

# Отчёт по датчику Холла

Тимченко Савелий  
Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»

23 ноября 2023 г.

## Содержание

1. Цель работы	1
2. Теоретическое описание эффекта	1
3. Используемое оборудование	1
4. Параметры цепи	2
5. Ход эксперимента	2
6. Анализ полученных данных	3
7. Исследование зависимости магнитной индукции поля от расстояния до полюса магнита	4

## Список литературы

### 1. Цель работы

Главной целью является реализация рабочего магнитометра на основе датчика Холла и экспериментальная проверка теоретической модели зависимости напряжения на холловских контактах датчика от напряжённости магнитного поля исследуемых магнитов. Также предложено экспериментальное исследование зависимости напряжённости магнитного поля от расстояния до полюса магнита.

### 2. Теоретическое описание эффекта [2]

Исходя из модели свободных электронов, плотность электрического тока в металле может быть выражена через проводимость бруска  $\lambda$  по формуле

$$\mathbf{j} = \lambda \mathbf{E}.$$

Формула в том числе справедлива, если носителями тока являются положительные заряды (например, дырки в полупроводнике). В таком случае ток  $\mathbf{j}$  направлен по полю  $\mathbf{E}$ , в противном же случае они антипараллельны. Допустим что вдоль длинного

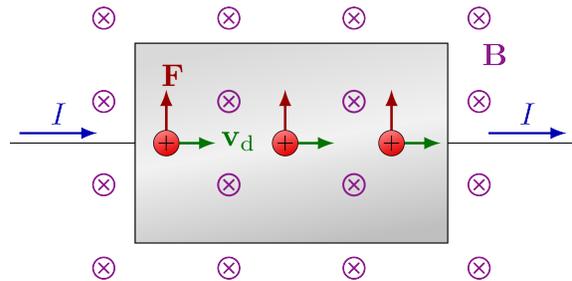


Рис. 1

и тонкого металлического бруска течёт постоянный ток с плотностью  $\mathbf{j}$  (рис. 1). Направление этого тока примем за ось  $X$ . Пусть перпендикулярно к плоскости бруска приложено постоянное однородное магнитное поле  $\mathbf{B}$ , направленное вдоль оси  $Z$ . Если бы носителями тока были положительные заряды, то сила Лоренца  $(e/c)[\mathbf{vB}]$  отклоняла бы их вниз. Нижний край ленты стал бы заряжаться положительно, а верхний - отрицательно. После окончательной зарядки краёв ленты, между ними установится положительная разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  (рис. 2). Если же носителями тока являются отрицательные заряды, то соответствующая разность потенциалов будет отрицательной. Рассчитав разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$ , пользуясь всё той же моделью свободных электронов, получим

$$\varphi_1 - \varphi_2 = RjBa,$$

где  $a$  - высота бруска (расстояние между двумя противоположно заряженными краями), а  $R$  - постоянная Холла, приблизительно равная  $1/nec$ .

Изображения предоставлены Izaak Neutelings из [открытого источника](#).

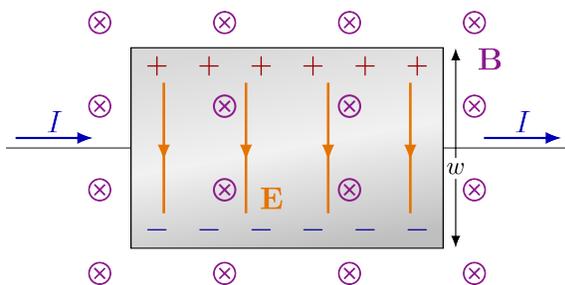


Рис. 2

### 3. Используемое оборудование

- Параллелепипедальный постоянный магнит (рис. 3)
- Магнит от лампы обратной волны (рис. 4)
- Преобразователь (датчик) Холла ПХЭ606118В с присоединённой витой парой (рис. 5)
- Генератор, вольтметр и магазин сопротивлений (рис. 6)



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

### 4. Параметры цепи

- Сопротивление датчика: 3 Ом
- Сопротивление на магазине: 197 Ом
- Погрешность напряжения:  $\pm 100$  мВ
- Магнитная чувствительность (заявленная): 50.0 мкВ/мТл



Рис. 6

## 5. Ход эксперимента

С помощью стороннего магнитометра были получены значения магнитной индукции вблизи требуемых точек измерения (таблица ниже), чтобы далее можно было сопоставить их с холловскими напряжениями вблизи тех же точек. Далее, используя датчик Холла (рис. 5, 7), вольтметр и генератор, была собрана экспериментальная установка, позволяющая измерять напряжения на холловских контактах при разной силе подающегося на датчик тока и разном магнитном потоке, проходящем через пластину датчика.

точка измерения	значение магнитной индукции
центр красного полюса (параллелепипедальный магнит)	$48 \pm 2$ мТл
в центре магнита от лампы обратной волны (без шариков)	$285 \pm 4$ мТл
вблизи торца магнита от ЛОВ (с одним шариком)	$397 \pm 3$ мТл
вблизи шарика	$650 \pm 10$ мТл

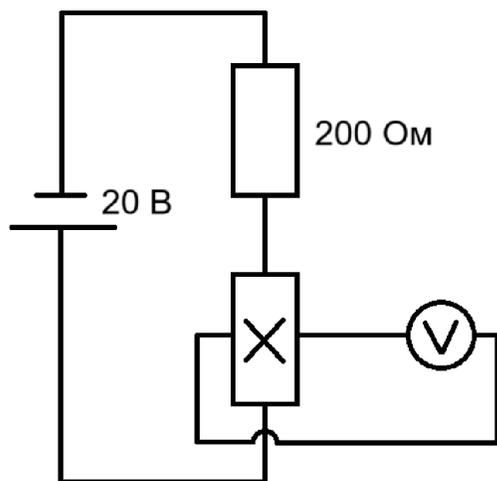


Рис. 7: Схема цепи

Также, были произведены попытки получить те же данные, но при  $B \rightarrow -B$ , чтобы таким образом попытаться оценить паразитное добавочное напряжение  $U_{\text{параз.}} = \alpha I$  (где  $\alpha$  - некоторый коэффициент), но разница между модулями полученных напряжений была меньше погрешности их изме-

рения, поэтому подобная статистика не была собрана. Стоит отметить, однако, что хоть паразитное добавочное напряжение и не зависело от величины магнитной индукции, оно отнюдь не было нулевым. Более того, оно зависело от ориентации датчика в пространстве. Ниже приведены значения измеренных паразитных напряжений от ориентации датчика при разных токах (погрешности для значений силы тока получены с помощью мультиметра). Отдельно стоит отметить что максимальные остаточные напряжения возникали именно при перпендикулярной силовым линиям магнитного поля Земли ориентации датчика.

	макс.	мин.
$40 \pm 0.1$ мА	$1.15 \pm 0.2$ мкВ	$0.4 \pm 0.1$ мкВ
$70 \pm 0.1$ мА	$2.1 \pm 0.4$ мкВ	$0.65 \pm 0.1$ мкВ
$100 \pm 0.1$ мА	$3.0 \pm 0.5$ мкВ	$1.0 \pm 0.2$ мкВ
$120 \pm 0.1$ мА	$3.7 \pm 0.6$ мкВ	$1.2 \pm 0.2$ мкВ

Гипотетически, если паразитное напряжение вызвано внешним полем, а не дефектами датчика, при силе тока величиной в 100 мА и горизонтальной ориентации датчика, согласно полученной в следующем параграфе величине магнитной чувствительности  $\phi$ , через наш датчик проходит поле с величиной магнитной индукции, равной  $59 \pm 11$  мкТл, что вкупе с тем фактом что остаточное напряжение зависит от ориентации датчика позволяет предположить что на датчик воздействует магнитное поле Земли (данные из открытых источников разнятся, но большая часть сходится на величине индукции магнитного поля Земли вблизи её поверхности, равной приблизительно 60 мкТл, что сходится с полученными данными[1]).

## 6. Анализ полученных данных

Составив график из полученных данных (рис. 8), мы можем заметить что в рамках погрешности измерений зависимость холловского напряжения от индукции магнитного поля действительно линейная. Анализируя данные, мы можем оценить магнитную чувствительность  $\phi$ , зная отклонение графика от оси  $x$  при  $I = 100$ , и сравнить его с паспортным значением. Используя модель линейной регрессии, получаем значение  $\phi = 51 \pm 0.8$  мкВ/мТл, что находится в соответствии с паспортным значением (погрешность чувствительности - стандартное отклонение от модели). Теперь мы можем вычислить погрешность вычисления самого значения магнитной индукции поля, проходящего через датчик. Она напрямую зависит от точности используемого вольтметра, и для нашего экс-

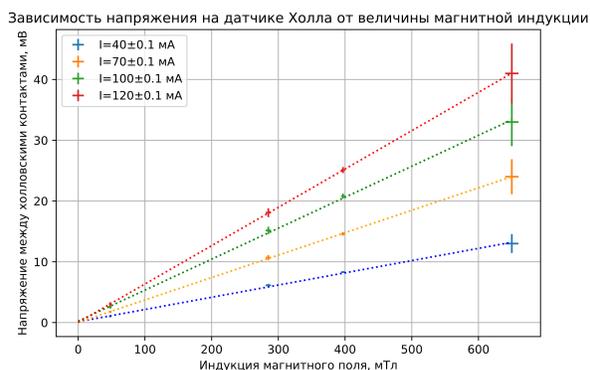


Рис. 8

перимента (и выборки данных, связанной с параллелепипедальным магнитом) равна 2%. Исходя из известной магнитной чувствительности датчика  $\phi$  мы можем построить следующий график (рис 9):

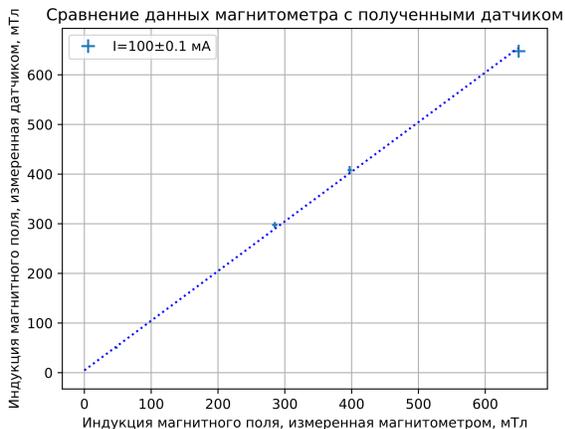


Рис. 9

Как мы можем видеть, отношение индукции магнитного поля, измеренной датчиком к измеренной магнитометром составляет  $1 \pm 0.015$  (погрешность посчитана так же, как и в случае со значением магнитной чувствительности).

Отдельно следует сказать про разрешающую способность датчика. Она напрямую зависит от точности применяющегося в эксперименте вольтметра (равной 1 мкВ). Следовательно, разрешающая способность равна  $19.6 \pm 0.3$  мкТл.

## 7. Исследование зависимости магнитной индукции поля от расстояния до полюса магнита

На приведённой ниже диаграмме (рис. 10) можно наблюдать зависимость индукции магнитного поля от расстояния до полюса параллелепипедального магнита (рис. 3) при удалении датчика от полюса параллелепипедального магнита. Так как параллелепипедальная форма магнита является трудно моделируемой, соответственная теоретическая модель распространения его магнитного поля может быть легко составлена исключительно для больших расстояний от полюса магнита. При таком приближении магнит можно расценивать как диполь, а значит, на больших расстояниях поле будет убывать обратно пропорционально расстоянию в кубе. Ниже (рис. 10) можно наблюдать соответствующую теоретическую модель (масштаб подобран вручную). Как можно заметить, при больших расстояниях ( $>100$  мм), теоретическая кривая действительно проходит через экспериментальные точки в рамках их погрешностей.

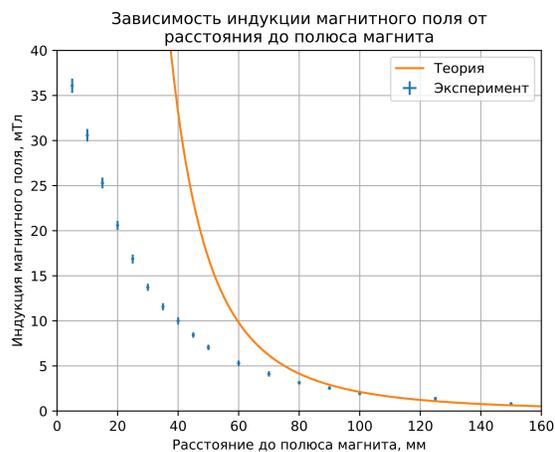


Рис. 10

## Список литературы

- [1] John Robson. *What is the Earth's magnetic field strength in Tesla?* URL: <https://www.quora.com/What-is-the-Earths-magnetic-field-strength-in-Tesla>.
- [2] Д. В. Сивухин. *Т. 3. Электричество*. Общий курс физики. ФИЗМАТЛИТ, 2009. ISBN: 978-5-9221-0673-3.