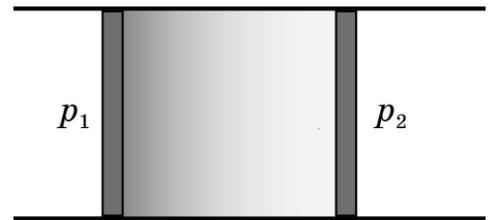


**Задача 1.11.1. Переправа (12 баллов).** Лодка переплывает реку по прямой, перпендикулярной берегам. Её скорость относительно воды равна  $v_0$ . До середины реки скорость течения изменяется по закону  $u = \alpha x$  от нуля до  $v_0/2$  – скорости воды на середине реки, где  $\alpha$  – известный коэффициент,  $x$  – расстояние от берега. После середины реки скорость уменьшается до нуля у другого берега по тому же закону.

Определите зависимость от времени угла между вектором скорости лодки относительно воды и направлением движения относительно берега. Через какое время лодка окажется на другом берегу?

**Задача 1.11.2. Доставка воды пневмопочтой (12 баллов).** Где-то в Космосе, вдали от звезд, движется по инерции фабрика-звездолет. В технологических процессах используется вода, которая доставляется к нужному месту порциями с массой  $m = 288$  г по гладким трубам, площадь поперечного сечения которых постоянна и равна  $S = 50$  см<sup>2</sup>. Каждая порция содержится между двумя одинаковыми поршнями, масса каждого из которых тоже равна  $m$ . Температура порции  $T$  при движении в установившемся режиме (колебания поршней относительно друг друга отсутствуют) остается неизменной. Движение поршней и порции воды по трубе обеспечивается давлением сжатого газа: «позади» них давление газа  $p_1$  всегда в 1,5 раза больше, а «перед» ними ( $p_2$ ) – в два раза меньше, чем давление насыщенного водяного пара при температуре  $T$ .

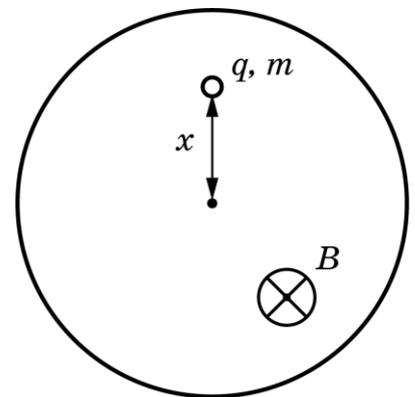


Какая часть массы воды в порции при движении в установившемся режиме находится в жидком состоянии? Каково в этом режиме расстояние между поршнями?

Плотность насыщенного водяного пара при температуре  $T$  составляет  $\varepsilon = 6\%$  от плотности жидкой воды, которая при этой температуре равна  $\rho \approx 0,72$  г/см<sup>3</sup>.

В вычислениях для простоты можно считать воду совершенно несжимаемой, а водяной пар – почти идеальным газом. Ответ для расстояния между поршнями выразите в см с точностью до целого значения.

**Задача 1.11.3. Полетели (12 баллов).** В вакууме в невесомости между круглыми полюсами электромагнита на расстоянии  $x$  от оси магнита покоится частица массы  $m$  и заряда  $q$ . Сначала магнитное поле равно нулю. Затем, за малый промежуток времени, индукция магнитного поля увеличивается до значения  $B_0$  и поддерживается постоянной в течение времени  $\tau < \pi m / (qB_0)$ , после чего очень быстро уменьшается до нуля.



1) Почему частица приходит в движение? Опишите качественно траекторию частицы.

2) С какой скоростью движется частица после включения магнитного поля?

24 января на портале <http://abitu.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач первого тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 10.00; 9 класс – 12.00; 10 класс – 13.30; 11 класс – 15.00.

26 января состоится онлайн-разбор решений заданий второго тура. Начало разбора:

7 класс – 11.00; 8 класс – 10.00; 9 класс – 12.00; 10 класс – 13.30; 11 класс – 15.00.

- 3) С какой скоростью движется частица после выключения магнитного поля?
- 4) На каком минимальном расстоянии от оси магнита проходит траектория частицы?
- 5) Через какое время от момента включения поля частица окажется на минимальном расстоянии от оси магнита?

Магнитное поле в пределах полюсов можно считать однородным. Перемещением частицы за время включения и выключения поля можно пренебречь.

**Задача 1.11.4. Эффект Холла (14 баллов).** Электроны являются носителями тока в металлах и полупроводниках  $n$ -типа. Если образец с током (в данном случае прямоугольный кусочек плёнки полупроводника  $n$ -типа) помещён в магнитное поле и через него протекает электрический ток, то на движущиеся электроны действует сила Лоренца  $F = e\vec{v}B$ , перпендикулярная скорости  $\vec{v}$  электрона и вектору  $\vec{B}$  магнитной индукции (рис. 1).

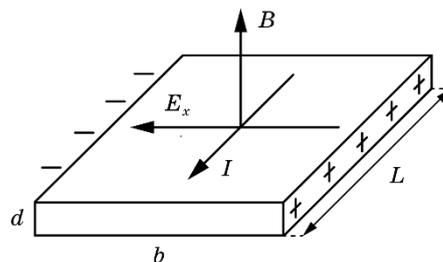


Рис. 1

Здесь  $v$  – средняя скорость дрейфа электронов, связанная с проходящим током  $I$  и прямо пропорциональная напряженности электрического поля  $\vec{E}$  в направлении этого тока:  $v = \mu E$ , где коэффициент пропорциональности  $\mu$  называется подвижностью электронов.

Из-за действия на электроны силы Лоренца (на рисунке она направлена в сторону левой грани), происходит разделение зарядов и появляется поперечное электрическое поле с напряженностью  $E_x$ . Возникновению этого поля при протекании тока в образце, помещенном в магнитное поле, называют эффектом Холла. Перемещение электронов в направлении левой грани прекращается, когда силу Лоренца уравнивает электрическая сила  $eE_x$ :

$$e\vec{v}B = eE_x.$$

В установившемся режиме напряжённость поперечного электрического поля  $E_x = vB$ .

Ниже описан эксперимент, в котором эффект Холла используется для исследования свойств полупроводника.

Ток создаёт источник с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В и малым внутренним сопротивлением. Величина магнитной индукции  $B = 1,0$  Тл. Для изменения тока применяют переменный резистор, а вольтметром измеряют напряжение  $U_x$  между боковыми гранями в направлении, перпендикулярном магнитному полю и направлению протекающего тока.

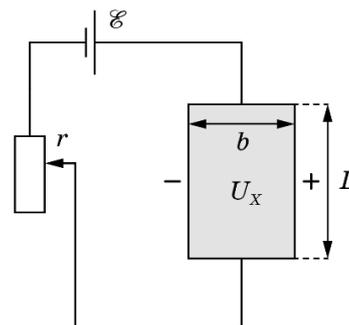


Рис. 2

Размеры полупроводникового образца: толщина  $d = 1,0$  мкм, ширина  $b = 5,0$  мм, длина  $L = 1,0$  см. Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

В таблице представлена зависимость  $U_x$  от сопротивления  $r$  переменного резистора.

$r$ , кОм	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,0
$U_x$ , В	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1	2,5

24 января на портале <http://abitu.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач первого тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 10.00; 9 класс – 12.00; 10 класс – 13.30; 11 класс – 15.00.

26 января состоится онлайн-разбор решений заданий второго тура. Начало разбора:

7 класс – 11.00; 8 класс – 10.00; 9 класс – 12.00; 10 класс – 13.30; 11 класс – 15.00.

### Задание

1. Выразите  $U_x$  через силу тока  $I$  в образце, концентрацию  $n$  электронов проводимости и физические величины, приведенные в описании эксперимента ( $\mathcal{E}$ ,  $B$ ,  $d$ ,  $b$ ,  $L$ ,  $e$ ).
2. Выразите сопротивление  $R$  и удельное сопротивление  $\rho$  образца через его размеры, подвижность  $\mu$  и концентрацию  $n$  электронов проводимости.
3. Используя уравнения, полученные в п.п. 1, 2, выразите  $U_x$  через концентрацию  $n$  и подвижность  $\mu$  электронов проводимости, сопротивление  $r$  и физические величины, приведенные в описании эксперимента.
4. Используя выражение, полученное в п. 3, при помощи графического анализа экспериментальных данных определите для исследуемого полупроводника:
  - а) концентрацию  $n$  электронов проводимости;
  - б) их подвижность  $\mu$ ;
  - в) удельное сопротивление  $\rho$ .Опишите выбранный для этого способ обработки данных.

**Внимание!** Из-за ограниченного времени выполнения задания погрешность определения  $n$ ,  $\mu$  и  $\rho$  оценивать не требуется, однако точность полученных вами промежуточных и конечных результатов будет учитываться при выставлении баллов.

24 января на портале <http://abitu.net/vseros> будет проведён онлайн-разбор решений задач первого тура. Начало разбора (по московскому времени):

7 класс – 11.00; 8 класс – 10.00; 9 класс – 12.00; 10 класс – 13.30; 11 класс – 15.00.

26 января состоится онлайн-разбор решений заданий второго тура. Начало разбора:

7 класс – 11.00; 8 класс – 10.00; 9 класс – 12.00; 10 класс – 13.30; 11 класс – 15.00.