

Московский Физико-Технический Институт
(государственный университет)

Отчёт о выполнении лабораторной
работы №3.4.1
Измерение магнитной восприимчивости
Диа- и Парамагнетиков

Баранников Андрей Б01-001

ФРКТ
Долгопрудный, 2021

Экспериментальная установка

Схема установки приведена на рис. 3.

Магнитное поле с максимальной индукцией $\simeq 1$ Т создаётся в зазоре электромагнита, питаемого постоянным током. Диаметр полюсов существенно превосходит ширину зазора, поэтому поле в средней части зазора достаточно однородно. Величина тока, проходящего через обмотки электромагнита, задаётся регулируемым источником питания GPR и измеряется амперметром А, встроенным в источник питания. Градуировка электромагнита (связь между индукцией магнитного поля B в зазоре электромагнита и силой тока I в его обмотках) производится при помощи милливеберметра.

При измерениях образцы поочерёдно подвешиваются к весам так, что один конец образца оказывается в зазоре электромагнита, а другой — вне зазора, где индукцией магнитного поля можно пренебречь. При помощи весов определяется перегрузка $\Delta P = F$ — сила, действующая на образец со стороны магнитного поля.

Силы, действующие на диа- и парамагнитные образцы, очень малы. Небольшие примеси ферромагнетиков (сотые доли процента железа или никеля) способны кардинально изменить результат опыта, поэтому образцы были специально отобраны.

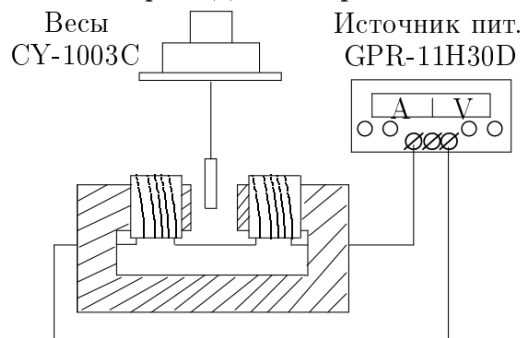


Рис. 3. Схема экспериментальной установки

Ход работы

Данные полученные при калибровке магнита [$B = f(I)$]

$$I_{max} = 1,1A$$

$$SN = 72 \text{ см}^2 = 72 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\Phi = BSN$$

I, A	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,95	1,1
Φ , мВб	1,5	2,6	3,8	4,8	6	6,7	7,7
B, Тл	0,21	0,36	0,53	0,67	0,83	0,93	1,07

Измерение сил, действующих на образец в магнитном поле.

I, A	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,95	1,1	0,95	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2
ΔP , Н $\cdot 10^3$	0,03	0,08	0,09	0,18	0,3	0,42	0,51	0,41	0,26	0,16	0,1	0,06	0,03

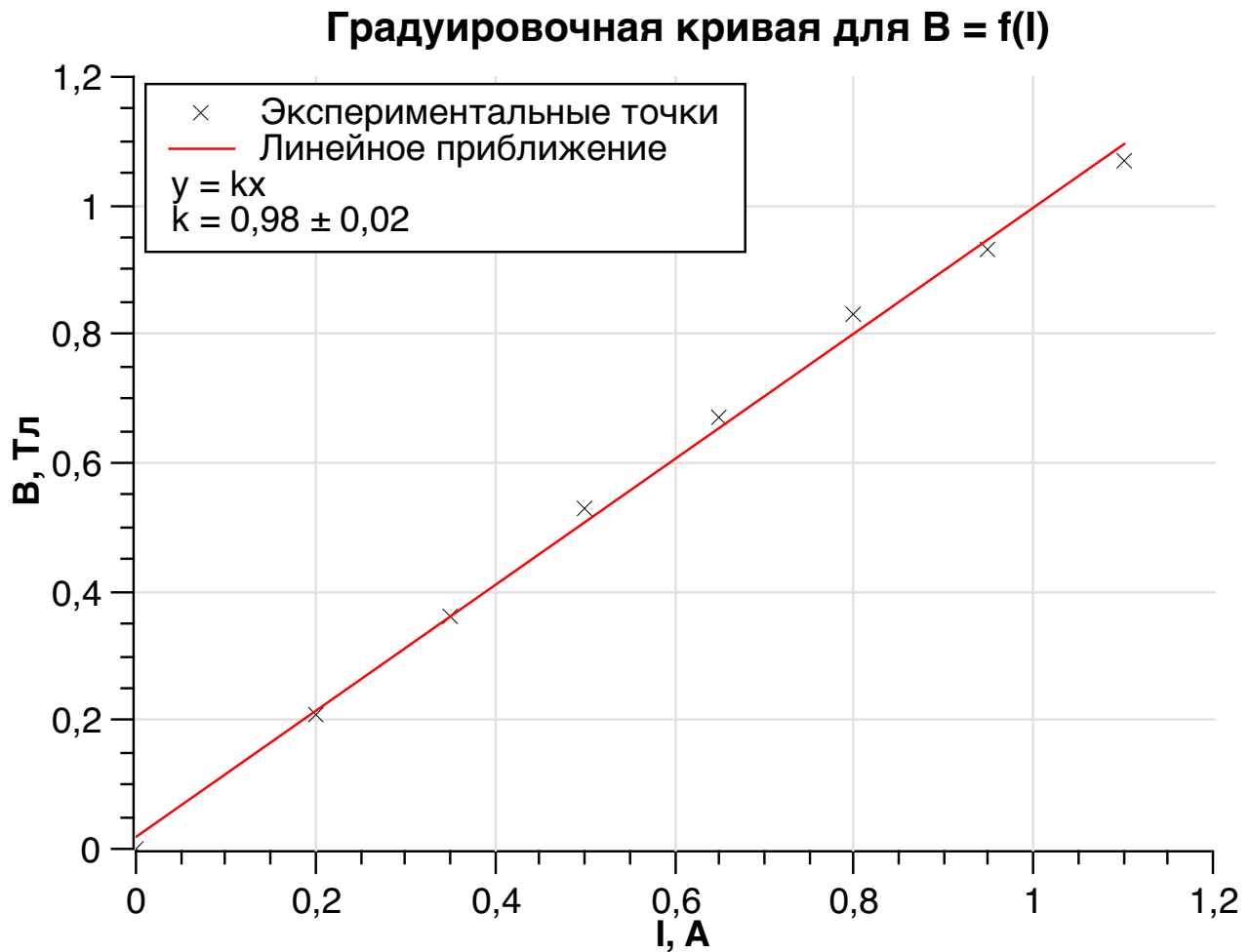
Таблица 1: Измерение сил, действующих на образец из Алюминия

I, A	0,2	0,35	0,5	0,65	0,8	0,95	1,1	0,95	0,8	0,65	0,5	0,35	0,2
ΔP , Н $\cdot 10^3$	0,06	0,04	0,01	-0,01	-0,06	-0,13	-0,18	-0,14	-0,04	-0,01	0,02	0,03	0,07

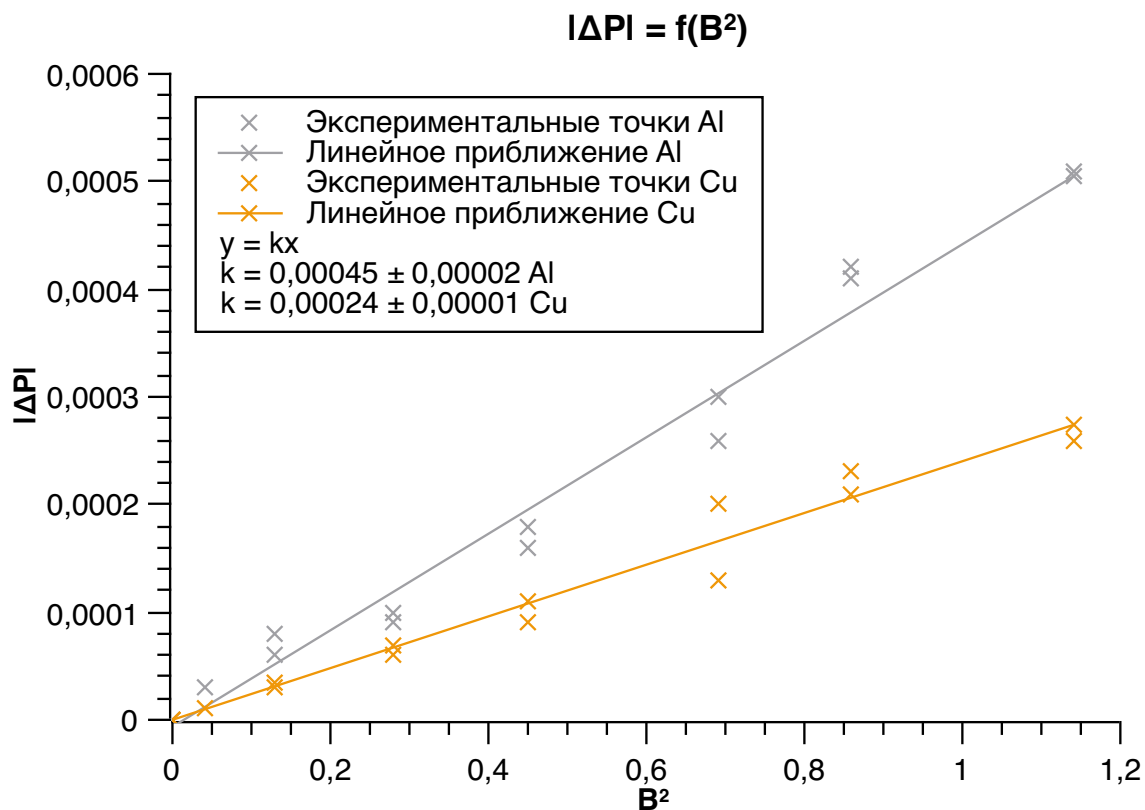
Таблица 2: Измерение сил, действующих на образец из Меди

Обработка результатов

Рассчитаю поле B и построю градуировочную кривую для электромагнита:



Помещая образцы в однородное магнитное поле, по методу Гюи, измеряя отклонение их равновесной массы без влияния электромагнита, и при разных токах, то есть при разных значениях магнитной индукции, получаем:



По приближённой формуле и наклонам графиком рассчитаем полученное значение магнитной восприимчивости.

$$\Delta P = F = \frac{\chi B^2 s}{2\mu_0}$$

$$\frac{\Delta P}{B^2} = \frac{\chi s}{2\mu_0}$$

$\chi_{\text{алюминия}} = (19,7 \pm 1,2) \cdot 10^{-6}$ при табличном значении $23 \cdot 10^{-6}$

$\chi_{\text{меди}} = (7,7 \pm 0,8) \cdot 10^{-6}$ при табличном значении $10,3 \cdot 10^{-6}$

Выводы: Удалось получить значения для магнитной восприимчивости, которые отличаются от табличных в пределах 20 %. Все вещества подвержены диамагнитному эффекту, который объясняется тем, что при изменении магнитного поля появляется вихревое электрическое, которое сообщает атому ларморовское вращение, из его представления видно, что это одно из проявлений электромагнитной индукции, которое по принципу Ленца препятствует изменениям внешнего приложенного поля B . Поэтому медный образец выталкивается из зазора электромагнита, и его восприимчивость отрицательна. У атомов парамагнетиков орбитальные, спиновые, ядерные моменты не компенсируют друг друга. Однако атомные магнитные моменты расположены беспорядочно, поэтому парамагнитное вещество не обнаруживает магнитных свойств, пока не возникает внешнее поле, которое поворачивает атомы парамагнетика так, что их магнитные моменты устанавливаются преимущественно в направлении поля. Важно отметить, что, как и в случае диамагнетизма, не магнитные силы сообщают подобные изменения, ведь они перпендикулярны к скорости электрона и работы не производят, а взаимодействие между атомами приводит к тому, что столкновения, устанавливающие магнитный момент атомов по полю, (что также поясняется меньшей энергией в таком положении) происходят чаще, чем те, который устанавливают магнитный момент атомов против.