

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет
Кафедра общей физики
Якупова Алсу Рашитовна

КУРСОВАЯ РАБОТА
Изготовление магнитного экрана

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №18307

Научный руководитель:

Девятайкина Татьяна
Александровна
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

к.ф.-м.н. Харламов Алексей
Георгиевич
Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.
Итоговая оценка
к.т.н. Астрелин В.Т.

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

1. Введение

Магнитное экранирование (магнитная защита) - защита объекта от воздействия магнитных полей (постоянных и переменных).

Современные исследования в ряде областей наук (физика, геология, палеонтология, биомagnetизм) и техники (космические исследования, атомная энергетика, материаловедение) часто связаны с измерениями очень слабых магн. полей $\sim 10^{-14}$ - 10^{-9}

Тл в широком частотном диапазоне. Внешние магнитные поля (например, поле Земли $\approx 5 \cdot 10^{-5}$ Тл с шумом $\approx 5 \cdot 10^{-12}$ Тл, магнитные шумы от электрич. сетей и городского транспорта) создают сильные помехи для работы высокочувствит. магнитометрич. аппаратуры. Уменьшение влияния магн. полей в сильной степени определяет возможности проведения магнитных измерений.

Среди методов магнитного экранирования наиболее распространены следующие:

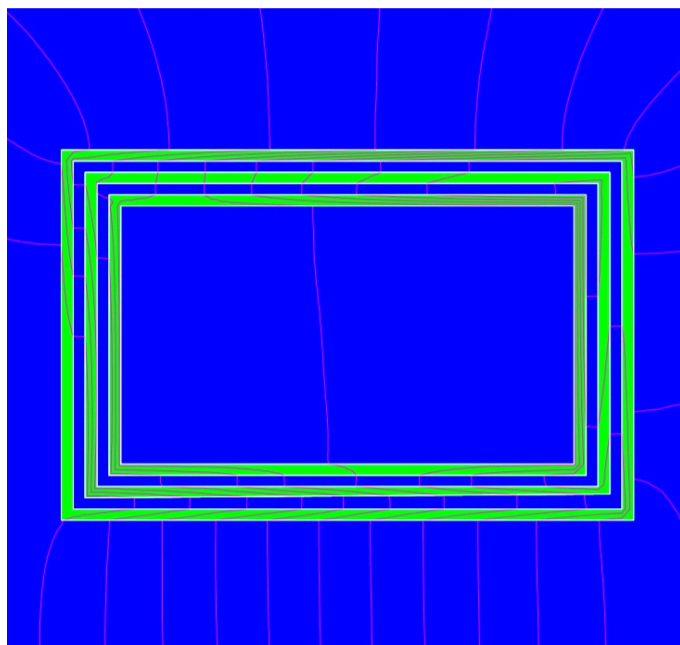


Рис. 1 Экранирующее действие магнитного экрана из ферромагнитного вещества с $\mu \gg 1$

Остаточное магнитное поле $B_{\text{внутр.}} \ll B_{\text{внеш.}}$ внутри экрана.

Ферромагнитный экран -

лист, цилиндр, сфера (или оболочка какой-либо иной формы) из материала с высокой

магнитной проницаемостью μ ,

низкой остаточной индукцией B_r и малой коэрцитивной силой H_c . Принцип

действия такого экрана можно проиллюстрировать на примере Рис. 1. Линии индукции внешнего

магнитного поля $B_{\text{внеш}}$ при переходе из среды с $\mu \ll \mu_{\text{экр.}}$

в материал

экрана заметно сгущаются, а в полости цилиндра густота линий индукции уменьшается, т. е. поле внутри

цилиндра оказывается ослабленным. Ослабление поля описывается ф-лой

$$\frac{B_{\text{внутр.}}}{B_{\text{внеш.}}} \approx \frac{D}{\mu_{\text{экр.}} d} \quad (1)$$

где D - диаметр цилиндра, d - толщина его стенки, $\mu_{\text{экр.}}$ -

магнитная проницаемость материала стенки. Для

расчёта эффективности магнитных

экранов объёмов различной конфигурации часто используют ф-лу

$$K = B_{\text{внеш.}}/B_{\text{внутр.}} = 0,22\mu_{\text{экр.}} [1 - (1 - d/R_{\text{эф.}})^3], \quad (2)$$

$$K = \frac{B_{\text{внеш.}}}{B_{\text{внутр.}}} = 0,22 \times \mu_{\text{экр.}} \times \left(1 - \left(1 - \frac{d}{R_{\text{эф.}}}\right)^3\right) \quad (2),$$

где $R_{\text{эф.}}$ -

радиус эквивалентной сферы (практически ср. значение размеров экрана в трёх взаимноперпендикулярных направлениях, т. к. форма экрана мало влияет на эффективность М. э.).

Из ф-

л (1) и (2) следует, что использование материалов с высокой магн.

Проницаемостью $\mu_{\text{экр.}} \sim 10^3 - 10^4$ (таких, как пермаллой (36-85% Ni, остальное Fe и легирующие добавки) или мю-

металл (72-

76% Ni, 5% Cu, 2% Cr, 1% Mn, остальное Fe)) существенно улучшает качество экранов (у железа $\mu \approx$

20^0). Кажущийся очевидным способ улучшения экранирования за

счёт утолщения стенки не оптимален. Эффективнее работают многослойные экраны с промежутками между слоями, для к-

рых коэф. Экранирования $K = \frac{B_{\text{внеш.}}}{B_{\text{внутр.}}}$

равен произведению коэффициентов для отдельных слоев. Именно многослойные экраны (внешние слои из магнитных материалов, насыщающихся при высоких значениях B , внутренние - из пермаллоя или мю-металла) составляют основу конструкций магнитозащищённых комнат для биомагнитных, палеомагнитных и т. п. исследований. Следует отметить, что применение защитных материалов типа пермаллоя связано с рядом трудностей, в частности с тем, что их магн. свойства при деформациях и, значит. нагревах ухудшаются, они практически не допускают сварки, значит изгибов и других механических нагрузок. В современных магнитных экранах широко применяются ферромагнитные *металлические стёкла* (метглассы), близкие по магн. свойствам к пермаллою, но не столь чувствительные к механич. воздействиям. Полотно, сотканное из полосок метгласса, допускает изготовление мягких магн. экранов произвольной формы, а многослойное экранирование этим материалом много проще и дешевле.

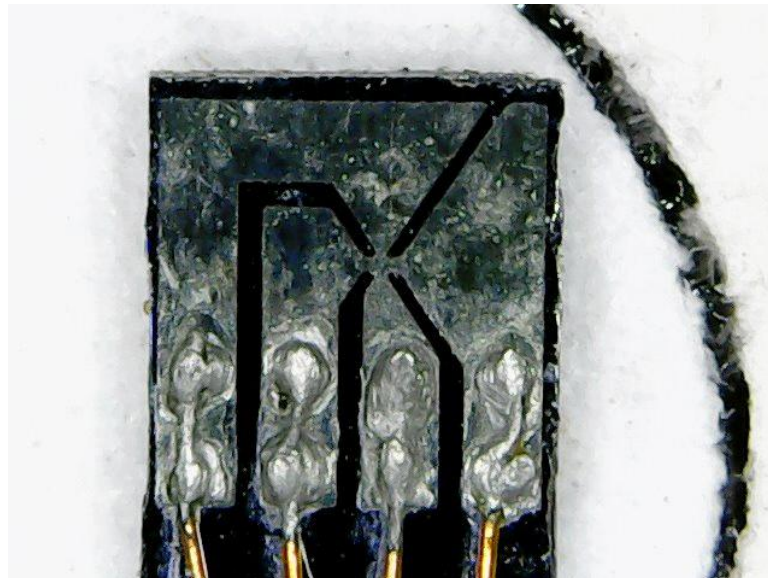


Рис. 2 Датчики Холла

В данной работе для измерения магнитного поля внутри экрана использовались датчики Холла. Принцип работы датчиков основан на эффекте Холла.

Принципы работы магнитных датчиков

В работе применяются датчики, основанные на эффекте Холла. В простейшем случае эффект Холла состоит в том, что в проводнике, по которому течет ток, под действием внешнего магнитного поля возникает разность потенциалов между боковыми гранями:

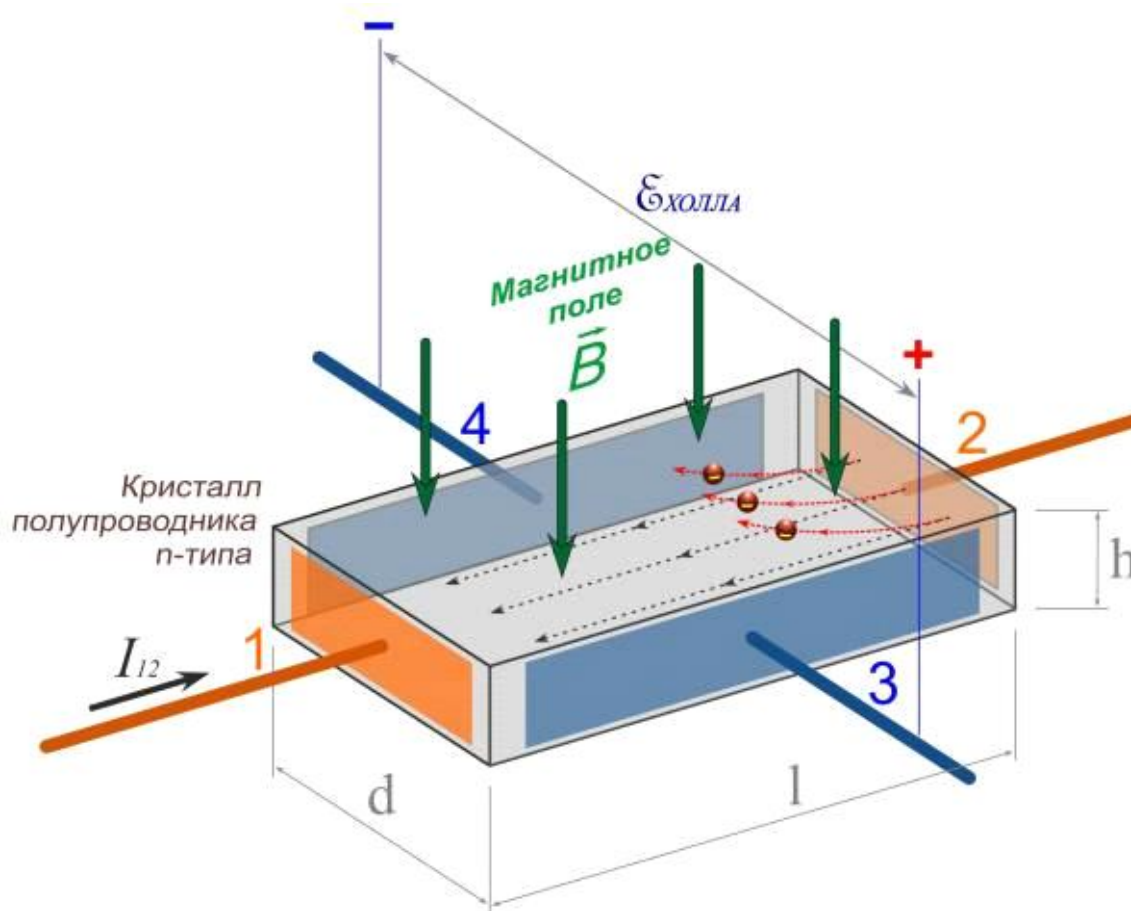


Рис. 3 Эффект Холла

Объясняется эффект Холла тем, что на движущиеся электроны действует сила Лоренца и отклоняет их к боковым граням. Таким образом, на торцах образца накапливаются заряды противоположного знака. Накапливаются до тех пор, пока сила их притяжения не компенсирует силу Лоренца: $eE = evB$, $E = vB$, e — заряд, E — электрическое поле, B — магнитное поле, v — скорость движения зарядов. Скорость движения зарядов можно выразить через плотность тока: $v = j/ne$, $j = nev$, j — плотность тока, n — концентрация носителей заряда, e — заряд одного носителя. Тогда $E = 1/nejB$. Установившееся электрическое поле

пропорционально току и магнитному полю, также очевидно, что это поле зависит от знака носителей заряда.

Рис. Зависимость магнитного поля от толщины зазора между слоями.

Результаты эксперимента.

Экран в экране:

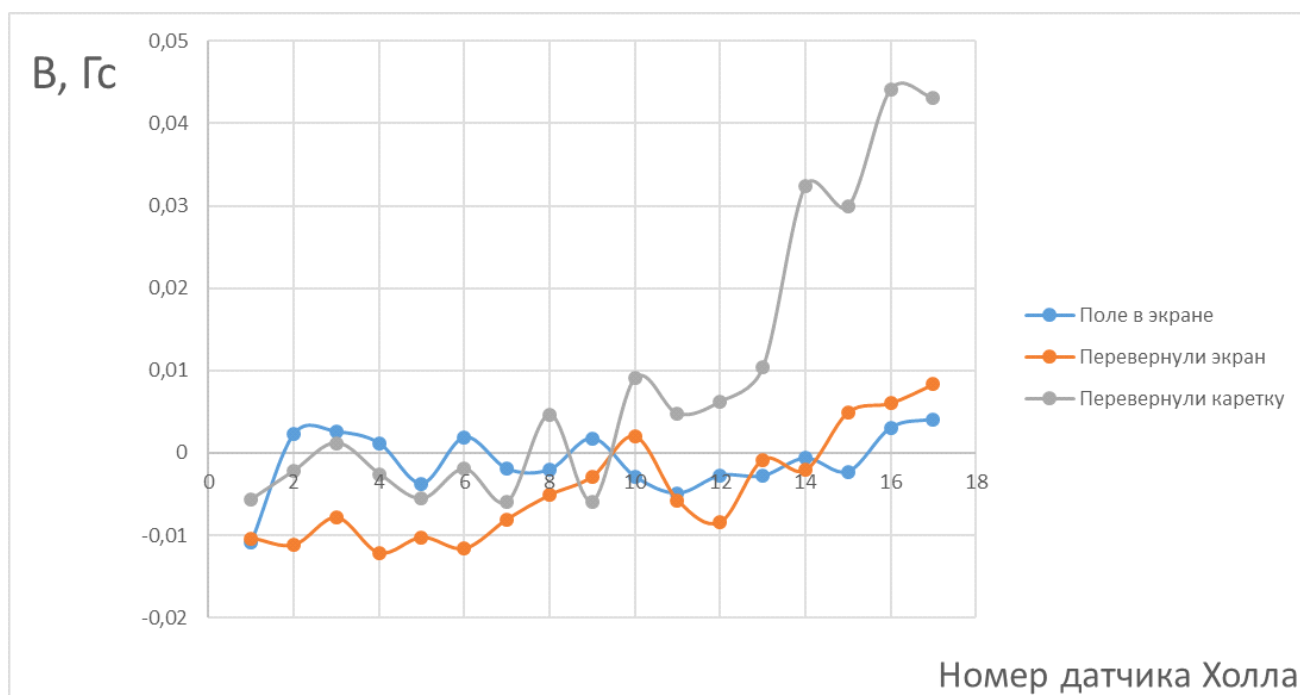
Номер датчика	Расстояние между датчиками, мм	Поле в экране, Гс	Перевернули экран	Перевернули каретку	Внешнее поле	Внешнее поле (перевернули каретку)
1	6,515	-0,01081	-0,01037	-0,00566	-0,3131	0,329309
2	15,848	0,002304	-0,01121	-0,00218	-0,32989	0,307928
3	24,95	0,002554	-0,00787	0,001213	-0,31219	0,329415
4	33,957	0,00151	-0,01219	-0,00256	-0,32329	0,314827
5	44,108	-0,00371	-0,01029	-0,00558	-0,33287	0,321641
6	53,2576	0,001886	-0,01166	-0,00196	-0,32826	0,316371

7	62,892	-0,00195	-0,00807	-0,006	-0,33007	0,312139
8	72,645	-0,00202	-0,0051	0,004635	-0,32469	0,317811
9	81,743	0,001762	-0,00288	-0,00592	-0,32942	0,32907
10	90,995	-0,00289	0,002042	0,00905	-0,31776	0,330305
11	100,316	-0,00491	-0,00577	0,004718	-0,31957	0,325819
12	110,279	-0,00275	-0,00844	0,006205	-0,33287	0,314319
13	120,536	-0,0028	-0,00082	0,010345	-0,30897	0,32618
14	129,363	-0,00064	-0,00209	0,0322449	-0,31895	0,33699
15	138,5	-0,00228	0,004957	0,029895	-0,30032	0,343196
16	147,547	0,003044	0,006066	0,004137	-0,30179	0,356057
17	156,823	0,004092	0,008363	0,043106	-0,30175	0,340593

Экран:

Номер датчика	Расстояние между датчиками, мм	Поле в экране, Гс	Перевернули экран	Перевернули каретку		
1	6,515	-0,0148	-0,01968	0,020013	-0,3131	0,329309
2	15,848	0,001194	-0,02762	0,005959	-0,32989	0,307928
3	24,95	-0,00619	-0,01332	0,027315	-0,31219	0,329415
4	33,957	0,002027	-0,02018	0,015127	-0,32329	0,314827
5	44,108	-0,00259	-0,02388	0,02203	-0,33287	0,321641
6	53,2576	0,003115	-0,02501	0,01832	-0,32826	0,316371
7	62,892	0,004879	-0,0246	0,022494	-0,33007	0,312139
8	72,645	0,000865	-0,02635	0,015346	-0,32469	0,317811
9	24,95	0,000893	-0,02285	0,019282	-0,32942	0,32907
10	90,995	-0,00326	-0,02231	0,02487	-0,31776	0,330305
11	100,316	-0,00263	-0,02307	0,02311	-0,31957	0,325819
12	110,279	0,003883	-0,02172	0,027554	-0,33287	0,314319
13	120,536	-0,00188	-0,01303	0,028457	-0,30897	0,32618
14	129,363	-0,00233	-0,0233	0,046571	-0,31895	0,33699
15	138,5	0,00273	-0,01922	0,067155	-0,30032	0,343196
16	147,574	0,00378	-0,01832	0,070379	-0,30179	0,356057
17	156,823	-0,00076	-0,02003	0,05413	-0,30175	0,340593

Обработка экспериментальных данных:



Экран в экране

0,014648	0,01459
-0,00322	-0,003298
0,028644	0,028634
0,042191	0,042104
-0,026193	-0,026213
0,023897	0,023804
-0,015232	-0,015248
0,003229	0,003165
-0,002001	-0,002011
-0,047139	-0,047145
0,015482	0,015593
0,041216	0,041204
-0,026515	-0,026445
0,047649	0,047798
-0,016739	-0,016484
-0,013823	-0,013553
-0,007096	-0,006873
0,014648	0,01459

Экран

0,014799	0,014944
-0,003276	-0,003232
0,028665	0,028832
0,042112	0,042254
-0,026218	-0,026045
0,023867	0,02403

-0,01527	-0,015171
0,003271	0,003393
-0,001886	-0,001744
-0,047021	-0,046827
0,015603	0,015838
0,041133	0,041337
-0,02644	-0,026276
0,047722	0,047999
-0,016573	-0,016149
-0,013652	-0,013255
-0,006883	-0,006596
0,014799	0,014944

Выводы.

В ходе эксперимента был изготовлен магнитный экран. Теоретические расчеты совпадают с экспериментом.

Выводы.