
Отчёт по работе 3.4.1

Диа- и парамагнетики

Карташов Константин Б04-005

I Анотация

Цель работы: Измерение магнитной восприимчивости диа- и параметрических образцов.

Оборудование:

- ▷ электромагнит,
 - ▷ весы,
 - ▷ милливеберметр,
 - ▷ источник постоянного тока,
 - ▷ образцы диа- и парамагнетика.
-

II Теоретическая часть

i Краткие теоретические сведения

Магнитная восприимчивость тела может быть определена измерением сил, действующих на это тело в магнитном поле. Существуют два классических метода таких измерений: метод *Фарадея* и метод *Гюи*. В методе Гюи используется тонкий и длинный стержень, один из концов которого помещают в зазор электромагнита (в область однородного поля), а другой конец – вне зазора, где величиной магнитного поля можно пренебречь. Тогда сила, действующая на помещённый образец равна:

$$F_m = \left(\frac{\partial W_m}{\partial x} \right) \approx \chi \frac{B_0^2}{2\mu_0} S.$$

Знак силы зависит от восприимчивости χ : парамагнетики ($\chi > 0$) втягиваются в зазор электромагнита, а диамагнетики ($\chi < 0$) выталкиваются из него. Таким образом рассчитав силу действующую на образец в известном магнитном поле, можно рассчитать его магнитную восприимчивость.

ii Описание экспериментальной установки

Схема установки приведена на рис. 1. Она состоит из: **Электромагнита** с зазором. Поле в зазоре можно считать практически однородным так как размеры полюсов значительно превышают размер зазора. **Источника питания** с регулируемым постоянным током. Величина тока задаётся при помощи амперметра. Для градуировки электромагнита используется **милливеберметр**. **Весов** на которые подвешивается образец.

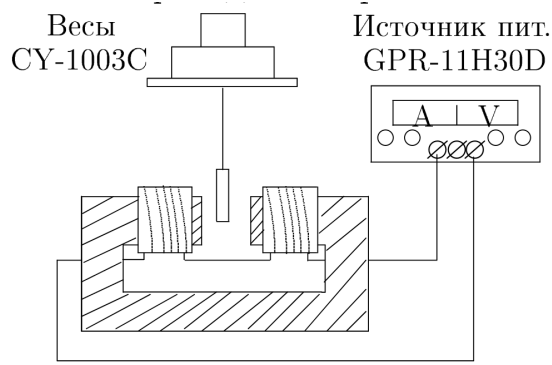


Рис. 1: Схема экспериментальной установки

III Экспериментальная часть

i Построение градуировочной прямой для электромагнита

Измерим индукцию магнитного поля в зазоре пользуясь милливеберметром, пользуясь формулой $B = \Phi/S_n$. Значение $S_n = 72 \text{ см}^2$. Измерим поток Φ между полюсами при различных значениях тока на обмотке электромагнита, и посчитаем индукцию. Результаты измерений предствалены в таблице 1, на основании который построен график 2. Погрешность измерения силы тока $\Delta I = 0.01 \text{ А}$, погрешность милливеберметра $\Delta \Phi = 0.05 \text{ мВб}$, и следовательно погрешность измерения $\Delta B = \Delta \Phi/S_n = 7 \text{ мТл}$.

$I, \text{ А}$	0.3	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0
$\Phi, \text{ мВб}$	0.4	1.3	2.7	3.6	4.5	5.4	6	6.7
$B, \text{ мТл}$	56	181	375	500	625	750	833	931

Таблица 1: Данные для градуировки электромагнита

ii Определение величины χ

Измерим перегрузку ΔP для образцов при различных значениях тока. Для этого снимим показания весов ΔM при различных значениях I и домножим на коэффициент g ($P = mg$). Данные занесём в таблицу 2, значения снятые при увеличении и уменьшении силы тока помечены значками \blacktriangle и \blacktriangledown соответственно.

Отметим измеренные значения на графике и проведём аппроксимирующие кривые пользуясь методом наименьших квадратов (рис. 3, 4, 5).

Получим значения χ и погрешности σ_χ пользуясь формулой:

$$\Delta P = \frac{\chi s}{2\mu_0} B^2 = \alpha B^2 \Rightarrow \chi = \frac{2\alpha\mu_0}{s} \Rightarrow \chi_{\text{уд}} = \frac{2\alpha\mu_0}{s\rho},$$

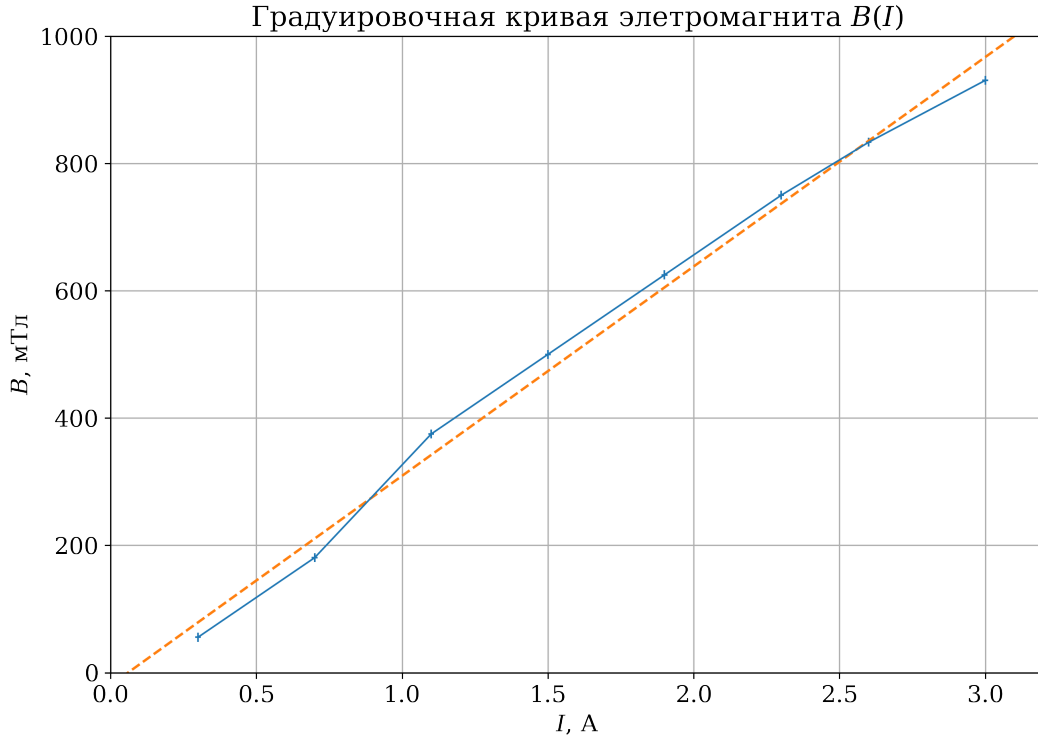


Рис. 2: График градуировочной кривой

где α – коэффициент наклона аппроксимирующей прямой рассчитанной пользуясь методом наименьших квадратов, s – площадь сечения образца $s = \pi d^2/4 = \pi/4 \text{ см}^2$.

Для **Cu** получаем:

$$\alpha_{\blacktriangle} = -(235 \pm 6) \cdot 10^{-6} \frac{\text{мкН}}{\text{мТл}^2} = -(235 \pm 6) \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{Тл}^2},$$

$$\alpha_{\blacktriangledown} = -(229 \pm 7) \cdot 10^{-6} \frac{\text{мкН}}{\text{мТл}^2} = -(229 \pm 7) \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{Тл}^2}.$$

Берём среднее $\alpha_{\text{Cu}} = -(2.3 \pm 0.1) \cdot 10^{-4} \text{ Н/Тл}^2$, из чего получаем:

$$\chi_{\text{Cu}} = -\frac{8\pi \cdot 10^{-7} \cdot (2.3 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0.005^2 \cdot 8960} = -(8.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Для **Al** получаем:

$$\alpha_{\blacktriangle} = (467 \pm 9) \cdot 10^{-6} \frac{\text{мН}}{\text{мТл}^2} = (467 \pm 9) \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{Тл}^2},$$

$$\alpha_{\blacktriangledown} = (462 \pm 11) \cdot 10^{-6} \frac{\text{мН}}{\text{мТл}^2} = (462 \pm 11) \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н}}{\text{Тл}^2}.$$

Берём среднее $\alpha_{\text{Al}} = (4.6 \pm 0.2) \cdot 10^{-4} \text{ Н/Тл}^2$, из чего получаем:

$$\chi_{\text{Al}} = \frac{8\pi \cdot 10^{-7} \cdot (4.6 \pm 0.2) \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot 0.005^2 \cdot 2700} = (5.6 \pm 0.3) \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

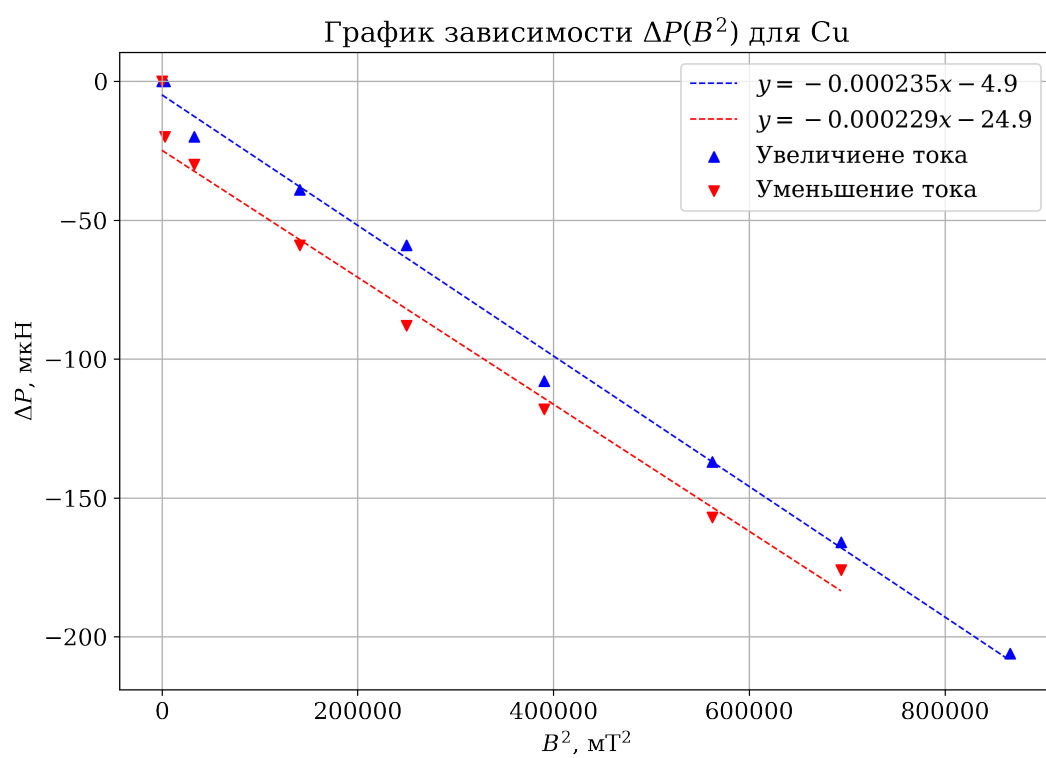


Рис. 3: График для Cu

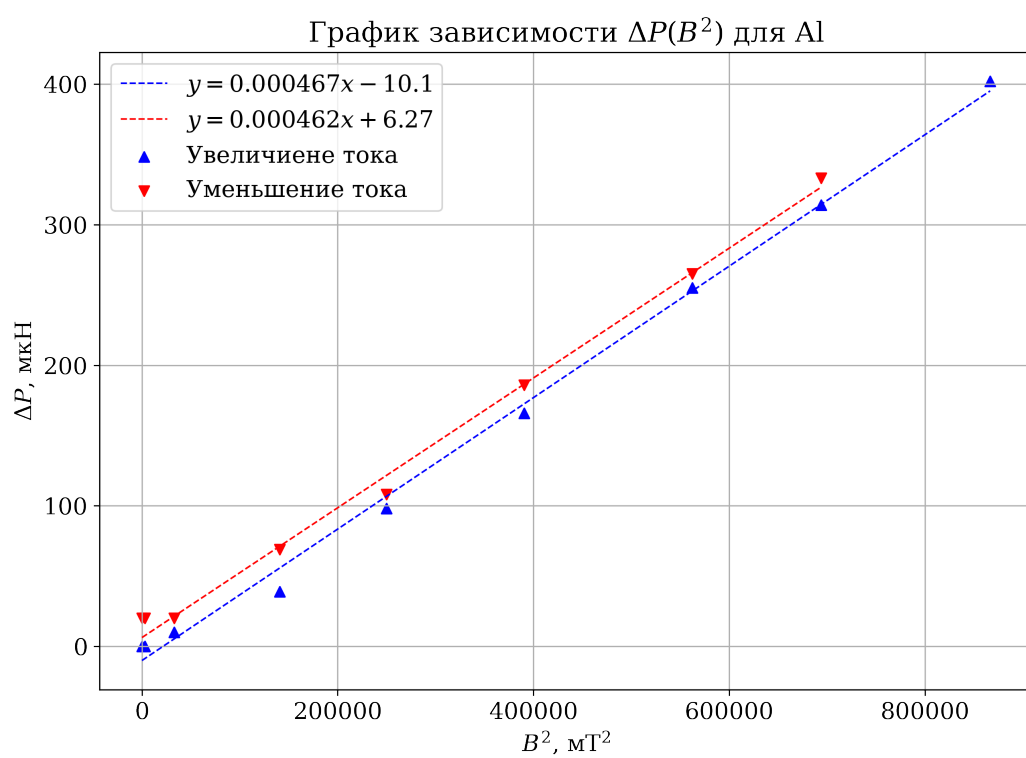


Рис. 4: График для Al

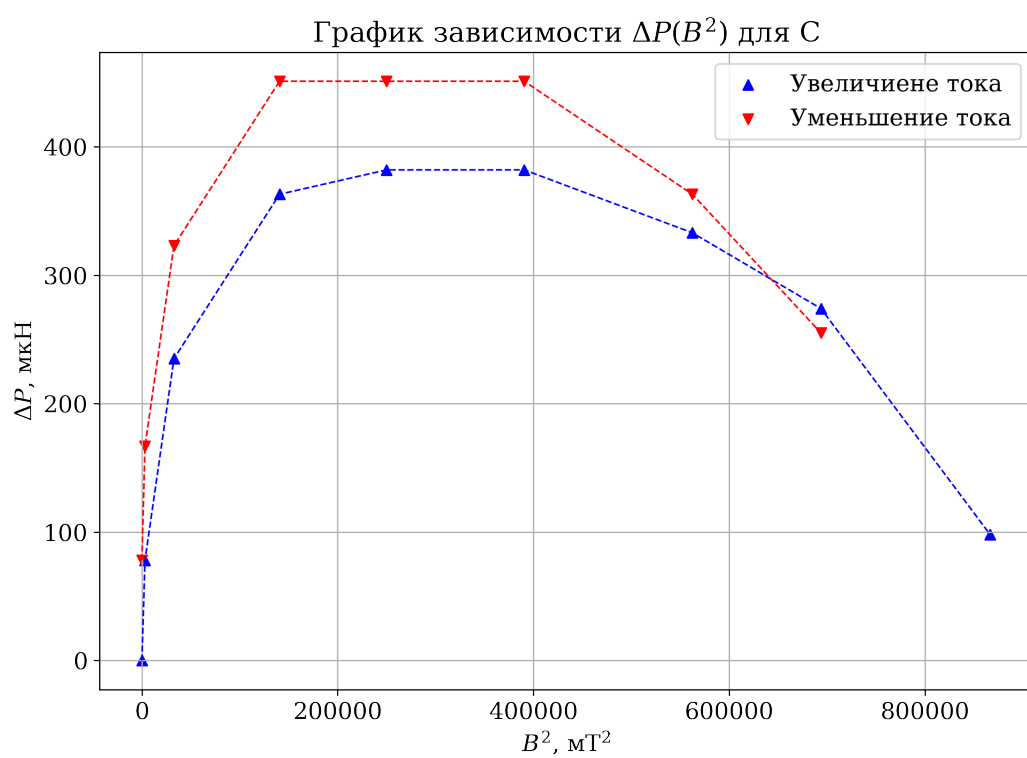


Рис. 5: График для С

I	0	0.3	0.7	1.1	1.5	1.9	2.3	2.6	3.0
$\Delta M \blacktriangle \text{Cu, мГ}$	0	0	-2	-4	-6	-11	-14	-17	-21
$\Delta M \blacktriangledown \text{Cu, мГ}$	0	-2	-3	-6	-9	-12	-16	-18	—
$\Delta P \blacktriangle \text{Cu, мкН}$	0	0	-20	-39	-59	-108	-137	-166	-206
$\Delta P \blacktriangledown \text{Cu, мкН}$	0	-20	-30	-59	-88	-118	-157	-176	—
$\Delta M \blacktriangle \text{Al, мГ}$	0	0	1	4	10	17	26	32	41
$\Delta M \blacktriangledown \text{Al, мГ}$	2	2	2	7	11	19	27	34	—
$\Delta P \blacktriangle \text{Al, мкН}$	0	0	10	39	98	166	255	314	402
$\Delta P \blacktriangledown \text{Al, мкН}$	20	20	20	69	108	186	265	333	—
$\Delta M \blacktriangle \text{C, мГ}$	0	8	24	37	39	39	34	28	10
$\Delta M \blacktriangledown \text{C, мГ}$	8	17	33	46	46	46	37	26	—
$\Delta P \blacktriangle \text{C, мкН}$	0	78	235	363	382	382	333	274	98
$\Delta P \blacktriangledown \text{C, мкН}$	78	167	323	451	451	451	363	255	—

Таблица 2: Снятые экспериментальные данные

Для **C** график получился нелинейным, что может быть связано с наличием в стержне из графита ферромагнитных примесей.

IV Выводы

Мы провели исследование поведения диа- и парамагнетиков в магнитном поле и показали, что выполняются зависимости лежащие в основе метода Гюи.

Мы нашли значения для удельной магнитной восприимчивости меди и алюминия, и получили значения:

$$\chi_{\text{Cu}} = -(8.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}, \quad \chi_{\text{Al}} = (5.6 \pm 0.3) \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Табличные значения:

$$\chi_{\text{Cu, табл.}} = -8.6 \cdot 10^{-10} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}, \quad \chi_{\text{Al, табл.}} = 6.1 \cdot 10^{-9} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}.$$

Видим, что измеренные значения достаточно близки
