

**ЗАВИСИМОСТЬ ЧАСТОТЫ ПРЕЦЕССИИ μ^+ -МЕЗОНА
В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ
ОТ НАПРЯЖЕННОСТИ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

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

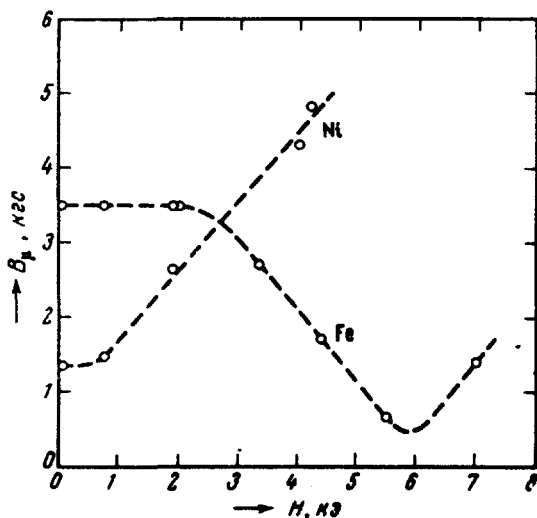
Показано, что локальное магнитное поле на μ^+ -мезоне в железе направлено против вектора намагниченности M , в никеле – по направлению M . Сделана оценка поляризации электронов проводимости в железе: $p_e > 0,065$.

Прецессия μ^+ -мезонов в ферромагнетиках изучалась в ряде работ [1 – 5]. Экспериментально наблюдаемая частота прецессии

$$\omega = \frac{e}{m_\mu c} B_\mu \quad (1)$$

определяет локальное магнитное поле B_μ на μ^+ -мезоне в ферромагнетике. В настоящей работе описывается зависимость $B_\mu(H)$ от внешнего магнитного поля H .

Работа была выполнена на пучке поляризованных мюонов синхротрона ОИЯИ в Дубне. Экспериментальная установка описана в [1]. Образец, где останавливались μ^+ -мезоны, представлял собой эллипсоид вращения диаметром 60 мм и максимальной толщиной 10 мм. Размагничивающий фактор для эллипсоида такой формы равен 0,12. Полоса электромагнита, создающего внешнее магнитное поле H , имели диаметр 270 мм; расстояние между полюсами 180 мм. Поле H было направлено перпендикулярно направлению поляризации μ^+ -мезонов. Прецессия спина μ^+ -мезона наблюдалась с помощью сцинтилляционных счетчиков методом регистрации позитронов $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада.



Зависимость $V_\mu(H)$ для железа и никеля. Плавные кривые проведены по экспериментальным точкам для наглядности. Статистические ошибки V_μ не превышают 1%

Экспериментальные зависимости $V_\mu(H)$ для железа и никеля приведены на рисунке. Зависимость $V_\mu(H)$ для $H < 1900$ э была опубликована ранее [1]. Из рисунка видно, что при малых H ($H < 700$ э для Ni и $H < 2000$ э для Fe) V_μ не зависит от H . Это, возможно, объясняется эффектом экранирования. При больших значениях H зависимость $V_\mu(H)$ такова, что изменение ΔV_μ при изменении ΔH соответствует гиромагнитному отношению свободного μ^+ -мезона, как это и должно быть для насыщенного ферромагнетика. Немонотонная зависимость $V_\mu(H)$ для железа — при $H = 2 + 6$ кэ V_μ уменьшается с увеличением H — означает, что намагниченное железо создает на μ^+ -мезоне магнитное поле, направленное в сторону, противоположную вектору намагниченности M . В никеле при $H > 700$ э V_μ растет с увеличением H , т. е. направления V_μ и H всегда совпадают.

Следует отметить, что выполненное в этой работе определение направления V_μ в железе не согласуется с определением направления прецессии спина μ^+ -мезона (т. е. направления V_μ) методом сдвигаения вбок телескопа счетчиков, регистрирующих позитроны $\mu^+ \rightarrow e^+$ -распада [1].

Правда, степень достоверности определения направления V_μ этим последним методом в работе [1] была невелика.

Антипараллельность векторов V_μ и M для железа может быть объяснена действием на спин μ^+ -мезона контактного поля

$$V_K = \frac{8}{3} \pi \beta |\psi(0)|^2 p_e \quad (2)$$

электронов проводимости, поляризованных против направления намагниченности. Здесь p_e — поляризация электронов проводимости, $|\psi(0)|^2$ — электронная плотность на μ^+ -мезоне, β — магнитный момент электрона. Контактное поле V_K составляет часть локального поля V_μ :

$$V_\mu = V_K + V_g, \quad (3)$$

где V_g — дипольное магнитное поле намагниченных атомов железа.

При определении V_g следует учесть быструю диффузию μ^+ -мезонов в железе при комнатной температуре [2], благодаря которой дипольные поля от ближайших к μ^+ -мезону атомов усредняются и остается только дипольное поле в сфере Лоренца $V_g = \frac{4}{3} \pi M$. Считая что намагниченность M максимальна $M = M_{\text{нас}}$ ($M_{\text{нас}}$ — намагниченность насыщения), получим для железа $V_g = 7 \text{ кГс}$. Используя экспериментальное значение $V_\mu = 3,5 \text{ кГс}$ (см. рисунок и работу [1]), из соотношения (3) находим V_K : $V_\mu = V_K - V_g$, $V_K = 7 + 3,5 = 10,5 \text{ кГс}$.

Найденное значение $V_K = 10,5 \text{ кГс}$ позволяет определить поляризацию p_e электронов проводимости в железе. Величина p_e определяется из формулы (2) и зависит от электронной плотности $|\psi(0)|^2$ на μ^+ -мезоне. Максимальное значение $|\psi(0)|^2 = |\psi(0)|_{M\mu}^2$, отвечающее связанному состоянию — атому мюония, при $p_e = 1$ соответствует $V_K = 160 \text{ кГс}$. Таким образом, минимально возможная поляризация p_e при $V_K = 10,5 \text{ кГс}$ оказывается равной $(p_e)_{\text{max}} = 0,065$. При меньшем значении $|\psi(0)|^2$, которое может соответствовать "раздутому" мюонию или отсутствию связанного состояния системы мюон-электрон в железе, величина p_e получается более высокой. Следует отметить, что минимально возможное значение $|\psi(0)|^2$ близко к средней величине плотности электронов проводимости в железе, которая лишь в ~ 10 раз (считая по два электрона проводимости на атом) меньше электронной плотности вакуумного мюония. Качественная оценка, проведенная в работе [1], показывает, что в том случае, когда мюоний не образуется, $|\psi(0)|^2$ для железа равно $|\psi(0)|^2 \approx 0,3 |\psi(0)|_{M\mu}^2$, что приводит к значению $p_e = 0,2$.

Большая величина p_e , полученная в этих расчетах, указывает, возможно, на существование в железе связанного состояния мюония.

Величина p_e для никеля определена в работе [1].

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] И.И.Гуревич, А.Н.Климов, В.Н.Майоров, Е.А.Мелешко, Б.А.Николь-
ский, В.С.Роганов, В.И.Селиванов, В.А.Суетин. Письма в ЖЭТФ, 18,
564, 1973.
- [3] M.L.G.Foy, N.Heiman, W.J.Kossler, C.E.Stonach. Phys. Rev. Lett.,
30, 1064, 1973.
- [4] B.D.Patterson, K.M.Crow, F.N.Gyax, R.F.Johnson, A.M.Portis,
J.H.Brewer. Phys. Lett., 46A, 453, 1974.
- [5] M.V.Stearns. Phys. Lett., 47A, 397, 1974.
-