

НАБЛЮДЕНИЕ АНТИФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЕРЕХОДОВ μ^+ -МЕЗОННЫМ МЕТОДОМ

И.И.Гуревич, А.И.Климов, В.Н.Майоров,
Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов,
В.А.Суетин

Методом наблюдения прецессии μ^+ -мезона в поперечном магнитном поле при температурах $T = 100 - 300\text{K}$ исследуется фазовый переход из парамагнитного в антиферромагнитное состояние в диспрозии и гольмии. Резкое изменение амплитуды и скорости затухания прецессии μ^+ -мезона при температуре T_N Нееля показывает эффективность μ^+ -мезонного метода исследования антиферромагнитного перехода.

Антиферромагнитный переход при температуре Нееля – T_N в диспрозии Dy и гольмии Ho исследовался методом наблюдения прецессии спина μ^+ -мезона в поперечном магнитном поле. Исследовались поликристаллические образцы Dy и Ho с числом примесей менее 0,2%. Образцы были выполнены в виде дисков диаметром 80 мм и толщиной 10 мм.

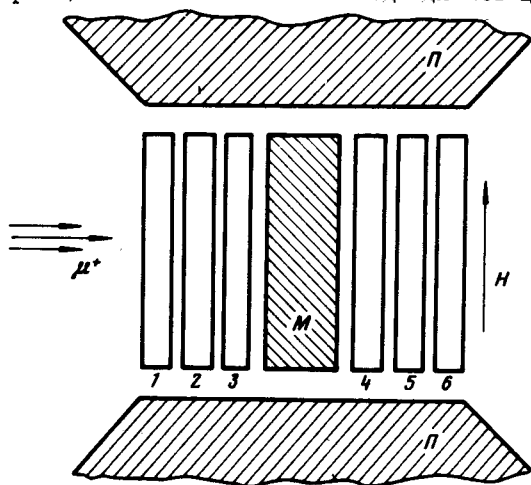


Рис. 1. Схема опыта: M – мишень из Dy или Ho, Π – полюса электромагнита, 1+6 – сцинтилляционные счетчики

Экспериментальная установка для наблюдения прецессии μ^+ -мезона в Dy и Ho схематически изображена на рис. 1. Продольно поляризованные μ^+ -мезоны тормозились и останавливались в мишени M из исследуемого вещества. Мишень M помещалась в поперечное по отношению к направлению спина μ^+ -мезона магнитное поле $H = 306 \text{ э}$. Момент t_μ остановки μ^+ -мезона фиксировался системой сигналов сцинтилляционных счетчиков 1234 (совпадение сигналов 1, 2, 3 и антисовпадение сигнала 4). Момент t_e вылета позитрона $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада регистрировался сигналами 4563. Работа выполнена на синхроциклотроне ОИЯИ в Дубне.

Прецессия спина μ^+ -мезона, т. е. зависимость от времени $t = t_e - t_\mu$ счета $N(t)$ позитронного телескопа 4563, наблюдалась стандартным образом и хорошо аппроксимировалась выражением

$$N(t) = e^{-t/\tau_0} (1 - a e^{-\lambda T \cos \omega t}) N_0$$

во всем интервале температур $T = 100 - 300\text{K}$. Здесь $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}\text{сек}$ – время жизни μ^+ -мезона; $\omega = eH/mc$ – частота ларморовской прецессии спина μ^+ -мезона во внешнем поле $H = 306\text{ э}$; m – масса μ^+ -мезона; a – экспериментальный коэффициент асимметрии углового распределения позитронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада; λ – скорость релаксации спина μ^+ -мезона. Коэффициент асимметрии a определяет начальную поляризацию $p = a/a_{\text{Cu}}$ μ^+ -мезона, где a_{Cu} – коэффициент асимметрии в неполяризующем веществе, в данном случае – в меди.

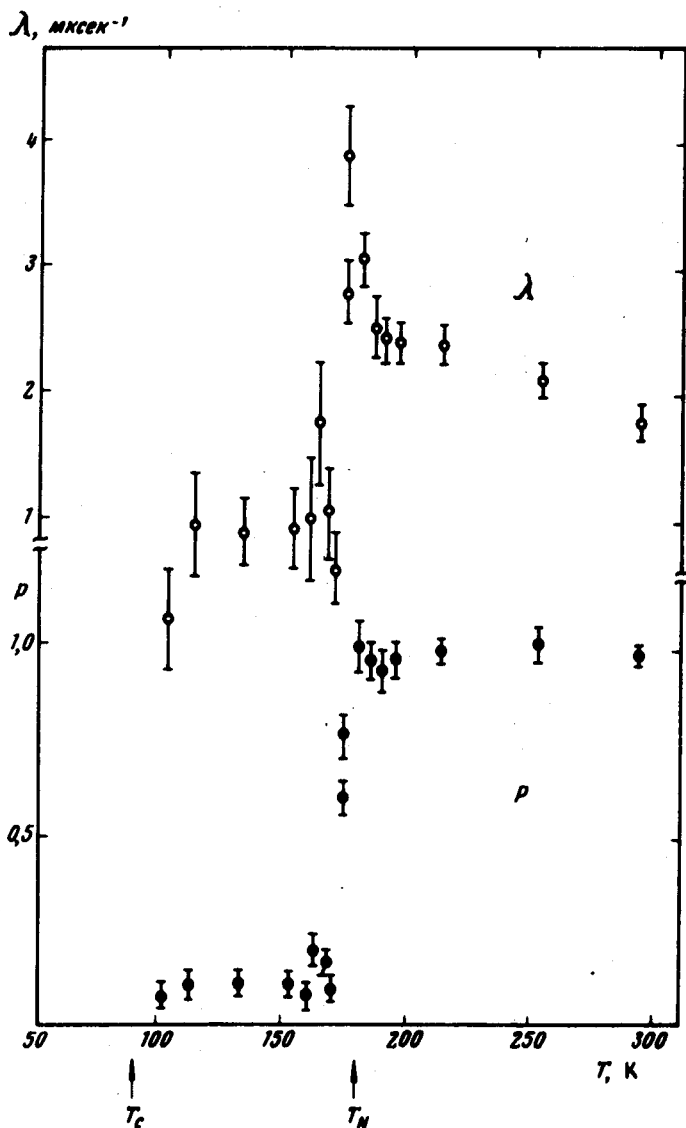


Рис. 2. Поляризация p и скорость релаксации λ спина μ^+ -мезона в Dy в зависимости от температуры T , $T_N = 179\text{K}$ – температура Нееля, $T_C = 90\text{K}$ – температура Кюри перехода в ферромагнитное состояние

На рис. 2 и 3 приведены температурные зависимости $\rho(T)$ и $\lambda(T)$, характеризующие прецессию μ^+ -мезона в Dy и Ho при $T = 100-300\text{K}$.

Из этих рисунков видно, что зависимости $\rho(T)$ и $\lambda(T)$ в Dy и Ho подобны. При температуре T_N фазового перехода из парамагнитного ($T > T_N$) в антиферромагнитное ($T < T_N$) состояние как поляризация ρ , так и скорость релаксации λ испытывают резкое изменение.

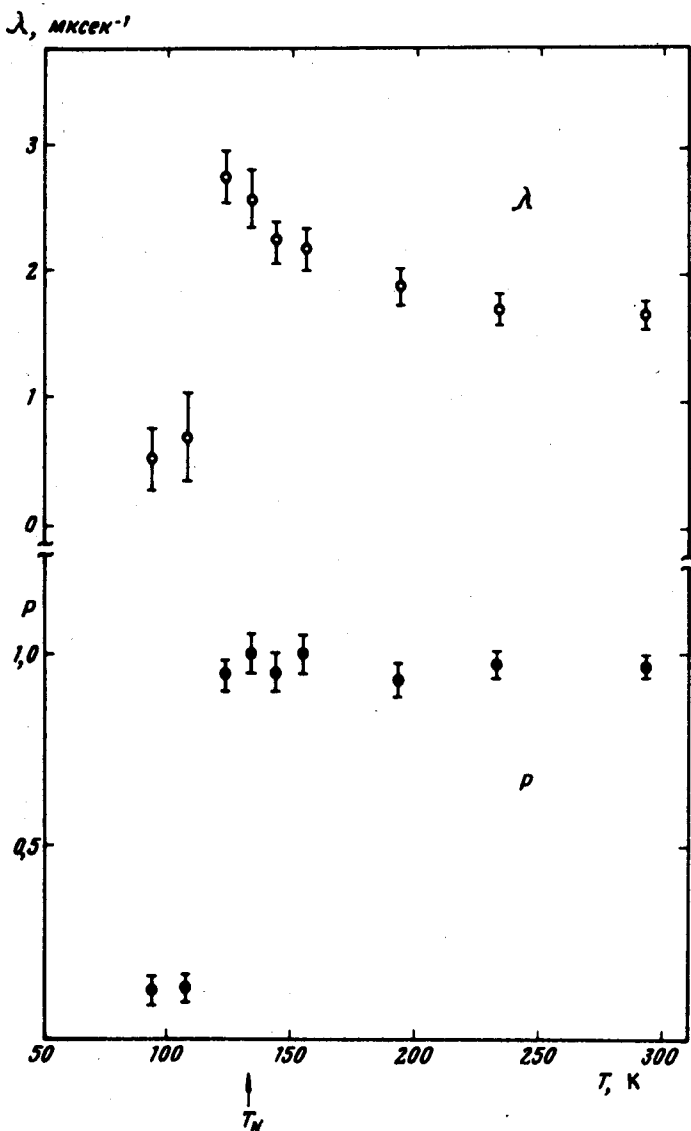


Рис. 3. Поляризация ρ и скорость релаксации λ спина μ^+ -мезона в Ho в зависимости от температуры T , $T_N = 133\text{K}$ — температура Нееля

Начальная поляризация ρ при $T < T_N$ падает почти до нуля: наблюдаемая прецессия μ^+ -мезона в Dy и Ho при этих температурах соответствует значению $\rho \approx 10\%$. Малое значение ρ при $T < T_N$ отвечает быстрой, ненаблюдаемой в данном эксперименте деполаризации, примерно,

90% всех μ^+ -мезонов в Ду и Но, находящихся в антиферромагнитном состоянии. Остается, однако, небольшое количество ($\lesssim 10\%$) μ^+ -мезонов, спины которых при $T < T_N$ релаксируют медленно ($\lambda \sim 1 \text{ мксек}^{-1}$).

Относительно высокая скорость релаксации $\lambda \sim 2 \text{ мксек}^{-1}$ спина μ^+ -мезона в Ду и Но при $T > T_N$ является следствием больших локальных магнитных полей, образуемых магнитными моментами атомов этих металлов в парамагнитном состоянии. Расчет показывает, что значения λ были бы еще больше, если бы μ^+ -мезон не диффундировал по кристаллу Ду и Но. При диффузии μ^+ -мезона локальные магнитные поля на нем становятся переменными во времени и скорость релаксации спина μ^+ -мезона уменьшается. Увеличением скорости диффузии может быть объяснено и наблюдаемое на опыте уменьшение λ при возрастании температуры в области $T > T_N$. Следует отметить также резкое возрастание скорости релаксации λ , а следовательно и локальных магнитных полей при $T \approx T_N$, что представляется естественным вблизи точки фазового перехода.

Полученные экспериментальные результаты показывают эффективность использования μ^+ -мезонного метода для исследования антиферромагнитного фазового перехода.

Авторы рады поблагодарить В.П.Джелепова за предоставление возможности выполнить эту работу на синхротроне ОИЯИ.

Институт атомной энергии
им. И.В.Курчатова

Поступила в редакцию
16 февраля 1976 г.