

РАБОТА 12

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КАТУШЕК ГЕЛЬМГОЛЬЦА

Цель работы: исследовать пространственное распределение магнитного поля катушек Гельмгольца

Введение

I. Магнитные поля широко используются в промышленности и экспериментальной физике. Создание магнитного поля с требуемыми параметрами – непростая техническая задача. Известно, что источником магнитного поля может служить постоянный магнит или проводник с током. Там, где требуется неизменное магнитное поле небольшой величины, вполне подходит постоянный магнит. Но если необходимо иметь как постоянное, так и переменное во времени магнитное поле значительной величины, которое должно изменяться в некоторых пределах – то единственным решением является одиночный проводник или катушка с током.

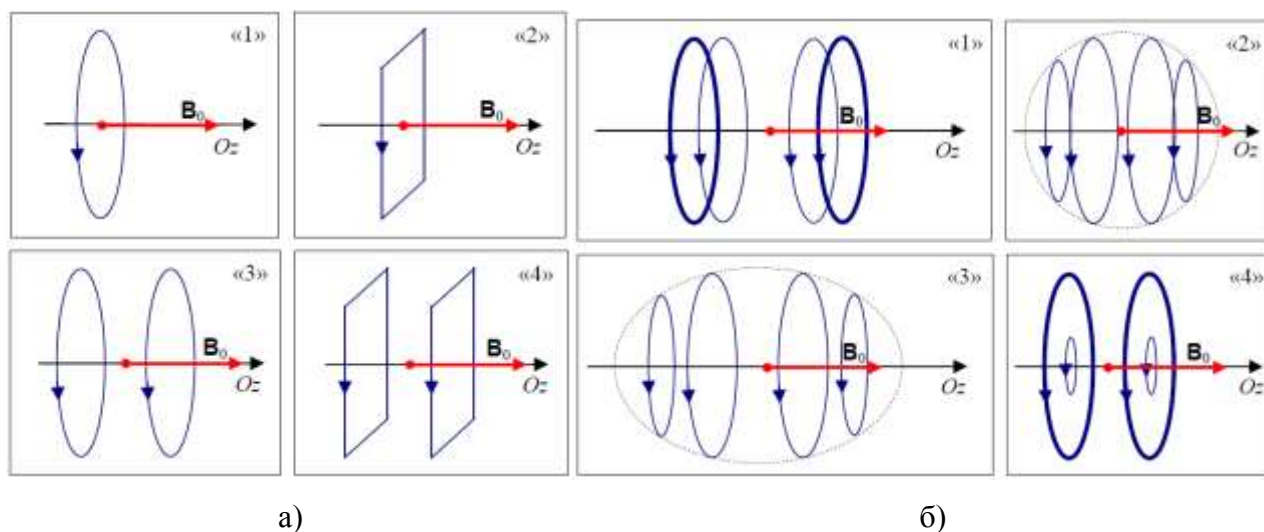


Рис. 12.1

Часто задача стоит получить не только сильное, но и однородное (одинаковое) магнитное поле в довольно значительном объеме пространства. Магнитное поле значительной величины можно создать в центре катушки с проводом, но это поле будет сильно неоднородным. Однородное поле образуется в соленоиде, но использовать это поле неудобно – доступ к нему затруднен. Именно поэтому физики для создания однородного поля используют не одну, а несколько соосных катушек, расположенных таким образом, чтобы неоднородность поля взаимно компенсировалась. Таких катушек может быть две или четыре.

На рисунке 12.1 показаны различные виды катушек:

а) простейшие конструкции катушки для создания магнитного поля: «1»- виток (катушка) Ампера; «2» - прямоугольная рамка с током; «3» - катушки Гельмгольца; «4» - квадратные катушки Фанселау,

б) катушки для создание однородного магнитного поля: «1» - катушки Бэкера; «2» - катушки МакКихана, «3» - Катушки Браунбека, «4» - бипланарные катушки Моргана.

В этой работе исследуется магнитное поле катушек Гельмгольца (рисунок 12.2) - две соосно расположенные одинаковые радиальные катушки, расстояние между центрами которых равно их среднему радиусу. В центре системы имеется зона однородного магнитного поля. Используются для получения постоянного, переменного или импульсного магнитного поля с зоной однородности, которое обычно используется в экспериментах, а также для калибровки датчиков магнитной индукции,

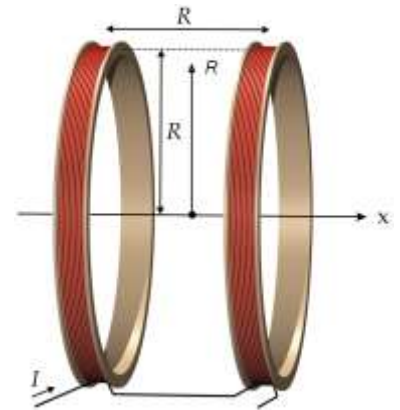


Рис. 12.2

намагничивания и размагничивания постоянных магнитов, размагничивания стальных заготовок, деталей и инструментов. Катушки названы в честь немецкого физика Германа Гельмгольца.

2. Величина индукции магнитного поля в центральной части может быть легко получена из закона Био — Савара — Лапласа. Поскольку для одиночного кольца с током

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(R^2 + x^2)^{3/2}},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Тл} \cdot \text{м} / \text{А}$ - магнитная постоянная; I - ток через катушку, в амперах; R - радиус катушки, в метрах; x - расстояние по оси катушек от ее центра, в метрах.

Поскольку катушки состоят из n витков, а расстояние по оси от катушки до центра $x = R/2$, получаем окончательно в центре

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{\mu_0 n I}{R}. \quad (12.1).$$

3. Представляет интерес вопрос – почему расстояние между катушками выбрано равным R , а не $R/2$ или еще какой-то другой величине? Чтобы ответить на этот вопрос надо помнить, что магнитное поле в центре не является строго однородным. При отдалении от центра поле несколько изменяется. Обычно для характеристики области однородности вводят понятие область однородности – область пространства, где величина

магнитной индукции $B(r)$ отличается от величины в центре B_0 не более, чем на определенную величину δ :

$$\frac{B(r)}{B_0} - 1 < \delta.$$

Величину δ называют «уровень однородности». Оказывается, что объем области однородности достигает максимального значения как раз при расстоянии между катушками примерно равном их радиусу.

Методика выполнения работы

Общий вид установки приведен на рисунке 3.12. Она включает в себя катушки Гельмгольца 1 со $n = 100$ витками провода, блок питания 2, датчик магнитного поля 3 (датчик Холла), установленный на подвижной каретке 4, и датчик положения измерителя магнитного поля, встроенный в привод сканирующего устройства 5. Каретка 4 и привод 5 закреплены к устройству перемещения, которое может свободно двигаться по станине 6 и фиксироваться с помощью магнитов на ее подошве. Все элементы установки размещены на станине 6. К приборам и принадлежностям относятся также

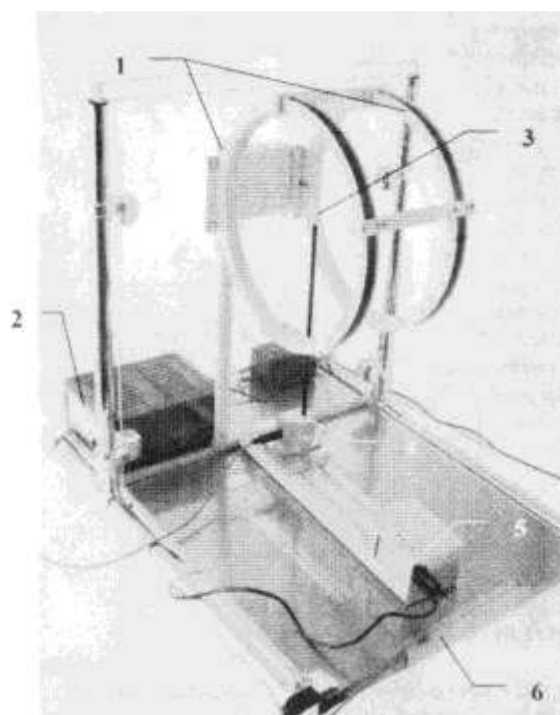


Рис. 12.3

компьютер с необходимым программным обеспечением, интерфейсные модули с соединительными кабелями для подключения к компьютеру.

Для определения положения датчика магнитного поля относительно катушек на станине 6 расположены две линейки, одна из которых определяет положение датчика вдоль оси катушек (ось x), вторая – расстояние до оси (ось R).

Порядок выполнения работы

1. Включите источник питания катушек и источник питания двигателя каретки в сеть 220В. (см. рис. 12.3).

2. Включите компьютер. После загрузки операционной системы с помощью ярлычка на рабочем столе запустите программу практикума по физике. Выберите

сценарий «Исследование магнитного поля в катушках Гельмгольца». В окне программы откроется два окна для вывода показаний датчика перемещения и датчика величины магнитной индукции (датчика Холла).

3. Включите (если это не сделано ранее) разъем питания в гнездо корпуса привода каретки. При этом каретка начнет двигаться и остановится в крайнем правом положении, наиболее удаленном от оси катушек.

4. Установите устройство перемещения на платформе установки так, чтобы край устройства находился на отметке $R=5\text{см}$ поперечной линейки (в этом положении траектория движения датчика располагается точно посередине между катушками). Направляющая рейка должна быть параллельна плоскости катушек. Устройство перемещения должно упираться в прозрачный защитный экран.

5. Датчик магнитного поля установлен на конце вертикального стержня, который может поворачиваться на 90 градусов. При этом датчик измеряет или осевую X - , или поперечную K -компоненту магнитного поля. Установите ограничитель поворота стержня в положение, обеспечивающее регистрацию X -компоненты магнитного поля (ребро корпуса датчика повернуто параллельно плоскости катушек).

6. Введите в окно программы значение X -координаты устройства перемещения.

7. Включите блок питания катушек Гельмгольца и установите максимальное значение тока. Это значение составляет примерно $2,8\text{А}$.

8. Нажмите в окне программы кнопку запуска измерений. Каретка начнет движение справа налево из точки с максимальной радиальной координатой в сторону ее уменьшения. На экране в окнах датчиков перемещения и магнитной индукции при этом будут строиться графики показаний зависимости от времени.

9. После прохождения датчиком положения на осевой линии катушек каретка необходимо остановить, для чего следует нажать на кнопку «Стоп» окна программы. При этом каретка с датчиком возвращается в исходное крайнее правое положение. В окне графиков выводится график зависимости магнитной индукции от расстояния до оси катушек.

10. Далее измерения повторяются в других плоскостях сканирования. Установите устройство перемещения на отметках $X=4; 3; 2$ и 1см поперечной линейки, смещая устройство ближе к передней катушке. Повторите измерения п.п.4-9. Соответствующее значение X каждый раз необходимо вводить в окно программы.

Обработка результатов измерений.

1. Пользуясь формулой (12.1) определите теоретическое значение магнитной индукции в центре катушек Гельмгольца и сравните с полученными значениями.

2. Перерисуйте в рабочую тетрадь с экрана компьютера полученные графики пространственного распределения магнитной индукции.

3. Используя графический маркер окна программы, определите для каждой плоскости сканирования значения магнитной индукции $B_0(x)$ на оси катушек (при $R = 120\text{мм}$). Полученные значения впишите в таблицу. Полученные значения отличаются из-за нестабильности тока через катушки.

4. Для каждой плоскости сканирования вычислите величины предельных отклонений и предельные значения магнитных индукций по формулам

$$\Delta B = \delta \cdot B_0(x), B_{\min} = B_0 - \Delta B, B_{\max} = B_0 + \Delta B.$$

Запишите полученные значения в таблицу.

5. Задавшись отклонением $\delta = 10\%$, определите по графикам геометрические размеры областей пространства между катушками Гельмгольца, где отклонения магнитной индукции не превышают установленные пределы $B_{\min} < B < B_{\max}$.

Результаты внесите в таблицу 12.1.

Таблица 12.1

№	X, см	$B_0(x)$, мТл	δ , %	ΔB , мТл	B_{\min}, B_{\max} , мТл	R, мм
1	5		10			
2	4		10			
3	3		10			
4	2		10			
5	1		10			

6. Постройте в масштабе поперечное сечение катушек Гельмгольца и области однородности магнитного поля с $\delta=10\%$. Сделайте вывод о характере пространственного распределения магнитного поля.

7. Напишите заключение к работе.

Контрольные вопросы

1. Что может являться источником магнитного поля? Чем создается магнитное поле в

данной работе?

2. Какова единица измерения магнитной индукции магнитного поля в СИ?

3. Сформулируйте закон Био-Савара-Лапласа.

4. Выведите формулу для магнитной индукции на оси витка с током.

5. На основе какого критерия определяется область однородности в катушках Гельмгольца?

6. Почему в данной работе полученные значения магнитной индукции вдоль оси катушек меняются сильнее, чем предсказывает теория?