

Министерство образования и науки Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

Исследование магнитного поля соленоида датчиком Холла

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 411 группы

направления 03.03.01 Прикладные математика и физика
Факультета нелинейных процессов
Никишина Александра Константиновича

Научный руководитель
ассистент кафедры нелинейной физики _____ Д.В. Романенко

Зав. кафедрой нелинейной физики
профессор, д.ф.-м.н. _____ Н.М. Рыскин

Саратов 2016 год

ВВЕДЕНИЕ

Магнитное поле - силовое поле, действующее на движущиеся электрические заряды и тела, обладающие магнитным моментом, независимо от состояния их движения.

Изучение магнитного поля началось в 1269 году, когда французский ученый Пётр Перегрин отметил магнитное поле на поверхности сферического магнита, применяя стальные иглы, и определил, что получающиеся линии магнитного поля пересекаются в двух точках, которые он назвал «полюсами» по аналогии с полюсами Земли. Почти три столетия спустя Уильям Гилберт Колчестер использовал труд Петра Перегрин и впервые определённо заявил, что сама Земля является магнитом. Опубликованная в 1600 году, работа Гилберта «De Magnete» заложила основы магнетизма как науки. Впервые термин «магнитное поле» ввёл в 1845 г. английский физик-экспериментатор Майкл Фарадей, считавший, что как электрические, так и магнитные взаимодействия осуществляются посредством единого материального поля. Классическая теория электромагнитного поля была создана британским физиком и математиком Джеймсом Максвеллом в 1873 г., квантовая теория разработана в 20-х годах XX века.

Источниками макроскопического магнитного поля являются намагниченные тела, проводники с током и движущиеся электрически заряженные тела. Природа этих источников едина: магнитное поле возникает в результате движения заряженных микрочастиц (электронов, протонов, ионов), а также благодаря наличию у микрочастиц собственного (спинового) магнитного момента. Переменное магнитное поле возникает также при изменении во времени электрического поля.

В настоящее время известно много разнообразных приборов и способов для измерения магнитной индукции, магнитного потока и напряженности магнитного поля. Как правило, прибор для измерения магнитных величин состоит из двух частей - преобразователя, назначением которого является

преобразование магнитной величины в величину иного вида (электрическую, механическую), более удобную для дальнейших операций, и устройства для измерения выходной величины преобразователя.

Основной целью данной работы является изучение особенностей индукции магнитного поля внутри соленоида. С использованием полученных результатов, будет составлено руководство по выполнению лабораторной работы для студентов 2 курса факультета нелинейных процессов.

Основное содержание работы

В работе использовался датчик Холла, который представляет собой полупроводниковую пластину с выводами и защитной оболочкой. Действие датчика основано на эффекте Холла, открытом Эдвином Холлом в 1879 г.

Эффектом Холла называется появление в проводнике с током плотностью j , помещённом в магнитное поле \mathbf{H} , электрического поля \mathbf{E}_x , перпендикулярного \mathbf{H} и j . Напряжённость такого поля равна:

$$\mathbf{E}_x = R\mathbf{H}j \sin \alpha,$$

где α - угол между векторами \mathbf{H} и J ,

R - называется коэффициентом Холла.

Широкое распространение датчики Холла получили с развитием полупроводниковых материалов. Они имеют целый ряд преимуществ:

- их можно использовать и как статический, и как динамический элементы;
- имеют малые линейные размеры;
- зависимость выходного напряжения от тока или поля линейна в больших диапазонах;
- передача сигнала происходит без искажений;
- датчики Холла можно соединять в различных комбинациях;
- у датчика схема питания простая и маломощная.

Но есть и недостатки. Например, неоднородность материалов при изготовлении. Отсюда большой разброс параметров в пределах одной партии, необходимость калибровки, некоторая нестабильность нуля.

Поставленная задача предусматривает выполнение двух экспериментов:

- 1- измерение распределения магнитной индукции вдоль оси катушки;
- 2- измерение энергии магнитного поля катушки с током.

Эксперименты проводятся с использованием модуля ФПЭ-04, которое представляет собой самостоятельное изделие и состоит из:

- верхней и нижней пластмассовых крышек поз. 1, 2, скреплённых между собой при помощи стоек;
- передней и задней панели поз. 3, 4, которые устанавливаются в пазы верхней и нижней крышек;
- катушки поз. 5, закреплённой между панелями, в которой вдоль её оси перемещается шток;
- в штоке поз. 6 находится датчик Холла; на штоке через 5 мм нанесены деления, с помощью которых ведётся отсчет перемещения датчика Холла вдоль оси катушки от её начала.

На передней панели графически изображена упрощенная схема электрическая принципиальная, установлены два гнезда поз. 7, к которым подключается прибор для измерения ЭДС датчика Холла, разъём поз. 8, через который подается питание и снимается сигнал с датчика, а также планка с винтом поз. 9, для фиксации штока в катушке. На задней панели установлен разъём поз. 10 для питания модуля и клемма заземления поз. 11.

При измерении распределения магнитной индукции внутри катушки вдоль её оси перемещается шток, в котором закреплён датчик Холла. При нормальной работе устройства в датчике возникает ЭДС Холла, которая пропорциональна индукции магнитного поля и замеряется модулем ФПЭ-М890G, входящим в состав установки.

Первоначальной задачей было восстановление работоспособности модуля ФПЭ-04, для чего была собрана миниатюрная электронная схема в соответствии с рисунком 1.

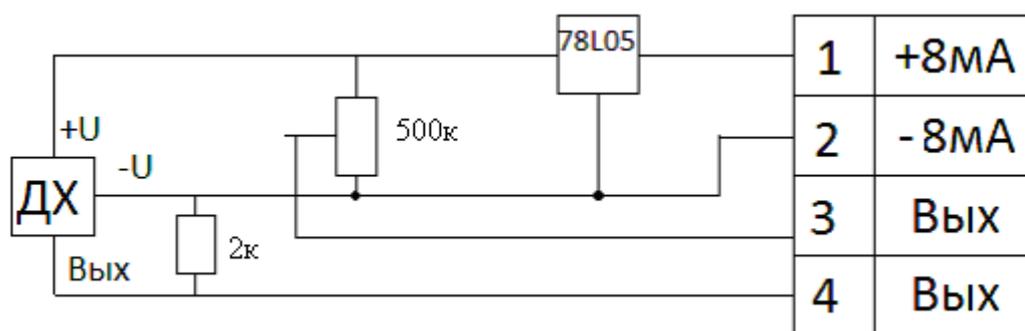


Рисунок 1 - Электронная схема подключения датчика Холла

Датчик Холла подбирался согласно паспорту на установку - SS49 аналог 400G биполярный ТО-92. Электронная схема была вмонтирована в шток. После подключения штока к блоку ФПЭ-04 через разъём 8, производилась калибровка установки.

В одну и ту же точку внутри соленоида помещались поочередно зонд гауссметра и шток с датчиком Холла. Изменяя ток в катушке с помощью внешнего блока питания, определяли:

- гауссметром - значения индукции магнитного поля **B** (мТл),
- датчиком Холла и мультиметром, подключенным к установке (рисунок 4) - значение напряжения U (мВ).

Полученные данные заносились в таблицу.

Изме- рение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I , мА	0,29	0,37	0,47	0,57	0,67	0,77	0,87	0,97	1,07	1,17
B , мТл	6,33	4,797	8,38	10,10	12,04	13,93	15,84	17,78	19,6	21,6
U , мВ	815	819	831	844	858	874	887	901	919	934

Таблица 1 - Калибровка модуля ФПЭ-04.

По данным таблицы был построен градуировочный график, рассчитан калибровочный коэффициент и выведена формула для перевода значений измеряемого напряжения в единицы индукции магнитного поля. Расчеты

производились с помощью специализированной расчетной программы «Wolfram Mathematica».

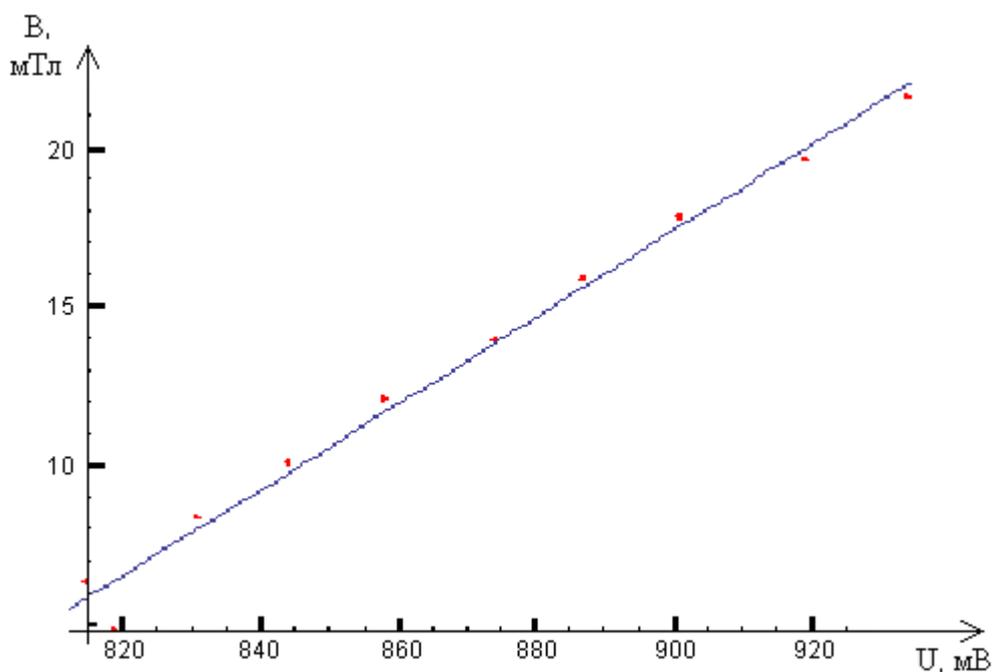


Рисунок 2 - Градуировочный график, полученный в ходе калибровки датчика Холла

Формула пересчета имеет вид:

$$B = 104,939 + 0,135889 U_i \text{ (мТл), где}$$

U_i – значение напряжения в точке i (мВ);

$104,939$; $0,135889$ – калибровочные коэффициенты пересчета для данного датчика.

Измерение распределения индукции магнитного поля вдоль оси соленоида.

С помощью метрической шкалы, нанесённой на штоке, было проведено измерение напряжения U (мВ) в точках, равноудалённых от центра соленоида, с шагом 5 мм. Используя градуировочный график и формулу пересчёта, можно рассчитать значения индукции магнитного поля в этих точках (см. таблицу 2).

№ п\п	U, мВ	Длина штока	Индукция магнитного поля В, мТл	№ п\п	U, мВ	Длина штока	Индукция магнитного поля В, мТл	№ п\п	U, мВ	Длина штока	Индукция магнитного поля В, мТл
1	820	105	6,48986	14	944	40	23,3401	27	936	-25	22,253
2	831	100	7,98463	15	945	35	23,476	28	933	-30	21,8453
3	848	95	10,2947	16	946	30	23,6119	29	929	-35	21,3017
4	865	90	12,6049	17	946	25	23,6119	30	924	-40	20,6223
5	883	85	15,0509	18	947	20	23,7477	31	918	-45	19,807
6	896	80	16,8174	19	947	15	23,7477	32	912	-50	18,9916
7	908	75	18,4481	20	946	10	23,6119	33	904	-55	17,9045
8	918	70	19,807	21	944	5	23,3401	34	895	-60	16,6815
9	926	65	20,8941	22	944	0	23,3401	35	884	-65	15,1867
10	932	60	21,7094	23	943	-5	23,2042	36	870	-70	13,2843
11	936	55	22,253	24	942	-10	23,0683	37	853	-75	10,9742
12	940	50	22,7965	25	940	-15	22,7965	38	837	-80	8,79997
13	943	45	23,2042	26	938	-20	22,5247	39	820	-85	6,48986

Таблица 2 - Измерение распределения индукции магнитного поля вдоль оси соленоида.

По результатам эксперимента была построена графическая зависимость (см. рисунок 7).

Для проверки возможности использования результатов, получаемых на восстановленной установке, в составе лабораторных практикумов было проведено сравнение с расчетной зависимостью распределения индукции магнитного поля вдоль оси соленоида, построенной по формуле, выведенной из уравнения Био-Савара-Лапласа для катушки конечной длины:

$$B(y) = \frac{\mu_0 n I}{2} R \int_{-\frac{l}{2}-y}^{\frac{l}{2}-y} \frac{dz}{(R^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$$

Построение было выполнено с помощью специализированной расчетной программы «Wolfram Mathematica»

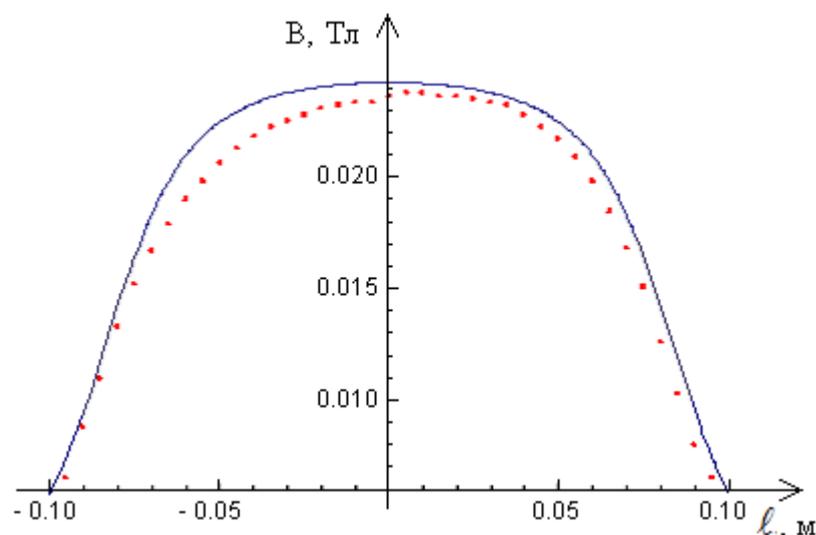


Рисунок 3 - Распределение индукции магнитного поля вдоль оси соленоида

— расчётная зависимость индукции магнитного поля

••• экспериментальная зависимость индукции магнитного поля

Незначительное расхождение экспериментальной и идеальной кривых свидетельствует о возможности использования установки в ходе практических работ в составе лабораторных практикумов.

Измерение энергии магнитного поля катушки с током

Идея опыта вытекает из закона сохранения энергии. При размыкании цепи питания катушки на её концах возникает ЭДС самоиндукции. Путь для зарядов открыт по цепи: катушка L , диод VDI и конденсатор C . После достижения напряжением на конденсаторе максимального значения, оно остаётся неизменным, если измерительный прибор (например, осциллограф) не отбирает заряд. При использовании мультиметра отсчет напряжения следует производить как можно быстрее.

Проведение эксперимента по второй части лабораторной работы предусмотрено возможностями модуля ФПЭ-04. Для его выполнения необходимо:

- переключить мультиметр с передней панели модуля на заднюю;
- использовать для прерывания цепи тумблер на задней панели модуля (положение «вниз» - блок питания подключен, по катушке течёт ток;

положение «вверх» - блок питания отключен, измерение заряда конденсатора мультиметром).

Измерения проводились при разных значениях тока, протекающего через катушку (см. таблицу 3).

измерение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I_k, A	0,29	0,39	0,49	0,59	0,69	0,79	0,89	0,99	1,09	1,19	1,2
$U_c, \text{В}$	13,31	14,93	23,4	29,0	33,7	37,3	42,5	47,4	51,2	56,4	57,0

Таблица 3- Результаты измерений при размыкании цепи питания катушки

По данным, полученным в ходе эксперимента, был построен график зависимости $I_k^2 = f(U_c^2)$ (рисунок 9).

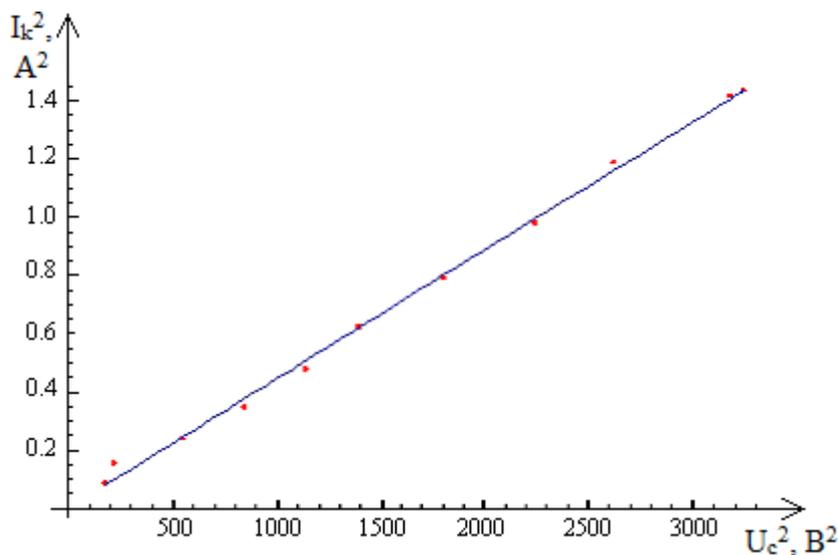


Рисунок 4 - Зависимость тока, подаваемого на катушку I_k^2 от напряжения на конденсаторе U_c^2

Уравнение аппроксимирующей прямой можно записать в виде

$$I_k^2 = 0,00482005 + 0,00044133 U_c^2,$$

где 0,00482005 – потери энергии на активном сопротивлении.

Для расчета индуктивности катушки L использовалась формула:

$$L = C * U_c^2 / I_k^2,$$

где C – ёмкость конденсатора, равная 30мкФ;

U_c - напряжение на пластинах конденсатора C (В);

I_k - сила тока на катушке (А).

$$L=0.0679763 \text{ Гн}$$

Расчёт энергии магнитного поля w_m производится по формуле:

$$w_m = L * I_k^2 / 2$$

Результаты расчёта занесены в таблицу 4.

изме- рение	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_k, \text{ А}$	0,29	0,39	0,49	0,59	0,69	0,79	0,89	0,99	1,09	1,19
$w_m,$ Дж*10 ⁻⁵	286	517	816	1183	1618	2121	2692	3331	4038	4813

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы бакалавра были выполнены следующие поставленные задачи:

- восстановлена работоспособность модуля ФПЭ-04, предназначенного для проведения лабораторных работ по исследованию индукции магнитного поля соленоида;
- произведена калибровка датчика Холла;
- выполнена эталонная работа с использованием датчика Холла;
- выполнена работа по измерению энергии магнитного поля соленоида и потерь энергии на активном сопротивлении провода катушки;
- по данным эксперимента произведен расчет индуктивности.

На основании полученных данных разработано методическое пособие по практическому исследованию индукции магнитного поля соленоида для студентов 2 курса факультета нелинейных процессов.