B_{\perp} спина μ^+ -мезона в хrome, находящемся в антиферромагнитном состоянии ($T = 213\text{K}$). В работе был использован поликристаллический образец хрома с числом примесей менее 1%. Приведенная на рис. 1 зависимость $N_{\perp}(t)$ представляет собой скорость счета позитронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ распада, вылетающих против первоначального направления спина μ^+ в момент времени $t = 0$:

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

Здесь $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ сек — время жизни μ^+ -мезона; a — экспериментальный коэффициент асимметрии углового распределения позитронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ распада; Λ — скорость релаксации спина μ^+ -мезона из-за неко-

герентных взаимодействий с веществом; ω — ларморовская частота прецессии μ^+ -мезона. Частота ω прецессии спина μ^+ -мезона в хроме во всем исследованном интервале температур оказалась равной $\omega = eB_{\perp}/m_{\mu}c$, где B_{\perp} — внешнее поперечное по отношению к направлению спина μ^+ -мезона магнитное поле. В выражении (1) принято, что релаксация спина μ^+ -мезона происходит по экспоненциальному закону $p(t) = e^{-\Lambda t}$. Именно такому виду $p(t)$ отвечает приведенная на рис. 1 расчетная зависимость $N_{\perp}(t)$. Из рис. 1 видно, что экспоненциальная зависимость $p(t)$ описывает экспериментально наблюдаемую релаксацию спина μ^+ -мезона лишь приближенно. В действительности релаксация спина μ^+ -мезона в поперечном магнитном поле происходит несколько медленнее, чем по экспоненциальному закону. В дальнейшем, однако, мы будем характеризовать скорость релаксации спина μ^+ -мезона в хроме величиной Λ , так как точный вид зависимости $p(t)$ не известен.

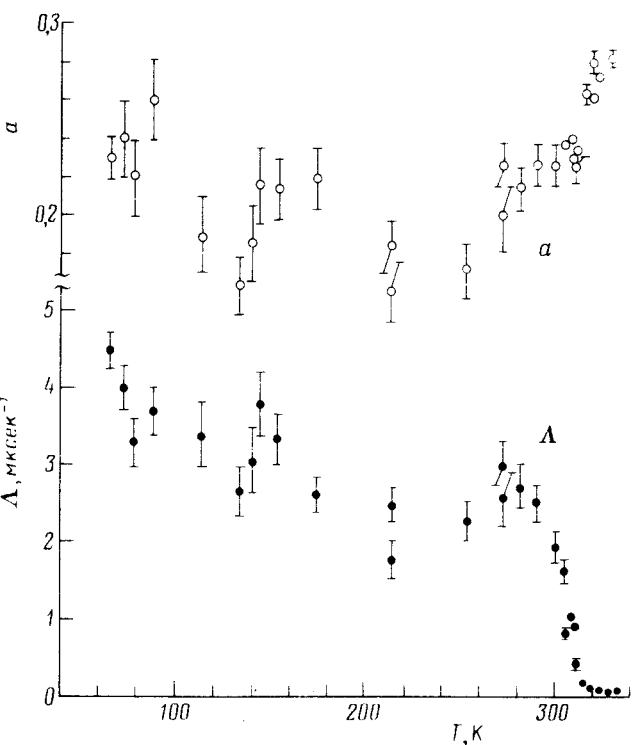


Рис. 2. Экспериментальные зависимости $\Lambda(T)$ и $a(T)$ в поперечном магнитном поле $B_{\perp} = 300$ э

На рис. 2 показаны температурные зависимости $\Lambda(T)$ и $a(T)$ при $T > 60$ К. При температуре ниже 60 К скорость релаксации Λ быстро возрастает и при $T < 50$ К экспериментальное наблюдение прецессии спина μ^+ -мезона становится невозможным. Из рис. 2 видно, что при переходе в магнитоупорядоченное состояние ($T < T_N$) изменяется как скорость релаксации Λ , так и коэффициент асимметрии a : скорость релаксации резко возрастает, а коэффициент асимметрии уменьшается $a(T < T_N) \approx 0,7a(T > T_N)$. Некоторое увеличение коэффициента a при $T < 100$ К не является статистически достоверным и, возможно, связано с отклонением действительной зависимости $p(t)$ от экспоненциального вида.

На рис. 3 приведены зависимости $\Lambda(B)$ и $a(B)$ от продольного, вдоль направления спина μ^+ -мезона магнитного поля B при температуре $T < T_N$. Величины Λ и a в продольном поле B определялись из экспериментальной зависимости

$$N_{\parallel}(t) = N_0 e^{-t/\tau_0} [1 - a e^{-\Lambda t}], \quad (2)$$

которая отличается от зависимости (1) $N_{\perp}(t)$ в поперечном магнитном поле B_{\perp} отсутствием осциллирующего члена $\cos \omega t$.

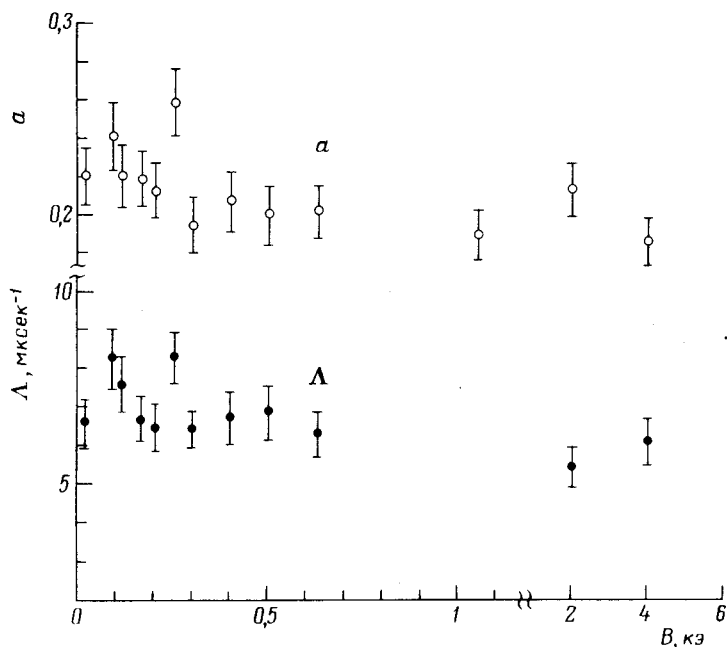


Рис. 3. Экспериментальные зависимости $\Lambda(B)$ и $a(B)$ от продольного магнитного поля B при $T = 140$ К

Рассмотрим теперь выводы, которые можно сделать из приведенных на рис. 2 и рис. 3 экспериментальных данных, характеризующих релаксацию спина μ^+ -мезона в хrome. Из рис. 3 видно, что величины Λ и a остаются почти постоянными при изменении продольного магнитного поля в пределах $B = 0 - 4$ кэ. Это означает, что локальные магнитные поля $B_{\text{лок}}$ на μ^+ -мезоне в хrome существенно превышают величину $B = 4$ кэ и, кроме того, являются переменными во времени. Большие магнитные поля $B_{\text{лок}} \approx 10$ кэ на μ^+ -мезоне в хrome при $T < T_N$ создаются электронными магнитными моментами, возникающими при антиферромагнитном упорядочении ниже температуры Нееля. Среднее значение этих полей по всем возможным междоузлиям кристаллической решетки хрома равно нулю. Поэтому μ^+ -мезон в хrome прецессирует с

ларморовской частотой, отвечающей внешнему магнитному полю. Различные значения $V_{\text{лок}}$ в различных порах приводят к релаксации спина μ^+ -мезона. Эта релаксация происходила бы за очень короткое время $\delta t \sim 10^{-9}$ сек, если бы поля $V_{\text{лок}}$ действовали на μ^+ -мезон постоянно. Относительно медленная релаксация спина μ^+ -мезона в хrome ($\Lambda \sim \sim 10^7$ сек) означает, что локальные магнитные поля на μ^+ -мезоне быстро осциллируют. Естественным объяснением этого является быстрая диффузия μ^+ -мезона по кристаллу хрома. Наблюдаемая скорость релаксации позволяет оценить время τ , которое диффундирующий μ^+ -мезон проводит в одной кристаллической поре:

$$\tau = \Lambda(\delta t)^2 \sim 10^{-11} \text{ сек.} \quad (3)$$

Слабая зависимость $\Lambda(T)$ при $T = 100 - 300$ К показывает, что скорость диффузии в этом интервале температур меняется незначительно.

Различие скоростей релаксации спина μ^+ -мезона в продольном и поперечном магнитных полях (см. рис. 2 и рис. 3) может быть объяснено относительно легкой ориентацией атомных магнитных моментов перпендикулярно к внешнему магнитному полю и направлению волны спиновой плотности в кристалле хрома [3]. Возможным объяснением уменьшения коэффициента a при переходе в магнитоупорядоченное состояние является захват $\sim 30\%$ диффундирующих μ^+ -мезонов в ловушки, связанные с нерегулярностями кристаллической решетки хрома или примесями. Захваченный в ловушку μ^+ -мезон перестает диффундировать, что приводит к релаксации его спина за короткое время $\delta t \sim \sim 10^{-9}$ сек.

Авторы благодарны В.П.Джелепову за предоставленную возможность выполнить эту работу на синхротронном циклотроне в Дубне, В.Н.Майорову, В.С.Роганову за помощь в работе.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
22 июля 1978 г.

Литература

- [1] И.И.Гуревич, А.И.Климов, В.И.Майоров, В.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. Письма в ЖЭТФ, 23, 345, 1976.
- [2] В.Г.Гребинник, И.И.Гуревич, В.А.Жуков, А.И.Климов, А.П.Маньч, В.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. "Мезоны в веществе", изд. ОИЯИ, Д, 1, 2, 14-10908, Дубна, 1977 г.
- [3] Е.И.Кондорский. Зонная теория магнетизма, ч. 2, М., изд. МГУ, 1977 г., стр. 50.