

Московский физико-технический институт
(государственный университет)

Лабораторная работа по общему курсу физики
Электричество и магнетизм

3.3.6. Влияние магнитного поля на проводимость полупроводников

Глаз Роман Сергеевич
Группа Б01-007

Долгопрудный
2021

Содержание

1	Теоретическое введение	1
2	Экспериментальная установка	2
3	Ход работы	2
3.1	Построение калибровочной кривой	2
3.2	Диск Корбино	3
3.3	Прямоугольная пластина	6
4	Заключение	7
5	Список используемой литературы	8

Цель работы: измерение зависимости сопротивления полупроводниковых образцов различной формы от индукции магнитного поля.

Используемое оборудование: электромагнит, милливеберметр или миллитесламетр (на основе датчика Холла), вольтметр, амперметр, миллиамперметр, реостат, образцы монокристаллического антимонида индия (InSb) n -типа.

1. Теоретическое введение

В работе исследуется эффект зависимости электрического сопротивления от магнитного поля на примере диска Корбино (см. рис.).

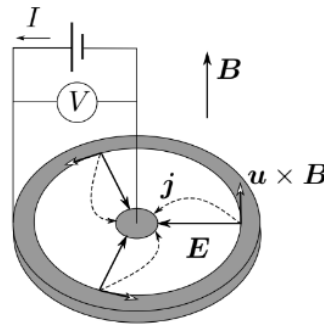


Рис. 1: Диск Корбино

При отсутствии магнитного поля, направленного перпендикулярно плоскости диска, по диску течёт ток, определяемый по закону

$$I = \frac{U}{R_0}, \quad R_0 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{\sigma_0 2\pi r h} \quad (1)$$

Однако при включении магнитного поля индукции B на частицы-переносчики тока начинает действовать сила Лоренца, из-за чего траектория частиц увеличивается в расстоянии,ходимом между двумя точками с фиксированной разницей потенциалов U .

В этом случае проводимость равна

$$\sigma_r = \frac{\sigma_0}{1 + (\mu B)^2} \quad (2)$$

Закон Ома преобразовывается в следующий вид:

$$I = \frac{U}{R}, \quad R = R_0(1 + (\mu B)^2) \quad (3)$$

Таким образом, зависимость $I(U)$ поменялась из-за геометрических особенностей диска Корбино. Такой эффект называют геометрическим магнетосопротивлением. В этой работе будут исследоваться зависимость сопротивления диска от магнитного поля, проверяться выше записанные формулы и исследоваться как влияет характер зависимости геометрических форм на зависимость $R(B)$.

2. Экспериментальная установка

Для исследование зависимости $R(B)$ используется следующая методика:

1. Используется калибровка электромагнита (источника магнитного поля): находится зависимость индукции создаваемого магнитного поля от тока в контуре электродвигателя $B(I_m)$ (или $I_m(B)$), который регистрируется амперметром A_1 , чтобы в дальнейшем считать величину магнитного поля с помощью тока в контуре I_m .
2. При постоянной силе тока I_0 , которая настраивается с помощью сопротивления реостата в контуре с источником питания, меняется величина индукции магнитного поля, тем самым меняется напряжение U , подаваемое на диск Корбино. Исследуется зависимость $R(B)$ через калибровочную кривую и зависимость $U(I_m)$.
3. Проводится тот же самый опыт с прямоугольной пластинкой с исследованием зависимости её сопротивления $R(B)$.

3. Ход работы

3.1. Построение калибровочной кривой

Включим милливексметр и будем снимать зависимость в контуре электродвигателя $I_m(B)$. В нашем случае милливексметр измеряет не поток магнитного поля, а сразу же напрямую индукцию магнитного поля.

Построим калибровочный график:

В дальнейшем нужно учесть, что значения индукции магнитного поля сняты с точностью 2, а сила тока 5 мА.

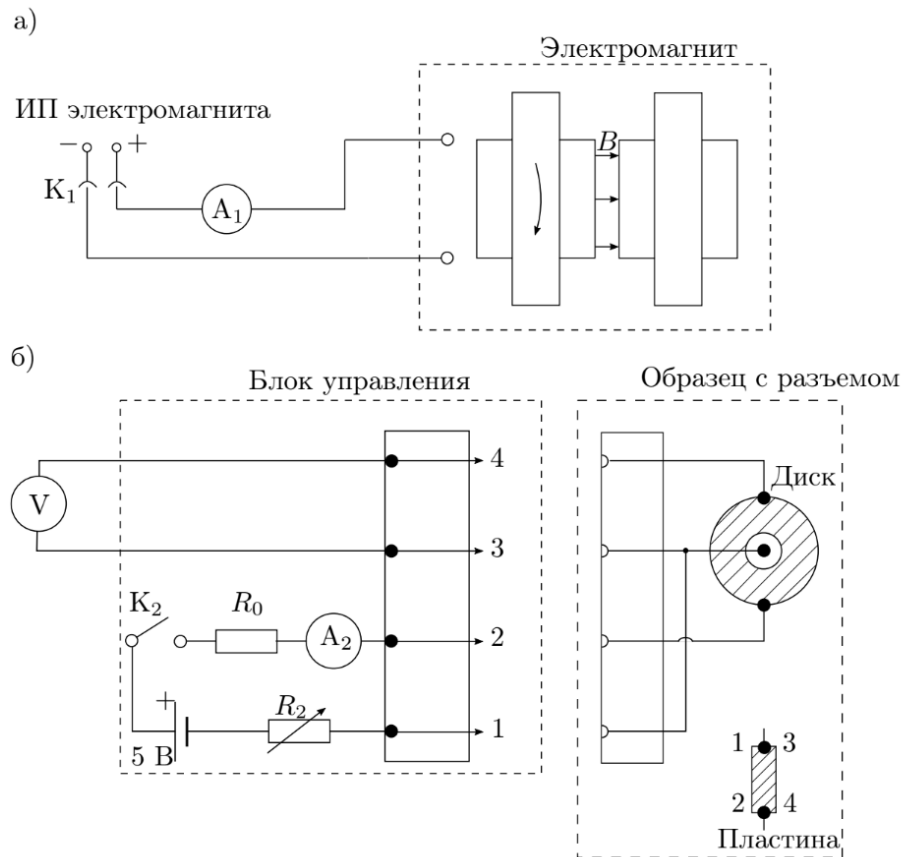


Рис. 2: Схемы экспериментальных установок

3.2. Диск Корбино

Вставим диск Корбино в зазор выключенного электромагнита и измерим падение напряжения U_0 в образце при токе $I_0 = 22,5 \pm 0,5$ мА (максимально возможный ток в контуре) через образец: $U_0 = 695 \pm 2$ мВ. Теперь зафиксируем ток в основном контуре (с источником питания) $I_0 = 22,5 \pm 0,5$ мА и будем исследовать $U(I_m)$:

На графике учтено, что погрешность мультиметра равна $\Delta U = 4$ мВ (учтены данные производителя, ошибка округления и колебания мультиметра около среднего значения), а погрешность амперметра $\Delta I_m = 5$ мА.

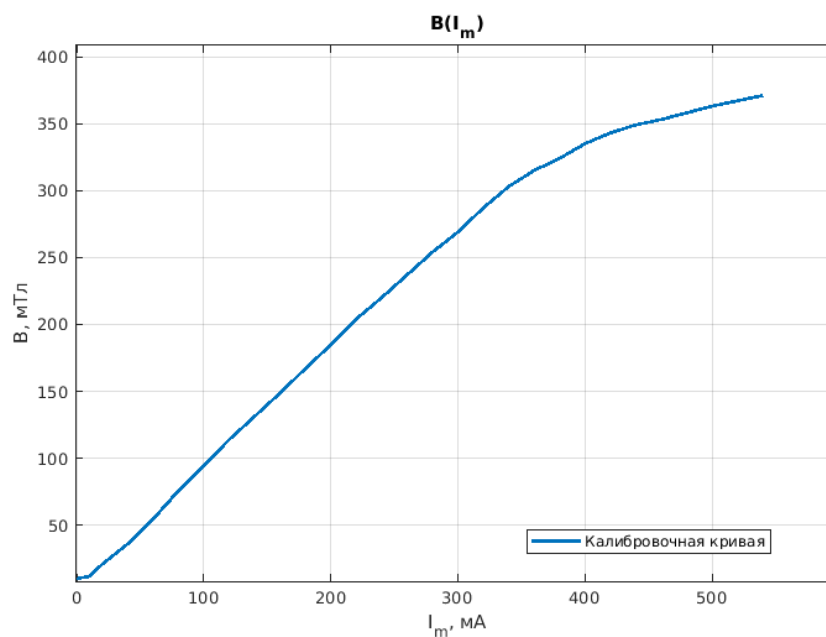
Воспользуемся калибровочной кривой и величиной тока I_0 , чтобы найти зависимость $R(B)$ (учтена погрешность $\Delta I_0 = 1$ мА).

Теперь построим график $\frac{U-U_0}{U_0}(B^2)$

Из графика и коэффициента корреляции видно, что график – прямая. Значит теоретическая зависимость верна и можно посчитать подвижность

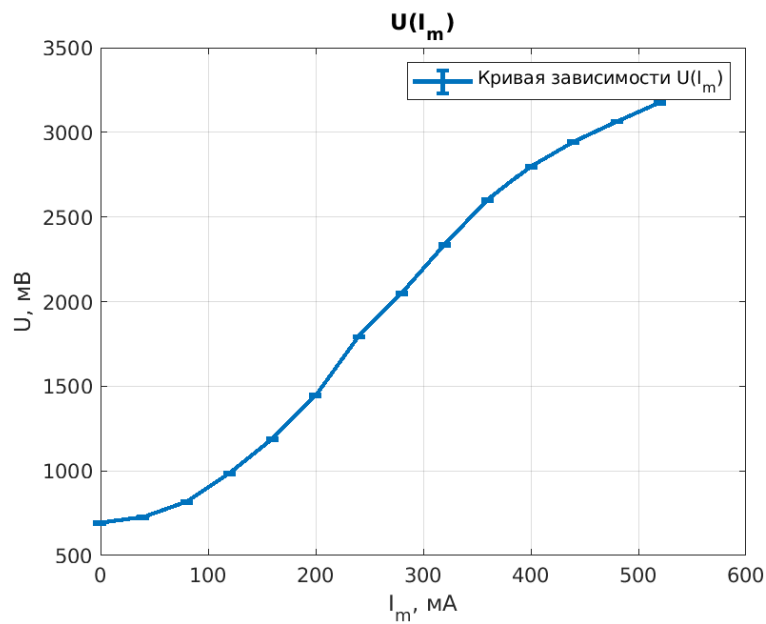
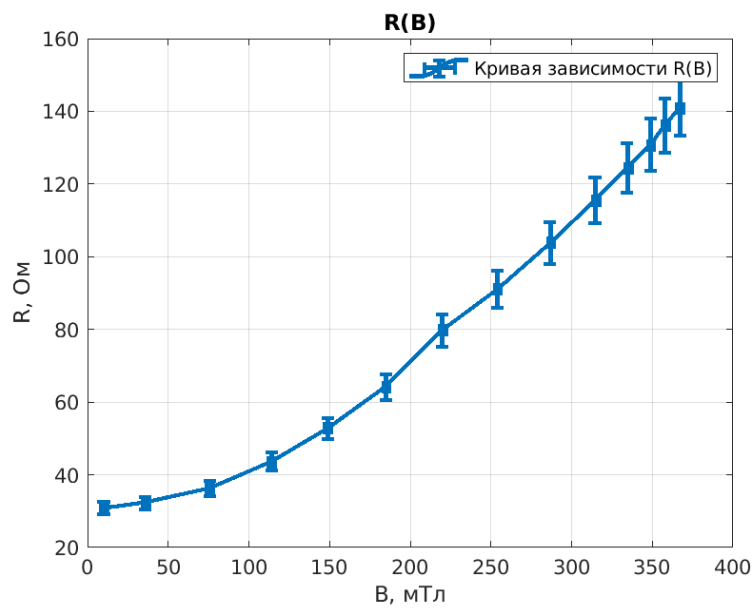
$I, \text{мА}$	0	10	20	30	40	50
$B, \text{мТл}$	10,1	12,0	20,8	28,3	35,9	45,1
$I, \text{мА}$	60	70	80	90	100	-
$B, \text{мТл}$	54,4	65,0	75,7	84,9	94,6	-
$I, \text{мА}$	120	140	160	180	200	220
$B, \text{мТл}$	113,9	131,3	148,7	167,0	184,9	204,0
$I, \text{мА}$	240	260	280	300	320	-
$B, \text{мТл}$	220	237	254	269	287	-
$I, \text{мА}$	340	360	380	400	420	440
$B, \text{мТл}$	303,0	315,0	324,0	335,0	343,0	349,0
$I, \text{мА}$	460	480	500	520	540	-
$B, \text{мТл}$	353,0	358,0	363,0	367,0	371,0	-

Таблица 1: Таблица данных для калибровочной кривой

Рис. 3: Калибровочная кривая $B(I_m)$

зарядов (так как известны погрешности отдельных измерений, но не выполняется $\Delta y \gg \Delta x$, то не получится воспользоваться методом хи-квадрат, используем МНК):

$$k = \mu^2 = 26,3 \pm 1,8 \text{ Тл}^{-2} \Rightarrow \mu = 5,13 \pm 0,17 \text{ Тл}^{-1} \quad (4)$$

Рис. 4: График $U(I_m)$ для диска КорбиноРис. 5: График $R(B)$ для диска Корбино

Заметим, что табличное значение этой величины равно $\mu_{theor} = 7,7 \text{ Тл}^{-1}$. Возможно, на результат повлияли условия, которые не были учтены во время проведения измерений.

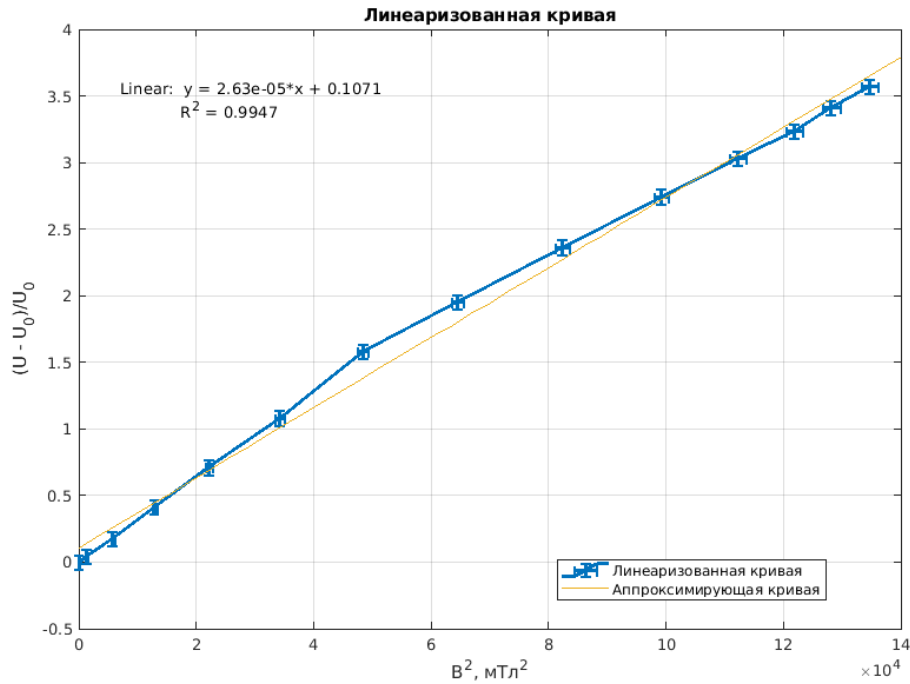


Рис. 6: График $\frac{U-U_0}{U_0}(B^2)$ для диска Корбино

При отсутствии магнитного поля сопротивление диска равно $R_0 = 30,9 \pm 1,7$ Ом. Отсюда легко найти удельную проводимость из формулы

$$R_0 = \frac{\ln \frac{D}{d}}{\sigma_0 2\pi h} \Rightarrow \sigma_0 = \frac{\ln \frac{D}{d}}{R_0 2\pi h} = 513 \pm 18 (\text{Ом} \cdot \text{см})^{-1} \quad (5)$$

Здесь были использованы геометрические размеры диска: $d = 3$ мм, $D = 18$ мм, $h = 1,8$ мм.

Теперь найдём концентрацию носителей тока:

$$n = \frac{\sigma_0}{e\mu} \approx 6,2 \cdot 10^{18} \text{ м}^{-3} \quad (6)$$

3.3. Прямоугольная пластина

Найдём все аналогичные параметры для прямоугольной пластины так же, как и для диска Корбино. Посчитаем сразу линейризованную зависимость $\frac{U-U_0}{U_0}(B^2)$:

Из коэффициента корреляции понятно, что зависимость нельзя считать линейной. Значит изначальная теоретическая зависимость тоже не выполняется.

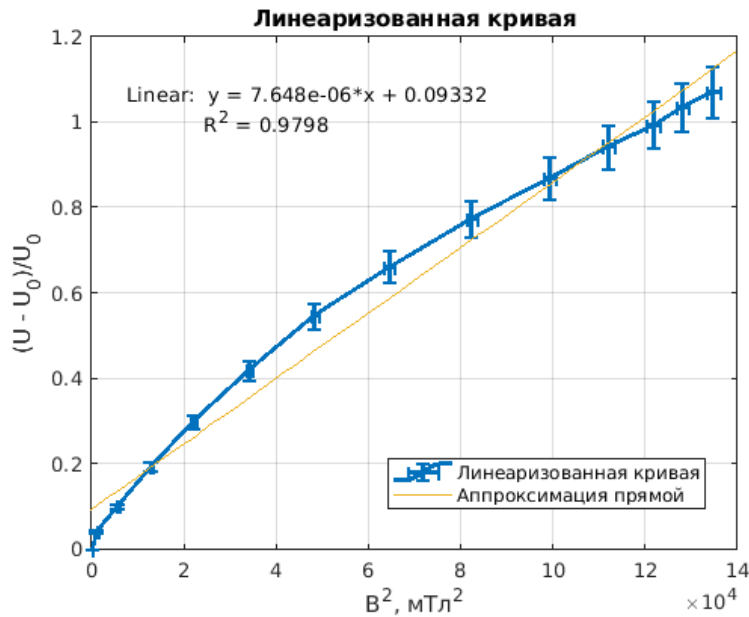


Рис. 7: График $\frac{U-U_0}{U_0}(B^2)$ для прямоугольной пластины (параллельное расположение)

Выходит, что она специфична для геометрической формы диска Корбино. Построим аналогичный график для перпендикулярного расположения пластины:

Понятно, что этот случай и должен был отличаться только коэффициентами зависимости.

4. Заключение

Теоретическая зависимость $R(B)$ действительно выполняется для диска Корбино. Полученный коэффициент зависимости, который равен подвижности носителей зарядов, отличается от табличного даже с учётом погрешности ($\mu = 5,13 \pm 0,17 \text{ Тл}^{-1}$, $\mu_{theor} = 7,7 \text{ Тл}^{-1}$). Отсюда можно сделать вывод, что либо не были учтены какие-то внешние факторы при снятии данных, либо исследуемый материал не является монокристаллическим антимонидом индия (InSb).

Квадратичная зависимость $R(B)$ действительно специфична для диска Корбино из-за его геометрических форм, так как для прямоугольной пластинки эта зависимость неверна (в любом её расположении).

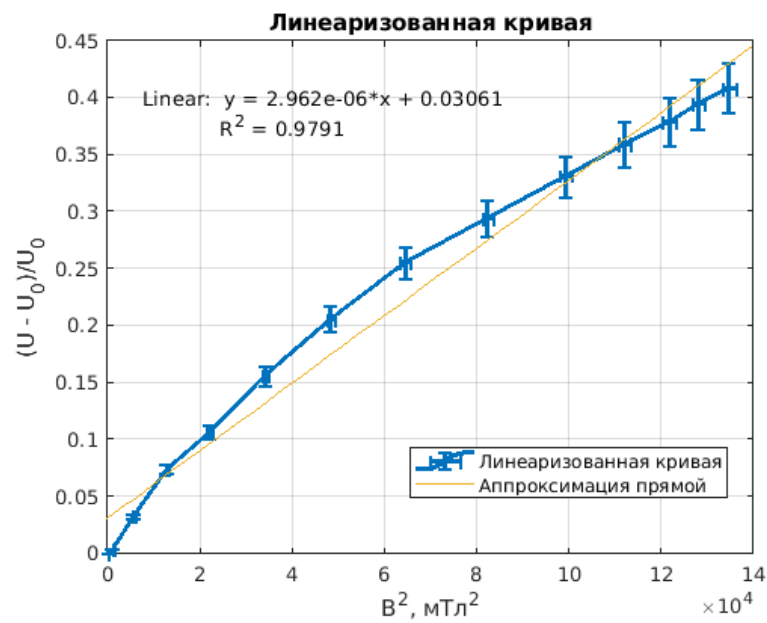


Рис. 8: График $\frac{U-U_0}{U_0}(B^2)$ для прямоугольной пластины (перпендикулярное расположение)

5. Список используемой литературы

- Лабораторный практикум по общей физике. Электричество и магнетизм
- [Описание лабораторных работ на кафедре общей физики МФТИ](#)