

84-285



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P14-84-255

Б.В.Васильев

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ В МЕТАЛЛАХ,
ВОЗНИКАЮЩАЯ ПРИ ИХ ВРАЩЕНИИ

Направлено в журнал "Письма в ЖЭТФ"

1984

Возможность возникновения электрической поляризации в металлах под действием тяготения, в частности, при вращении металлов, неоднократно рассматривалась теоретически^{/1,2/}. Считается установленным, что напряженность электрического поля E , которая может возникнуть в металле под действием гравитации, по порядку величины определяется равенством

$$E = \frac{mg}{e} = \frac{\nabla p}{n \cdot e}; \quad /1/$$

здесь m - масса иона, e - заряд электрона, g - ускорение свободного падения, $p = \mu g x$ - гидростатическое давление, μ - плотность металла, n - плотность электронов в металле.

Впервые попытка обнаружить это явление экспериментально была предпринята П.Н.Лебедевым^{/3/} еще в 1911 г., а потом несколько раз повторялась другими исследователями^{/4/}.

Мы для обнаружения этого эффекта использовали высокочувствительную магнитометрическую аппаратуру на основе сквида^{/5/}.

В установке, эскиз которой показан на рис.1, ампула - цилиндр из титана⁴ длиной 110 мм с наружным диаметром 28 мм и с внутренним диаметром 23 мм, заполненный исследуемым металлом⁵ /жидкой ртутью, твердым свинцом/. Для контроля был изготовлен подобный сплошной цилиндр из титана. Такой цилиндр приводился во вращение с помощью быстроходного электродвигателя 19, вынесенного из чувствительного объема. Вращение передавалось через тонкую прочную немагнитную проволоку 17. Вместе с приводом ампула помещалась в антикриостат 8, 9, т.е. в теплый объем внутри гелиевого криостата 18. Измерение возникающего от вращения ампулы магнитного поля производилось с помощью высокочувствительного сквида 1, связанного с измеряемым объемом сверхпроводящим трансформатором 6. Сквид и

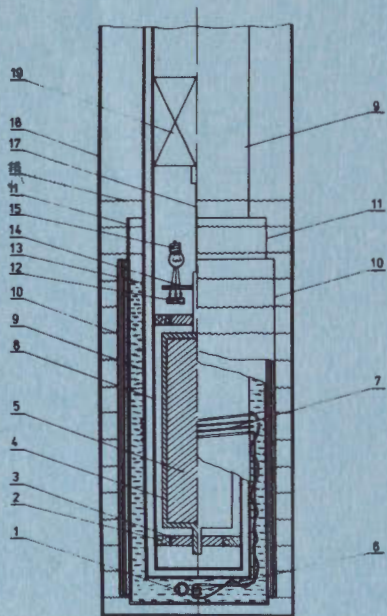


Рис. 1

и трансформатор защищались сверхпроводящим 11 и пермалловым 10 экранами. Скорость вращения ампулы измерялась с помощью прерывателя света 14, расположенного между лампочкой 15 и фотоэлементом 12. Температура ампулы в опыте поддерживалась неизменно ниже комнатной за счет теплопритока по медной трубе антикриостата. Калибровка осуществлялась путем замены ампулы эталонным соленоидом с током.

При реализации опыта были выявлены и устранены три основных вида помех:

1. Механические микровибрации сквида и трансформатора в поле экранов подавлялись тщательной балансировкой и виброизоляцией ампул, а также заклеивкой сквида и экрана глицерином, который, затвердевая, предохранял их от смещений.

2. Внешние помехи подавлялись свинцовым сверхпроводящим экраном в достаточной степени^{/6/}.

3. Большие трудности создавала борьба с паразитным эффектом, линейным по ω , возникающим при вращении проводящего тела в магнитном поле^{/7/}. Его подавление до допустимой величины /~ на 3 порядка/ было достигнуто компенсацией земного магнитного поля перед заливкой гелия в криостат с помощью двух систем из 1,5-метровых колец Гельмгольца /не показанных на рисунке/ и с помощью пермаллового экрана /10/.

После подавления указанных помех чувствительность установки была не хуже $10^{-2} \phi_0$ ($\phi_0 = 2 \cdot 10^{-7}$ Э.см²).

Впервые магнитное поле, возникающее от вращения ампулы, было зарегистрировано нами год назад^{/8/} на ампуле с жидкой ртутью. Эти измерения показали, что возникающее поле имеет близкую к кубической зависимость от частоты

$$\phi = A \cdot \nu^3 \quad /2/$$

Если ϕ выразить в единицах ϕ_0 , а $\nu = \omega / 2\pi$ - частоту вращения ампулы - в оборотах в секунду (в опытах достигалась частота до $500 \div 600$ об./с), то размерная константа для ртути получится $A = 15,2 \pm 0,6 \cdot 10^{-6} \phi_0 / \text{Гц}^3$. Из-за того, что в этих опытах ошибки имели не статистический характер, а определялись, видимо, бием ртуты внутри ампулы, эти результаты мы здесь приводим как предварительные.

На рис.2 приведены результаты измерений для свинцового и титанового образцов; по оси абсцисс отложен куб частоты вращения ампулы, по оси ординат - магнитный поток в ампуле в единицах ϕ_0 . На основании этих результатов методом наименьших квадратов определено, что показатель степени для частоты в равенстве /2/ для свинца равен $3,12 \pm 0,05$, для титана - $3,14 \pm 0,08$, в то время как размерные константы A равны соответственно

$$\begin{aligned} \text{для свинца} & /12,63 \pm 0,02/ \cdot 10^{-6} \phi_0 / \text{Гц}^3, \\ \text{для титана} & /14,05 \pm 0,12/ \cdot 10^{-7} \phi_0 / \text{Гц}^3 \end{aligned} \quad /3/$$

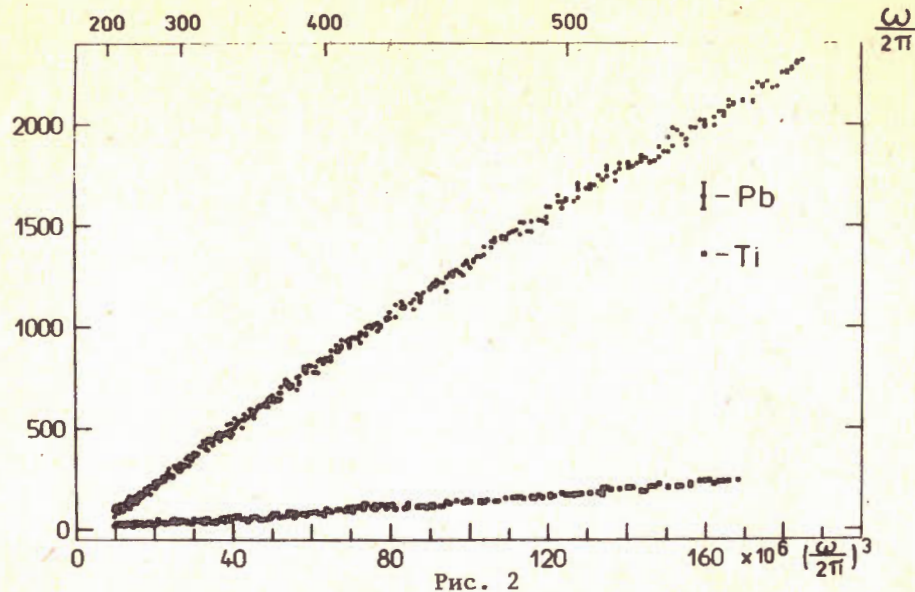


Рис. 2

Этот эффект больше уровня всех помех; он наблюдается на свинце совершенно надежно и виден без всякой обработки. Эффект на титане становится виден только после вычитания фона от линейного паразитного эффекта.

Самым важным обстоятельством является то, что обнаруженный эффект имеет величину, примерно на 8 порядков превышающую предсказания, даваемые формулой /1/.

Микроскопической теории этого явления разработать пока не удалось, но, по нашему мнению, феноменология его состоит в следующем. Формула /1/ получается, когда металл представляется в виде электрон-ионной плазмы. Однако в металлах существует экранировка Томаса-Ферми, благодаря которой электрон проводимости конденсируется в сфере радиуса Дебая-Хюкеля вблизи иона. В металлах, у которых решетка много жестче электронного газа, это не приводит к значительным следствиям. Но в металлах, у которых модуль всестороннего сжатия /МВС/ электронного газа V_e больше МВС ионной решетки V_i , действие гравитационной силы вызывает смещение иона и перераспределение заряда в паре: ион - сконденсированный на нем электрон проводимости. В результате у этой пары появляется дипольный момент. Условие равновесия в случае пренебрежимо малого МВС ионной решетки можно записать в виде

$$\mu g + d \nabla E - \nabla U = 0. \quad /4/$$

Здесь d - возникающий дипольный момент единицы объема, ∇E - градиент электрического поля, возникающего в металле, U - полный термодинамический потенциал электронного газа.

Так как по определению $V = -v \frac{dp}{dv}$, то при $p \ll p_0$

$$U(p_0 + p) = U(p_0) + p - \frac{p^2}{2V_e}. \quad /5/$$

Здесь p_0 - собственное давление электронного газа в металле. Если p - гидростатическое давление, получаем

$$d \nabla E = - \frac{p}{V_e} \cdot \nabla p \quad /6/$$

и, учитывая, что $E = -4\pi d$, имеем

$$\frac{E^2}{8\pi} = \frac{p^2}{2V_e}. \quad /7/$$

Приближенный учет реакции ионной решетки дает коэффициент $V_e / (V_e + V_i)$, и окончательно:

$$E = \sqrt{4\pi} \frac{p}{\sqrt{V_e}} \cdot \frac{V_e}{V_e + V_i}. \quad /8/$$

Если p создается вращением металлического цилиндра на центрифуге с частотой ω , то возникновение внутри него электрической поляризации ведет к созданию магнитного поля $\vec{H} = E \frac{\vec{\omega} \cdot \vec{r}}{c}$, и, в соответствии с /8/, магнитный поток внутри цилиндра будет

$$\vec{\phi} = \frac{\pi^{3/2} \mu \cdot r_0^5}{c \cdot \sqrt{V_e}} \left(\frac{V_e}{V_e + V_i} \right) \omega^3. \quad /9/$$

Здесь r_0 - внешний радиус цилиндра. Учитывая, что МВС для свинца /9/ $V(Pb) = V_e + V_i \approx 0,43 \cdot 10^{-12}$ дин/см² и для титана $V(Ti) = V_e + V_i \approx 1,05 \cdot 10^{-12}$ дин/см², а по расчетам и для свинца, и для титана $V_e \approx 0,27$ дин/см, приводя к виду /2/, получаем из расчета $A(Pb) = 10,8 \cdot 10^{-6} \phi_0 / \text{Гц}^3$ и для титана примерно в 5 раз меньше, что дает вполне удовлетворительное согласие с результатами эксперимента /3/.

Обнаруженный эффект позволяет объяснить физическую причину возникновения магнитного поля Земли и планет, а также обуславливает связь между работой выхода и сжимаемостью металлов /8/.

*Здесь учтено, что ампула создает неоднородное поле, и для приведения результата калибровки эталонным соленоидом с однородным полем расчетный результат должен быть поделен на коэффициент $\approx 4/7$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kumar N., Nandim R. Magnetic Field Due to the Self-Gravity Induced Electric Polarization of a Rotating Massive Body. Phys.Rev.D., 1973, vol. 7, No. 12, p. 3586-3589.
2. Reiger T.I. Gravitationally Induced Electric Field in Metals. Phys.Rev. B, 1970, vol. 2, p. 825.
3. Лебедев П.Н. Магнитометрическое исследование вращающихся тел. Журн. Русск.физ.-хим. Об-ва, часть физ., 1911, т. 45, с. 484.
4. Sirag S.-P. Gravitational Magnetism. Nature, 1979, vol. 278, p. 535-537.
5. Silver A.M., Zimmerman J.E. Josephson Weak-Link Devices In: "Applied Superconductivity". Academic Press, 1975, vol.1, p. 1-112.
6. Васильев Б.В. и др. Экранирование слабых магнитных полей сверхпроводящими оболочками. ЖТФ 1978, т. 48, вып. 9, с. 1934-1940.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М., ГИТТЛ, 1957, с. 265.
8. Васильев Б.В. ОИЯИ, P14-84-406, Дубна, 1983.
9. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. "Наука", М., 1978.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 мая 1984 года.

Васильев Б.В.

P14-84-255

Электрическая поляризация в металлах, возникающая при их вращении

Экспериментально показано, что во вращающемся металле под действием градиента давления возникает некоторая сепарация ионов и электронов, проявляющая себя в виде магнитного поля, пропорционального третьей степени частоты вращения.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой.

Vasiliev B.V.

P14-84-255

Electric Polarization in Metals Arising at Their Rotation

It is experimentally found that under action of the gradient of pressure in a rotating metal some separation of ions from electrons arises. This separation is demonstrated as the proportional to the third power of rotating frequency magnetic field.

The investigation has been performed at the Laboratory of Neutron Physics, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984