

## Литература

1. Polgar K. et al. Chemical and thermal conditions for the formation of stoichiometric LiNbO<sub>3</sub>// Journal of Crystal Growth – 2002. – Vol.237-239 – P.682-686.
2. Niwa K. et al Growth and characterization of MgO doped near stoichiometric LiNbO<sub>3</sub>crystals as a new nonlinear optical material // Journal of Crystal Growth – 2000. – Vol.208 – P.493-500.
3. Баласанян Р.Н., Габриелян В.Т., Коканян Э.П., Фельдвари И. Состав и однородность кристаллов LiNbO<sub>3</sub> в их взаимодействии с условиями выращивания. 1. Влияние электрического поля. // Кристаллография – 1990. – Т.35. – Вып.6 – С.1540-1544.
4. Патент JP 10045497 A, 17.02.1998 (прототип).
5. Ростовые и технологические дефекты кристаллов ниобата лития различного химического состава / Палатников М. Н., Макарова О. В., Сидоров Н. В. Минобрнауки России, Федеральный исследовательский центр "Кольский научный центр Российской академии наук", Институт Химии и технологии редких элементов и минерального сырья им. И. В. Тананаева. – Апатиты: ФИЦ КНЦ РАН, 2018. – 89 с.

DOI 10.69537/SBORNICKNII.RAN.2024.1.007

## ИЗУЧЕНИЕ ОДНОРОДНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КАТУШЕК ГЕЛЬМГОЛЬЦА

© М.А. АЛЕРОЕВ<sup>1</sup>, М.А. МАГОМЕРЗАЕВА<sup>1</sup>, М.Х. ХАМИДОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова»

<sup>2</sup>Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
«Аргунский государственный техникум»

**Аннотация.** В данной работе является расширение и углубление теоретических знаний по разделу физики электричество и магнетизм, и экспериментальное изучение распределения магнитной индукции в области, заключённой между двумя коаксиальными кольцевыми катушками с одинаковыми токами, находящимися на расстоянии их радиуса.

**Ключевые слова:** электричество, магнетизм, катушка, радиус, вектор.

Магнитные поля широко распространены в природе и технике. Они оказывают заметное влияние на физические, химические, биологические и другие процессы, происходящие в нашей жизни. Поэтому их изучение имеет важное значение [1-9].

Установка (рис. 1) состоит из следующих частей: двух катушек, основания, подъемного стола, блока управления. Катушки 1 выполнены проводом ПЭВ-1-1,18 на текстолитовых кольцеобразных каркасах. На концы выводов напаяны наконечники для подсоединения к клеммам блока управления. Основание предназначено для крепления на нем катушек и подъемного стола. Конструктивно основание состоит из текстолитового листа 2, бобышек 3, проушин 4 и опорных ножек. Катушки крепятся винтами к проушинам. В верхней части катушки соединены стяжкой 5.



Рис.1. В центре основания укреплена стойка для подъемного стола 6

Конструктивно стол состоит из текстолитового листа ( $200 \times 200$  мм, закрепленного на стержне. Стержень вставлен в стойку и фиксируется кольцом и винтом. Стол с помощью кольца и винта имеет возможность перемещаться вертикально в пределах 80 .... 120 мм от центра катушек. Блок управления 7 закреплён на основании 2. Внутри блока крепится диодный блок и элементы искрогашения. На лицевой панели расположены: тумблеры для включения в сеть, для переключения переменного и постоянного токов и для изменения полярности постоянного напряжения. На передней панели, также расположены лампа индикации включенного состояния и амперметр 8, предназначенный для измерения тока, потребляемого катушками 1. На задней панели расположен держатель с предохранителем. Переменное напряжение 220 В, 50 Гц через тумблер "СЕТЬ" подается на блок управления. При этом загорается лампа индикации включенного состояния.

Внутренний диаметр катушек – 48 см;

Внешний диаметр катушек – 58 см;

Расстояние между катушками – 25 см

Для проведения необходимых измерений на верхней поверхности подъёмного столика, горизонтально, была прикреплена длинная деревянная линейка и приспособление для фиксации датчика Холла. При осевых измерениях линейка, с помощью подъёмного столика, располагалась вдоль оси катушек на такой высоте, чтобы датчик мог перемещаться горизонтально точно по оси. При радиальных измерениях столик вместе с линейкой поворачивался в вертикальной стойке на  $90^\circ$  так, чтобы датчик мог перемещаться в горизонтальной плоскости, проходящей через ось, перпендикулярно к ней.

Измерения индукции магнитного поля производились через каждые 2 см в осевом и радиальном направлениях. За начало отсчёта была принята точка, совпадающая с геометрическим центром системы катушек.

#### Датчик Холла.

В данной работе измерения магнитной индукции производились при помощи измерительной головки на основе датчика Холла. Она представляет собой держатель из пластмассовой трубочки диаметром около 1 см. На одном конце трубки, в её торце, закреплён датчик Холла (рис. 2).

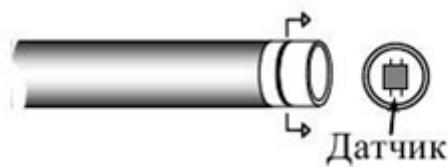


Рис. 2. Положение датчика Холла на конце держателя

На другом конце имеется ручка. Провода от датчика пропущены через трубку. Сигнальные провода экранированы для уменьшения электрических наводок. Питание датчика Холла осуществляется от блока питания, стабилизированным напряжением 5 В. Холловская разность потенциалов измеряется цифровым вольтметром. Электрическая схема всей установки приведена на рис. 3.

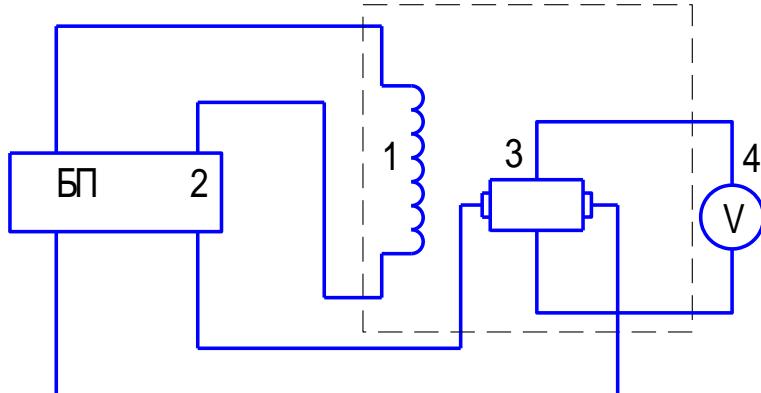


Рис.3 Схема установки

1-катушки Гельмгольца; 2-блок питания;  
3-датчик Холла; 4-цифровой вольтметр.

Сам датчик Холла 3, с помощью которого измеряется величина магнитного поля, представляет собой небольшую полупроводниковую пластинку толщиной  $d = 0,2\text{мм}$  с напыленными металлическими контактами, два из которых являются токовыми, а два других – потенциальными или сигнальными. Токовые контакты подключаются к блоку питания 2, и через датчик Холла течет постоянный ток. Холловская разность потенциалов измеряется цифровым вольтметром 4, который подключен к сигнальному выходу датчика.

Конструктивно датчики Холла малогабаритны (от 2 до 10 мм) и имеют три или четыре вывода. В первом случае один сигнальный и один токовый выводы соединены вместе внутри корпуса. Внешний вид некоторых типов датчиков приведён на рис.4.

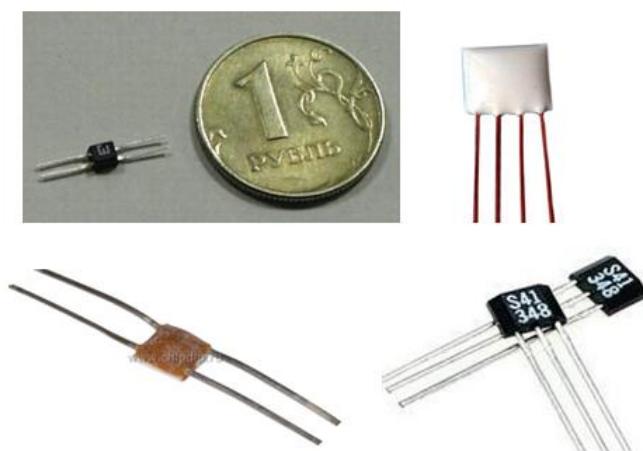


Рис.4 Внешний вид некоторых типов датчиков

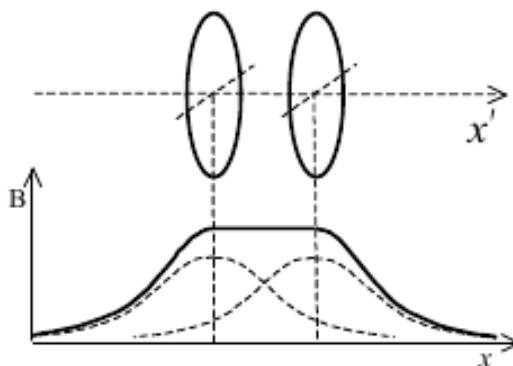
**Изучение магнитного поля между катушками Гельмгольца.**

Расчётное значение индукции.

В настоящей работе было указано, что индукция магнитного поля в центре одиночного витка с током радиуса  $R$  равна:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

Это поле неоднородно. Однако, если рядом с первым витком соосно расположить второй, то, подобрав расстояние между витками, можно получить довольно протяженную область пространства, где магнитное поле будет весьма однородно. На рисунке ниже показано расположение двух витков с током и создаваемое ими магнитное поле: пунктирные линии – поле каждого витка в отдельности; сплошная линия – результирующее поле.



Систему из двух одинаковых катушек, расположенных на расстоянии, равном их радиусу, называют катушками Гельмгольца. В пространстве между катушками однородность магнитного поля может быть не хуже 0,5%. Их широко применяют в лабораторной практике для создания небольших (примерно до 0,3 Тесла) однородных полей. Индукция магнитного поля в центре катушек Гельмгольца может быть вычислена по формуле, полученной на основании Закона Био-Савара-Лапласа:

$$B = \mu_0 \left( \frac{16\pi}{5^{5/2}} \right) \frac{NI}{R} = 0,90 \cdot \mu_0 \frac{NI}{R} \quad (1)$$

где  $N$  – общее число витков обеих катушек,

$I$  – сила тока, текущего в катушках,

$R$  – средний радиус катушек,

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$  – магнитная постоянная.

Для начала теоретически рассчитаем индукцию поля на оси в середине между катушками.

Запишем известные параметры.

$I = 5\text{А};$

$N = 550$  витков;

$R = 26\text{см} = 0,26\text{м};$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$

Вычислим величину индукции по формуле (1).

$$B = 0,9 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{550 \cdot 5}{0,26} = 0,012 \text{ Тл}$$

Измеренное значение индукции поля и её распределение.

За 15 минут до начала измерений, для уменьшения теплового дрейфа нуля, был включён блок питания датчика Холла, и он не выключался до конца выполнения

эксперимента. Перед началом измерений при выключенном магнитном поле на вольтметре был выставлен нуль, и впоследствии периодически проверялась установка нуля и, при необходимости, корректировалась.

Система катушек Гельмгольца была ориентирована так, чтобы плоскости катушек были параллельны меридиану, для уменьшения влияния земного магнитного поля. Датчик Холла был расположен в центральной точке системы. Измерения показали, что:

$$B_{X_0} = 11,2 \text{ мТл} = 0,0112 \text{ Тл}$$

Этот результат достаточно хорошо согласуется с расчётным значением.

Далее датчик перемещался от центра по оси сначала в одну сторону, затем в другую и через каждые 2 см делались измерения индукции поля.

Результаты измерений приведены в таблице 1, а на рис.5 график зависимости магнитной индукции от координаты-Х.

Таблица 1

X, см	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$B_X$ , мТл	11,2	11,2	11,3	11,3	11,4	11,5	11,6	11,4	10,9	9,8	8,9	8,1	7,4	7	6,4	6
-X, см	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$B_X$ , мТл	11,2	11,2	11,3	11,4	11,5	11,6	11,7	11,6	11	10	9	8	7,5	7	6,5	6,2

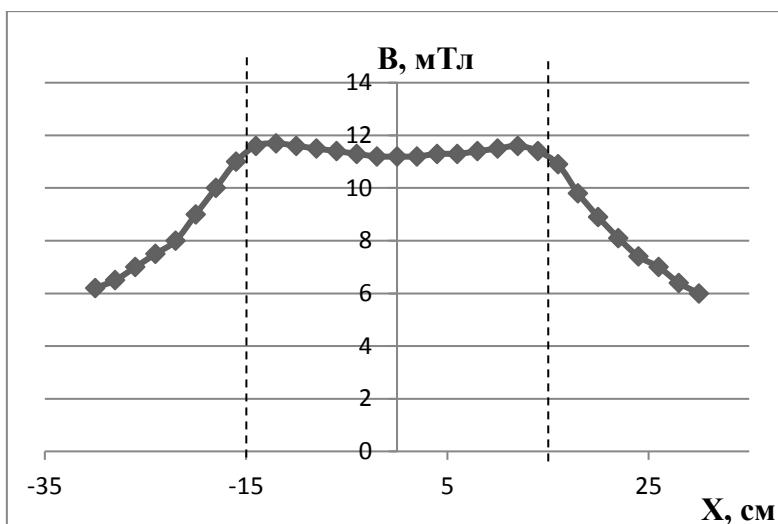


Рис. 5. Осевое распределение индукции.

Из таблицы и графика видно, что на оси в промежутке от -15 см до +15 см максимальное значение  $B_{X_{max}} = 11,7$  мТл.

Следовательно, абсолютная осевая неоднородность:

$$\Delta B_X = B_{X_{max}} - B_{X_0} = 11,7 - 11,2 = 0,5 \text{ мТл}$$

Относительная осевая неоднородность:

$$\frac{\Delta B_X}{B_{X_0}} = \frac{0,5}{11,2} \cdot 100\% = 4,5\%$$

Результаты радиальных измерений приведены в таблице 2, а на рис. 6 – график зависимости магнитной индукции от координаты-У.

Таблица 2. Результаты радиальных измерений.

Y, см	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$B_Y$ , см	11,2	11,2	11,1	11,1	11,0	10,9	10,8	10,7	10,6	10,5	10,2	9,4	8,5	7,0
-Y, см	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$B_Y$ , см	11,2	11,1	11,1	11,1	11	10,9	10,8	10,6	10,5	10,3	9,7	9,0	8,0	6,8

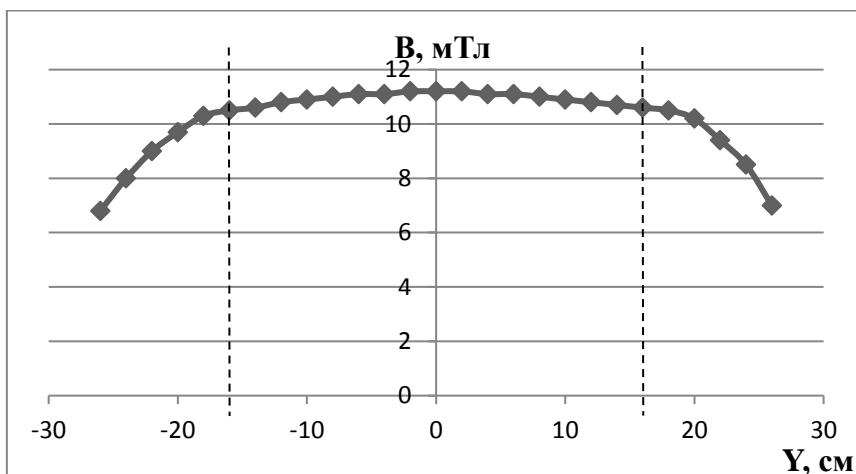


Рис. 6. Радиальное распределение индукции

Из таблицы и графика видно, что на расстоянии от оси до 16 см минимальное значение индукции  $B_{Y_{min}} = 10,5$  мТл.

Следовательно, величина поперечной неоднородности поля:

$$\Delta B_{Y_{min}} = 11,2 - 10,5 = 0,7 \text{ мТл}$$

Относительная радиальная неоднородность:

$$\frac{\Delta B_{Y_{min}}}{B_{Y_0}} = \frac{0,7}{11,2} \cdot 100\% = 6,2\%$$

### Выводы:

В ходе выполнения данной работы были решены следующие задачи:

- изучение теории магнетизма;
- ознакомление с методами измерения индукции магнитного поля;
- проведён эксперимент по определению осевого и радиального распределения индукции магнитного поля между катушками Гельмгольца и показано, что оно достаточно высокой степени однородно.
- показано, что расчётное и измеренное значения индукции магнитного поля близки друг другу.

### Литература:

- Балашов М.М.. Методические рекомендации к преподаванию физики. – Москва: Просвещение, 1990. – 278 с.
- Усова А.В. Методика преподавания физики. – Москва: 1990. – 219с.
- Савельев И. В. Курс общей физики: в 3 т. / И. В. Савельев. – М.: Наука, 1986. – Т. 2. – 480 с.
- Электричество и магнетизм практикум по физике / под ред. Ф. А. Николаева. – М.: Высш. шк., 1991. – 151 с.

5. Детлаф А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, В. М. Яворский. – М.: Высшая школа, 1989. – 607 с.
6. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов.– 5-е изд., стер.– М. Высш. шк., 1998.– 542 с.
7. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. – М.: Оникс 21 век, 2005. – 32 с.
8. Парсел Э. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, Глава 3. –399 с.
9. Калашников С.Г. Электричество. – М.: Физматлит, 2003. – 21 с.

DOI 10.69537/SBORNICKNIIRAN.2024.1.008

## МЕТОД АНАЛИЗА РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ПО ФОРМЕ ВИСЯЩЕЙ КАПЛИ

© В.С. ИСМАИЛОВ

*Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова РАН,  
Грозный*

**Аннотация.** Методологической основой для написания статьи послужила необходимость использование возможностей метода висячей капли путем расширения представлений о реологических свойствах жидкостей. В работе для определения временных сдвигов между кривыми неравновесного поверхностного натяжения и объемом жидкости использован метод осциллирующей капли. Исследована релаксация ПАВ в спиртосодержащих растворах, а также модули вязкости и эластичности.

**Ключевые слова:** пьезонасос, тензиометр, пропанол-2, изопропанол, поверхностная реология и межфазная реология, поверхностное натяжение.

### Введение

Разработка современных полимерных связующих и композиционных материалов требует привлечения большого количества методов и испытаний [1].

Свойства композиционных полимерных материалов во многом определяются их матрицей, в структуре которой выделены параметры давления и температуры, оказывающие влияние на связующие реологические зависимости.

Для изучения явления поверхностной реологии применяется простой и надежный в работе метод висячей осциллирующей капли. Поверхностная эластичность и поверхностная вязкость обуславливают стабильность эмульсии пен, который широко представлен в пищевой промышленности, а также в других производственных областях народного хозяйства. Реологические методы широко применяются в медицинском и фармацевтическом секторе. Например, широко используется диагностика крови на основе реологических свойств. Кроме того, реологические свойства жидкостей зависят от многих факторов, усложняющихся в зависимости от состояния самой термодинамической системы, которая представлена различными включениями (твердыми, жидкими и газообразными) т.е. дисперсной фазой. В качестве основных измеряемых параметров поверхностной реологии являются: модуль вязкости и модуль эластичности и, как следствие, время релаксации коллоидных систем и частиц молекулярных растворов [2].

### Теоретическая часть

Реологические свойства необходимо учитывать при решении задач, связанных с такими прикладными направлениями, как механика твердых деформируемых объектов, а также механики и гидромеханики в том числе и биомеханики.