

Член-корреспондент АН СССР С. В. ВОНСОВСКИЙ и С. Г. САЛИХОВ

ПАРАМАГНИТНАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В МЕТАЛЛАХ

Методом реакции на генератор ⁽¹⁾ при наложении сильного постоянного магнитного поля $H_{\parallel}$ (до 10^4 эрст.), параллельного переменному магнитному полю $H_{\sim} = H_0 e^{i\omega t}$ частоты $5,46 \cdot 10^8$, $2 \cdot 10^8$, $7,5 \cdot 10^7$ и $7,5 \cdot 10^6$ гц, при комнатной температуре было исследовано парамагнитное поглощение энергии высокочастотного поля в ряде металлов.

Наши опыты были первоначально связаны с выяснением возможности наблюдать диамагнитный резонанс, предсказанный Я. Г. Дорфманом ^(2, 3). В итоге исследования в большом числе металлов было обнаружено интенсивное поглощение релаксационного характера, зависящее от напряженности поля $H_{\parallel}$. Отметим здесь, что впервые влияние поля $H_{\parallel}$ на поглощение в металлах было установлено Е. К. Завойским ⁽⁴⁾.

Опыты производились с металлическими порошками. Линейные размеры порошинок (порядка 10^{-4} — 10^{-5} см) были значительно меньше глубины проникновения электромагнитного поля в металл и, разумеется, гораздо меньше длины волны этого поля.

Исследуемые образцы имели вид цилиндров высотой 1 см и диаметром основания 1 см (целлулоидные цилиндрики плотно набивались мелким металлическим порошком и иногда заливались парафином). Эти образцы помещались в контур генератора в том месте, где электрическое поле было минимальным. Измерялось парамагнитное поглощение, характеризующее мнимой составляющей χ'' комплексной магнитной восприимчивости $\chi = \chi' - i\chi''$. В качестве обычного способа изучения парамагнитной релаксации измерялась зависимость χ'' от величины поля $H_{\parallel}$ при фиксированной частоте поля $H_{\sim}$.

Все исследуемые металлы были тщательно очищены от ферромагнитных загрязнений. Химическая чистота материала проверялась методом спектрального анализа и измерениями статической парамагнитной восприимчивости (при $T = 290^\circ \text{K}$). Полученные данные выражались в относительных единицах, различных для каждого металла.

Опыты показали, что все исследуемые металлы по характеру их парамагнитной релаксации могут быть разбиты на три группы. В качестве иллюстрации результатов измерений для первой группы на рис. 1 приведены данные для хрома, снятые при двух значениях частоты поля $H_{\sim}$: $\nu_1 = 5,46 \cdot 10^8$ гц и $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^7$ гц. По оси абсцисс

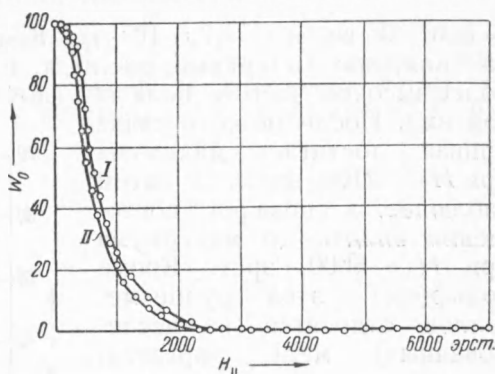


Рис. 1. Cr металлический в полях $H_{\parallel}$. $T = 290^\circ \text{K}$. I — $\nu_1 = 5,46 \cdot 10^8$ гц; II — $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^7$ гц

отложены значения поля $H_{\parallel}$ в эрстедах, а по оси ординат — величина поглощения W_0 , пропорциональная χ'' в условных единицах. Как видно из хода обеих релаксационных кривых рис. 1, величина W_0 резко падает с ростом поля $H_{\parallel}$. Кроме хрома, к этой группе металлов относятся (из исследованных материалов): ванадий, сурьма, свинец, осмий,

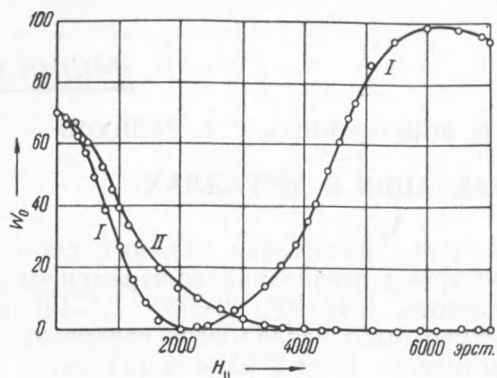


Рис. 2. W в полях $H_{\parallel}$, $T = 290^\circ\text{K}$. I — $\nu_1 = 5,46 \cdot 10^8$ гц, II — $\nu_0 = 7,5 \cdot 10^7$ гц

$= 5,46 \cdot 10^8$ гц и $\nu_2 = 7,5 \cdot 10^7$ гц. Кривая II (частота ν_2) имеет такой же вид, как и кривые рис. 1, т. е. резко падает с ростом $H_{\parallel}$. При более высокой частоте поля $H_{\parallel}$ (для ν_1 , кривая I) $W_0(H_{\parallel})$ имеет другой вид. После резкого спада кривая достигает минимума при $H_{\parallel} \sim 2100$ эрст., а затем наблюдается снова рост поглощения вплоть до максимума при $H_{\parallel} \sim 6000$ эрст. Кроме вольфрама к этой группе металлов относятся (из исследованных): медь, марганец, мышьяк, молибден, висмут, теллур и олово. Металлы этой группы при частоте $\nu = 7,5 \cdot 10^6$ гц, так же как и металлы 1-й группы, не дали эффекта.

На рис. 3 приведены кривые для третьей группы исследованных металлов — рутения и родия, снятые при одной частоте в $5,46 \cdot 10^8$ гц. Эти кривые при $H_{\parallel} = 0$ не показывают поглощения, оно растет с увеличением $H_{\parallel}$ и достигает максимума при полях порядка 6000 эрст. При более низких частотах $2 \cdot 10^8$, $7,5 \cdot 10^7$ и $7,5 \cdot 10^6$ гц рутений и родий не дали измеряемого эффекта.

Анализ экспериментального материала показывает, что наблюдаемые эффекты связаны по меньшей мере с двумя временами релаксации:

1) Временем релаксации ρ_1 , существованию которого обязана убывающая ветвь кривой $W_0(H_{\parallel})$. Это время, по крайней мере для большинства исследованных металлов, должно иметь порядок 10^{-8} сек. (в частности, у Os и Ir убывающая ветвь кривой была обнаружена лишь на одной частоте $2 \cdot 10^8$ гц).

2) Второе время релаксации ρ_2 ответственно за возрастающую ветвь кривой $W_0(H_{\parallel})$ и, повидимому, имеет порядок не больше 10^{-9} сек. (возрастающая ветвь кривой наблюдалась лишь при частоте $5,46 \cdot 10^8$ гц).

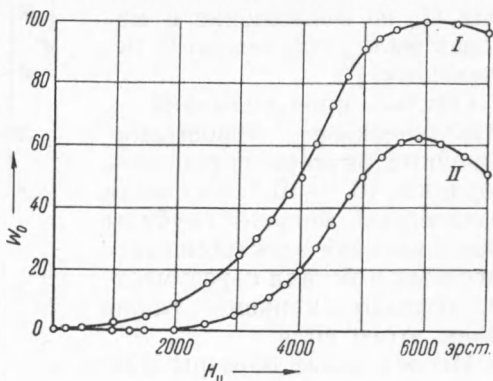


Рис. 3. I — Ru в полях $H_{\parallel}$, $T = 290^\circ\text{K}$, $\lambda = 55$ см; II — Rh в полях $H_{\parallel}$, $T = 290^\circ\text{K}$, $\lambda = 55$ см

Недавно Оверхаусер ⁽⁵⁾ произвел расчет времен релаксации электронных спинов в металлах. Им были рассчитаны времена релаксации, обусловленные спин-решеточным взаимодействием, взаимодействием электронных и ядерных спинов, различными типами магнитного взаимодействия между электронами, а также взаимодействием электронов с атомами примесей. Наиболее важным из всех процессов релаксации (с наименьшим временем релаксации $\sim 8 \cdot 10^{-7}$ сек. при комнатной температуре), по мнению автора, является магнитное взаимодействие между спиновыми магнитными моментами электронов и магнитными полями, вызываемыми трансляционным движением этих же электронов. Однако следует заметить, что исходная модель, принятая в работе ⁽⁵⁾ (газ свободных электронов) слишком груба, чтобы можно было доверять количественным расчетам, полученным в ней. Этот расчет должен быть уточнен в рамках многоэлектронной модели ⁽⁶⁾ в первую очередь для области низких температур (вблизи 0° K).

Наши экспериментальные данные показывают неудовлетворительность расчетов Оверхаусера. Какова бы ни была природа обнаруженных нами релаксационных явлений, несомненно, что порядок времен релаксации грубо расходится с оценками Оверхаусера.

Поступило
10 III 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Г. Салихов, ЖЭТФ, 17, 1070 (1947). ² Я. Г. Дорфман, ДАН, 81, 765 (1952). ³ С. А. Альтшулер, Б. М. Козырев, С. Г. Салихов, ЖЭТФ, 24, 503 (1953). ⁴ Е. К. Завойский, Докторская диссертация, ФИАН, 1944. ⁵ A. W. Overhauser, Phys. Rev., 8, 689 (1953). ⁶ Е. А. Туров, С. В. Вонсовский, ЖЭТФ, 24, 501 (1953).