

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ ПРЕЦЕССИИ μ^+ -МЕЗОНА В ГАДОЛИНИИ

*И.И.Гуревич, А.И.Климов, В.Н.Майоров,
Е.А.Мелешко, Б.А.Никольский, А.В.Пирогов,
В.С.Рогонов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин*

Показано, что при 230 – 280К температурная зависимость частоты прецессии μ^+ -мезона в гадолинии не описывается функцией Бриллюэна. Произведена оценка поляризации электронов проводимости в гадолинии: $P_e > 0,04$.

В работе изучалась прецессия спина μ^+ -мезона в гадолинии при температурах $T = 90 - 290$ К. В этом интервале температур происходит резкое изменение магнитных свойств гадолиния: выше температуры Кюри $\Theta = 289$ К гадолиний является парамагнетиком, ниже – ферромагнетиком. Экспериментально наблюдаемая частота ларморовской прецессии μ^+ -мезона $\omega = eB_{\mu}/m_{\mu}c$ определяется локальным магнитным полем B_{μ} на μ^+ -мезоне. Поэтому экспериментальная зависимость $\omega(T)$ показывает, как меняется с температурой поле B_{μ} в этом ферромагнетике. Представляют интерес также другие экспериментальные параметры прецессии μ^+ -мезона в гадолинии (см. таблицу).

Образец гадолиния представлял собой диск диаметром 65 мм и толщиной 12 мм. Гадолиний был помещен во внешнее магнитное поле H , направленное параллельно плоскости диска и перпендикулярно направлению спина μ^+ -мезона. Поле H создавалось электромагнитом с межполюсным расстоянием 180 мм и диаметром полюсов 220 мм. Прецессия спина μ^+ -мезона наблюдалась с помощью сцинтилляционных счетчиков, регистрирующих позитроны $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада [1].

Параметры прецессии μ^+ -мезона в гадолинии.
 Обозначения указаны в тексте. Ошибки статистические.

$H, \text{ э}$	$T, \text{ К}$	a	$\Lambda, \text{ мксек}^{-1}$	$\omega, \text{ мксек}^{-1}$	$B_{\mu}, \text{ гс}$
Gd 0	93	$0,23 \pm 0,03$	16 ± 3	124 ± 3	1460 ± 40
Gd 4000	108	—	78 ± 16	201 ± 20	2360 ± 230
Gd 2000	108	—	18 ± 2	1500 ± 20	128 ± 2
Gd 450	108	$0,18 \pm 0,03$	13 ± 2	137 ± 2	1610 ± 20
Gd 450	153	$0,20 \pm 0,02$	10 ± 2	144 ± 1	1690 ± 10
Gd 450	191	$0,19 \pm 0,02$	9 ± 1	139 ± 1	1630 ± 10
Gd 450	213	$0,21 \pm 0,02$	14 ± 2	129 ± 2	1510 ± 20
Gd 450	223	$0,20 \pm 0,04$	22 ± 4	117 ± 5	1370 ± 60
Gd 450	233	$0,09 \pm 0,04$	18 ± 7	74 ± 5	870 ± 60
Gd 450	252	$0,07 \pm 0,02$	7 ± 2	81 ± 2	950 ± 20
Gd 450	273	$0,06 \pm 0,02$	5 ± 3	74 ± 2	870 ± 20
Gd 450	283	$0,08 \pm 0,01$	7 ± 2	78 ± 2	920 ± 20
Gd 450	287	$0,29 \pm 0,03$	10 ± 1	33 ± 1	390 ± 10
Gd 450	289	$0,25 \pm 0,01$	$3 \pm 0,2$	$35 \pm 0,2$	410 ± 2
Gd 450	293	$0,28 \pm 0,01$	$3 \pm 0,2$	$35 \pm 0,2$	410 ± 2
Cu 450	303	$0,29 \pm 0,01$	$0,1 \pm 0$	$138 \pm 0,1$	450 ± 1

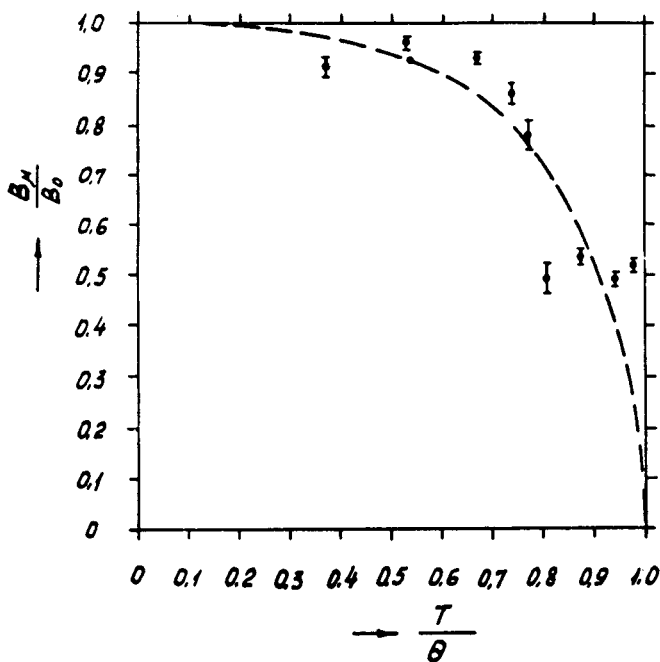
Результаты приведены в таблице и на рисунке. В таблице для различных значений температуры гадолиния указаны: частота прецессии μ^+ -мезона — ω и соответствующее поле B_{μ} , скорость затухания амплитуды прецессии или скорость релаксации спина μ^+ -мезона — Λ , экспериментальное значение амплитуды прецессии или коэффициента асимметрии в начальный момент времени — a . В таблице приведены также параметры прецессии μ^+ -мезона в меди, измеренные в тех же условиях опыта.

На рисунке изображена зависимость $B_{\mu}(T)$ в единицах B_{μ}/B_0 , где поле $B_0 = 1760 \text{ гс}$ условно принято равным $B_0 = B_{\mu}(T \rightarrow 0)$. Экспериментальная зависимость $B_{\mu}(T)/B_0$ сопоставлена на рисунке с функцией Бриллюэна $\frac{M}{M_{\text{нас}}} = f\left(\frac{T}{\Theta}\right)$, описывающей температурную зави-

симость самопроизвольной намагниченности ферромагнетика. Здесь M и $M_{\text{нас}}$ — намагниченность образца соответственно при температуре T и при $T \rightarrow 0 \text{ К}$ (намагниченность насыщения), $\Theta = 289 \text{ К}$ — температура Кюри для гадолиния.

Из рисунка видно, что общий ход экспериментальной зависимости $\frac{B_{\mu}(T)}{B_0} = f\left(\frac{T}{\Theta}\right)$ удовлетворительно описывается кривой Бриллюэна. Вместе с тем, зависимость $\frac{B_{\mu}}{B_0} = f\left(\frac{T}{\Theta}\right)$ обнаруживает и явное отклонение от функции Бриллюэна: при $T = 230 - 280 \text{ К}$ B_{μ} — постоянно. Из данных таблицы следует, что этот интервал температур характеризуется также

изменением величин a и Λ . Наблюдаемое в отличие от никеля [2] отклонение экспериментальной зависимости $V_\mu(T)$ от функции Бриллюэна может быть результатом фазовых превращений в гадолинии.



Зависимость V_μ/V_0 от температуры, $V_0 = 1760 \text{ гс}$. Плавная кривая — функция Бриллюэна для отношения $M/M_{\text{нас}}$; $\Theta = 289 \text{ К}$ температура Кюри для гадолиния.

Экспериментальный коэффициент асимметрии $\mu^+ \rightarrow e^+$ распада в гадолинии — a следует сравнить с коэффициентом асимметрии $a_{\text{Cu}} = 0,29 \pm 0,01$ в меди. Из таблицы видно, что при $T < 220 \text{ К}$ $a \approx \frac{2}{3} a_{\text{Cu}}$.

Именно такое соотношение должно наблюдаться, когда направление намагниченности отдельных доменов в гадолинии произвольно. При температуре выше точки Кюри $a \approx a_{\text{Cu}}$. Относительно малая величина $V_0 = V_\mu(T \rightarrow 0) = 1,76 \text{ кГс}$ означает, что в гадолинии, как и в других ферромагнетиках [1], локальное магнитное поле на μ^+ -мезоне существенным образом определяется контактным полем электронов проводимости V_K :

$$V_\mu = V_D + V_K. \quad (1)$$

Здесь V_D — дипольное поле атомов ферромагнетика. Поле V_D в гадолинии можно положить равным $V_D = -\frac{4}{3}\pi M$, так как в окта- и тетрапоре гексагональной решетки гадолиния дипольные поля от ближайших к μ^+ мезону атомов равны нулю. Полагая $M = M_{\text{нас}}$, найдем $V_D = -\frac{4}{3}\pi M_{\text{нас}} = 8 \text{ кГс}$ и согласно (1) контактное поле V_K : $V_K = V_D - V_\mu = 8 - 1,76 = 6,2 \text{ кГс}$. Зная V_K , можно оценить степень поляризации P_e электронов проводимости. Величина P_e прямопропорциональна V_K и обратнопропорциональна плотности ρ электронов проводимости на μ^+ -мезоне. Макси-

мально возможное значение ρ отвечает связанному состоянию — атому мюония. При мюониевой плотности полностью поляризованных электронов контактное поле $(B_K)_{\text{м}\mu} = 160 \text{ кГс}$. Поэтому минимальное значение P_e , соответствующее $B_K = 6,2 \text{ кГс}$, равно $(P_e)_{\text{min}} = \frac{6,2}{160} = 0,04$ и отвечает связанному состоянию системы $(\mu^+ - e^-)$ в гадолинии.

Поступила в редакцию
24 октября 1974 г.

Литература

- [1] И.И.Гуревич, А.И.Климов, В.Н.Майоров, Е.А.Мелешко, И.А.Мура-
това, Б.А.Никольский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин.
ЖЭТФ, **66**, 374, 1974.
- [2] M. L. G. Foy, N. Heiman, W. J. Kossler. Phys. Rev. Lett., **30**, 1064,
1973.
-