

## Физика Электричество

## פיזיקה חשמל

### Указания

### הוראות

- א. משך הבחינה: שתיים ורבע.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה:  
בשאלון זה שש שאלות,  
ומהן יש לענות על שלוש בלבד.  
לכל שאלה –  $33\frac{1}{3}$  נקודות;  $3 \times 33\frac{1}{3} = 100$  נקודות
- ג. חומר עזר מותר בשימוש:  
(1) מחשבון לא גרפי. אין להשתמש באפשרויות התכנות במחשבון שיש בו אפשרות תכנות.  
(2) דפי נוסחאות ונתונים (מצורפים).  
(3) מילון עברי-לועזי/לועזי-עברי.
- ד. הוראות מיוחדות:  
(1) יש לענות על שלוש שאלות בלבד. אם תענו על יותר משלוש שאלות, ייבדקו רק שלוש התשובות הראשונות שבמחברת. יש לציין באופן ברור את מספר השאלה שבחרתם ואת הסעיף.  
(2) בשאלות שבפתרון שלהן נדרש חישוב, יש להציג את השלבים האלה:  
רישום הביטוי המתמטי כפי שהוא כתוב בדפי הנוסחאות והנתונים המצורפים, פיתוח מתמטי ושינוי נושא נוסחה בהתאם לבעיה, הצגה מפורשת של הנתונים בביטוי שהתקבל, הצגת תוצאות החישוב באמצעות שבר עשרוני ובו מספר מתאים של ספרות משמעותיות וכן יחידות המידה.  
(3) את הגרפים יש לסרטט בגודל של חצי עמוד לפחות. יש להשתמש בסרגל לסרטוט קווים ישרים.  
(4) כאשר נדרשים להביע גודל באמצעות נתוני השאלה, יש לרשום ביטוי מתמטי הכולל את נתוני השאלה או את חלקם; במידת הצורך אפשר להשתמש גם בקבועים בסיסיים מתוך הטבלה שבדפי הנוסחאות והנתונים או בגודל תאוצת הנפילה החופשית  $g$ .  
(5) בחישובים יש להשתמש בערך  $10 \text{ m/s}^2$  לגודל של  $g$  – תאוצת הנפילה החופשית (בסמוך לפני כדור הארץ).  
(6) יש לכתוב את התשובות בעט. מותר להשתמש בעיפרון לסרטטים וגרפים בלבד.  
(7) במקרה של טעות, אפשר להסתפק בהעברת קו חוצה כפול על המילים או המשפטים השגויים.
- א. Продолжительность экзамена: 2 часа 15 минут.
- б. Строение вопросника и ключ к оценке:  
В этом вопроснике шесть вопросов, вы должны ответить только на три из них.  
За каждый вопрос –  $33\frac{1}{3}$  балла;  $3 \times 33\frac{1}{3} = 100$  баллов
- в. Разрешенный вспомогательный материал:  
1. Калькулятор без графического дисплея. Нельзя пользоваться возможностями программирования, если они есть в калькуляторе.  
2. Формулы и данные (прилагаются).  
3. Двухязычный словарь.
- г. Особые указания:  
1. Ответьте только на три вопроса. Если вы ответите более чем на три вопроса, будут проверены только первые три ответа в вашей тетради. Четко отметьте номер выбранного вопроса и пункта.  
2. При решении вопросов, требующих вычислений, запишите следующие этапы:  
запись математических выражений в том виде, в котором они представлены в приложенном листе формул и данных, математическое преобразование и изменение искомого формулы в соответствии с задачей, подробная запись данных в полученном выражении, запись результатов вычислений посредством десятичной дроби с необходимым для задачи количеством цифр и в соответствующих единицах измерения.  
3. Графики должны быть размером не менее, чем в полстраницы. Прямые линии чертите с помощью линейки.  
4. Когда требуется представить величину с помощью данных вопроса, запишите математическое выражение, включающее данные вопроса или их часть; при необходимости можно также пользоваться основными константами из таблицы на листе формул и данных или значением ускорения свободного падения  $g$ .  
5. В своих вычислениях используйте значение  $10 \text{ m/s}^2$  как  $g$  – ускорение свободного падения (вблизи Земли).  
6. Пишите свои ответы ручкой. Карандаш можно использовать только для чертежей и графиков.  
7. Если вы допустили ошибку, достаточно зачеркнуть двумя линиями неправильные слова или предложения.

יש לכתוב במחברת הבחינה בלבד. יש לרשום "טיוטה" בראש כל עמוד המשמש טיוטה.  
כתיבת טיוטה בדפים שאינם במחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה.

Пишите только в экзаменационной тетради. Напишите слово «טיוטה» в начале каждой страницы, отведенной вами под черновик. Выполнение черновых записей на листах, не относящихся к экзаменационной тетради, может привести к тому, что экзамен будет аннулирован.

Желаем успеха!

בהצלחה!

## Вопросы

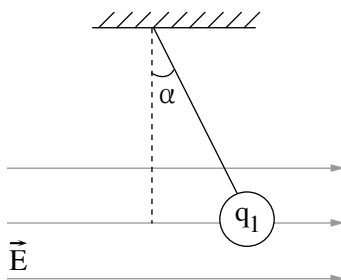
Ответьте на три из вопросов 1–6.

(За каждый вопрос –  $33\frac{1}{3}$  балла; число баллов за каждый пункт вопроса указано в его конце).

1. Учитель физики провел два демонстрационных опыта по электростатике.

В первом опыте учитель подвесил пластмассовый шарик массой  $m$  на конец нити, прикрепленной к потолку, и зарядил его зарядом  $q_1$ .

Вблизи шарика учитель создал однородное горизонтальное электрическое поле  $\vec{E}$ , направленное вправо. Вследствие создания поля прикрепленный к нити шарик отклонился вправо под углом  $\alpha$  от вертикали, как показано на чертеже 1.



Чертеж 1

(**8**) (1) Выведите выражение, связывающее угол отклонения  $\alpha$  и напряженность электрического поля  $E$ .

Используйте параметры  $m$ ,  $q_1$  и физические константы по мере необходимости.

(2) Дано: масса шарика  $m = 0.2\text{gr}$ .

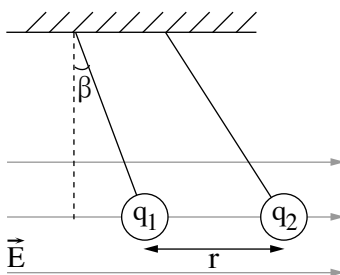
Когда напряженность электрического поля была  $E = 5700\frac{\text{N}}{\text{C}}$ , шарик, подвешенный к нити, отклонился на угол  $\alpha = 14^\circ$ .

Определите знак электрического заряда,  $q_1$ , и вычислите величину этого заряда с помощью выведенного вами выражения. Обоснуйте свой ответ.

(7 баллов)

Во втором опыте учитель подвесил в электрическом поле  $\vec{E}$  еще один пластмассовый шарик той же массы  $m$ , заряженный положительным зарядом  $q_2$ .

Вследствие этого угол отклонения первого шарика (заряженного зарядом  $q_1$ ) изменился и стал равен  $\beta$ . Расстояние между центрами шариков равно  $r$ , как показано на чертеже 2.



Чертеж 2

В ходе второго опыта учитель несколько раз менял расстояние  $r$  между центрами шариков и каждый раз соответственно менял напряженность электрического поля  $E$ , так чтобы величина угла отклонения  $\beta$  первого шарика оставалась постоянной.

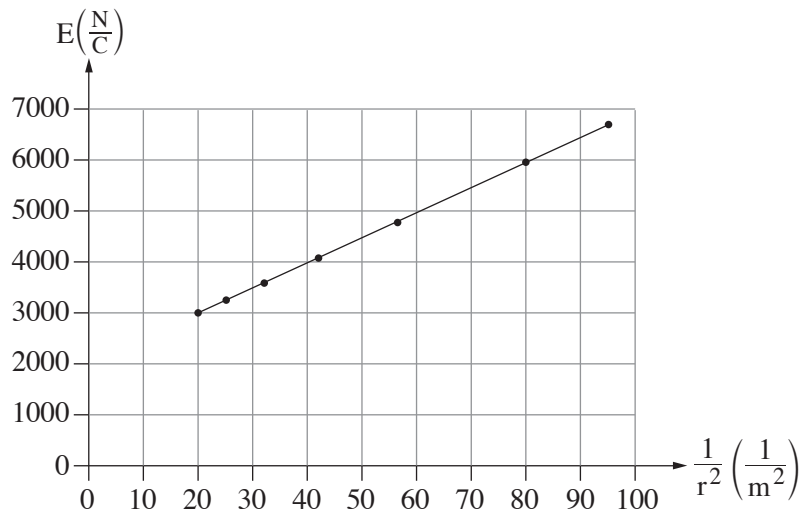
Каждый раз учитель записывал расстояние  $r$  между центрами шариков и соответствующую напряженность электрического поля  $E$ .

При каждом измерении учитель следил, чтобы высота центров шариков оставалась постоянной (при помощи изменения длины нити второго шарика).

(а) Начертите силы, действующие на шарик с зарядом  $q_1$  во втором опыте (чертеж 2). Рядом с каждым вектором напишите название силы. Для каждой из сил укажите ее источник [הגורם המפעיל אותו]. (5 баллов)

(б) Покажите, что выражение, описывающее напряженность электрического поля  $E$  как функцию расстояния  $r$  между центрами шариков – это  $E = k \frac{q_2}{r^2} + \frac{mg}{q_1} \tan \beta$ . (8 баллов)

На чертеже 3 приведен график напряженности электрического поля как функции  $\frac{1}{r^2}$ .



Чертеж 3

(г) При помощи графика найдите величину заряда  $q_2$  и угол отклонения  $\beta$  первого шарика. (8 баллов)

(д) Одна из учениц в классе предложила зарядить второй шарик другим зарядом  $q_2$ , чтобы оба шарика отклонились вправо на один и тот же угол от вертикали. Возможно ли это? Ниже приведено пять вариантов ответа 1–5. Определите, какой из них является верным ответом и обоснуйте свой выбор.

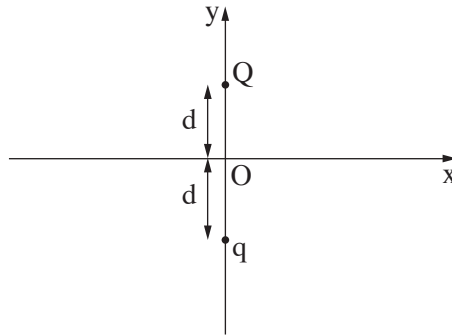
1. Да, в этом случае  $q_2 > q_1$ .
2. Да, в этом случае  $q_2 = q_1$ .
3. Да, в этом случае  $q_2 < q_1$ .
4. Да, равенство углов выполняется для любого значения  $q_2$ .
5. Нет, это невозможно.

(5  $\frac{1}{3}$  балла)

2. На чертеже 1 изображена система координат и два положительных точечных заряда  $q$  и  $Q$ . Заряды расположены на вертикальной оси (ось  $y$ ), каждый из них на расстоянии  $d$  от точки начала координат,  $O$ .

Дано:  $Q > q$ .

Во всем этом вопросе действием силы тяжести следует пренебречь.



Чертеж 1

- (**к**) Выразите напряженность электрического поля, возникшего в точке начала координат,  $O$ , при помощи параметров  $d$ ,  $Q$ ,  $q$  и физических констант по мере необходимости. Укажите направление поля. (6 баллов)

Потенциал в бесконечности считается равным нулю.

- (**а**) Есть ли какая-либо точка в пространстве (за исключением бесконечности), в которой электрический потенциал равен нулю? Если да, то выразите местоположение этой точки. Если нет, то объясните почему. (6 баллов)

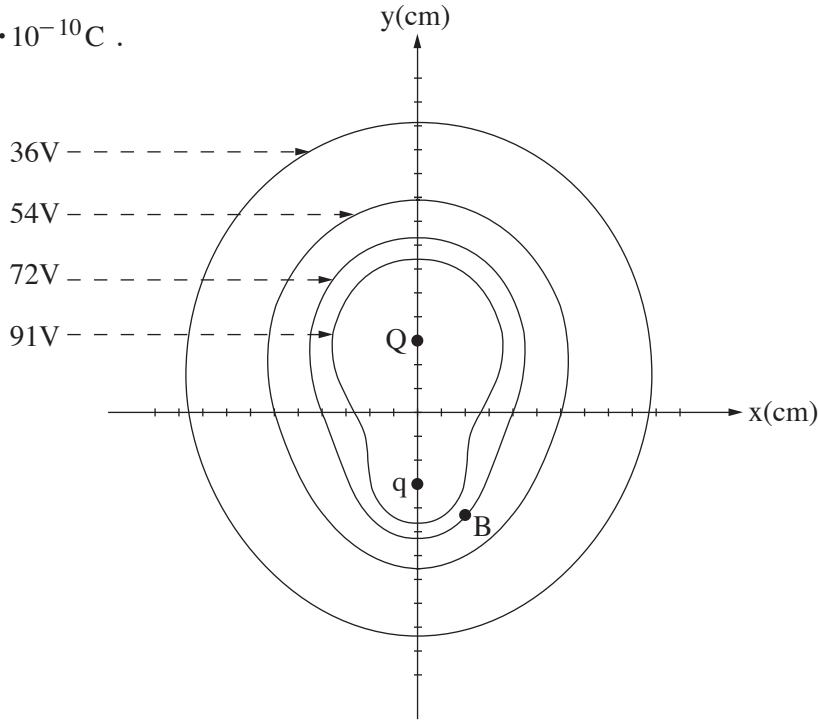
**Обратите внимание:** продолжение вопроса на следующей странице.

На чертеже 2 изображены линии, описывающие эквипотенциальные поверхности этой системы зарядов. Значение потенциала каждой линии обозначено на чертеже стрелкой.

На осях на чертеже расстояние между каждыми двумя соседними делениями соответствует расстоянию в 2 см.

Заряд  $Q$  расположен в точке  $(0, 6 \text{ см})$ , а заряд  $q$  в точке  $(0, -6 \text{ см})$ , как показано на чертеже 2.

Дано:  $Q = 6 \cdot 10^{-10} \text{ С}$ .



Чертеж 2

(а) С помощью чертежа 2 вычислите величину заряда  $q$ . Приведите подробные вычисления. (8 баллов)

(б) Положительно заряженной частице (позитрону, обозначенному  $e^+$ ), расположенному в начале координат,  $O$ , придадут скорость величиной  $v_0 = 5.2 \cdot 10^6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Дано: масса позитрона  $m_{e^+} = 9.11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ , заряд позитрона  $q_{e^+} = +1.6 \cdot 10^{-19} \text{ С}$ .

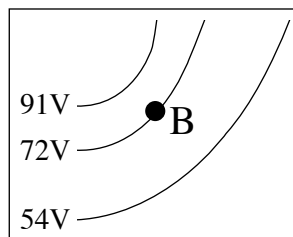
Позитрон движется по некоторой траектории под влиянием электрических сил, с которыми воздействуют на него заряды  $q$  и  $Q$ , и в ходе движения он проходит через точку  $B$ , расположенную на одной из эквипотенциальных линий, как показано на чертеже 2.

Вычислите величину скорости позитрона,  $v_B$ , в момент его прохождения через точку  $B$ . (8 баллов)

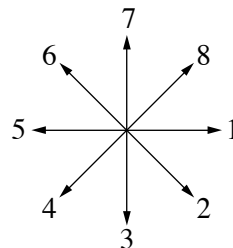
(в) На чертеже 3а изображена роза направлений, в которой восемь направлений (1–8).

С помощью чертежа 3а определите, какое из направлений 1–8 приблизительно соответствует направлению ускорения позитрона, когда он проходит точку  $B$ . Обоснуйте свой ответ.

( $5\frac{1}{3}$  балла)



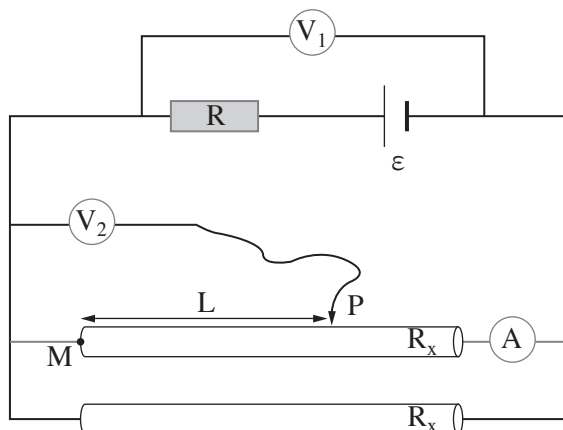
3а: Увеличенный фрагмент  
 вблизи точки B



3б: Роза направлений

Чертеж 3

3. Ученица собрала электрическую цепь, показанную на чертеже 1, из следующих компонентов:
- Батарея, ЭДС которой  $\varepsilon = 12V$ , а ее внутреннее сопротивление пренебрежимо мало.
  - Резистор  $R$  с постоянным сопротивлением.
  - Два одинаковых проводящих стержня, сопротивление каждого из которых равно  $R_x$ .  
У стержней однородное сопротивление на единицу длины,  $\lambda$ .
  - Идеальные измерительные приборы: амперметр  $A$ , вольтметр  $V_1$  и вольтметр  $V_2$ .
  - Подвижный контакт  $P$ , соединяющий вольтметр  $V_2$  с верхним стержнем  $R_x$ .
  - Проводники, сопротивление которых пренебрежимо мало.



Чертеж 1

Дано: амперметр в данной цепи (смотрите чертеж 1) показывает  $I = 1.25A$ ,  
а вольтметр  $V_1$  показывает  $V_1 = 8V$ .

- (а) Вычислите сопротивление  $R_x$  каждого из стержней. Подробно изложите этапы решения.  
(6 баллов)
- (б) Вычислите сопротивление резистора  $R$ . Подробно изложите этапы решения.  
(7 баллов)

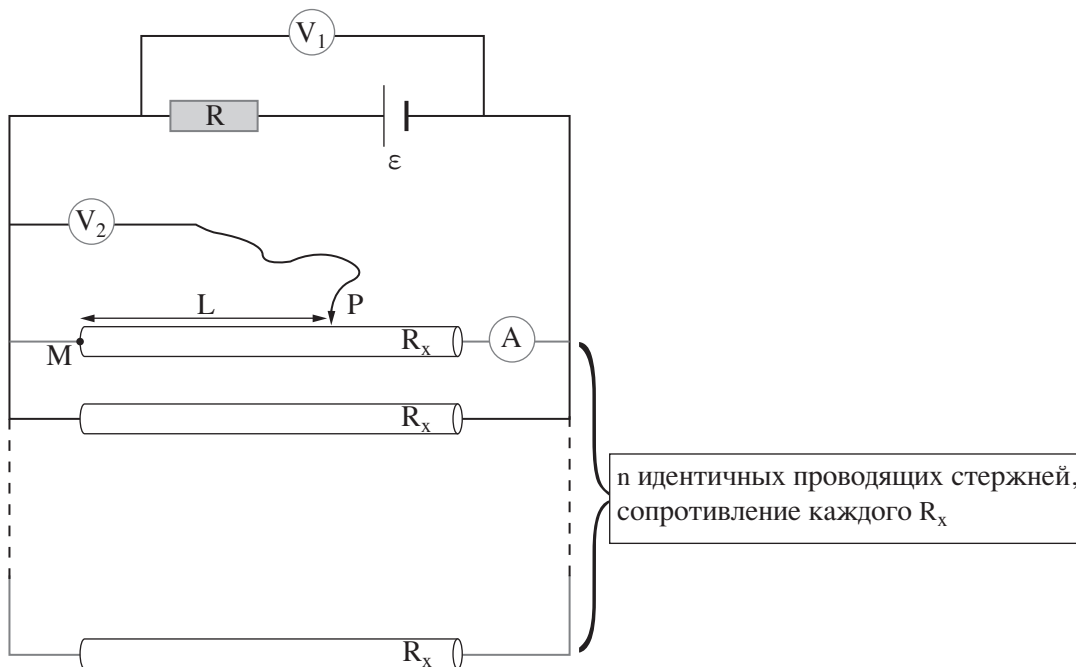
Точка  $M$  на чертеже – это левый конец верхнего стержня  $R_x$ .

Когда подвижный контакт  $P$  находится на расстоянии  $L = 40\text{cm}$  справа от точки  $M$ ,  
вольтметр  $V_2$  показывает  $V_2 = 6V$ .

- (в) Вычислите  $\lambda$  (сопротивление на единицу длины проводящего стержня). Подробно  
изложите этапы решения. (7 баллов)

**Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.**

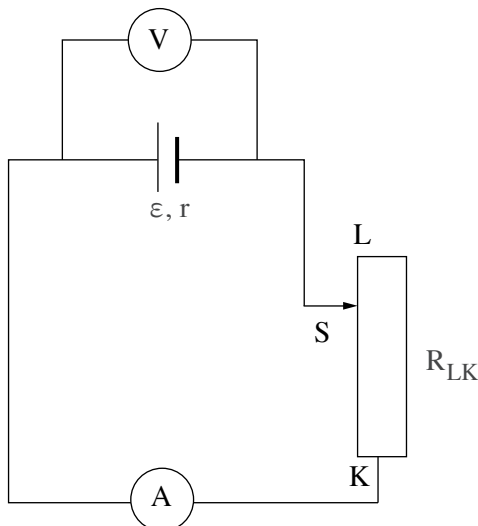
Параллельно двум стержням, которые находятся в цепи, ученица добавила несколько проводящих стержней, идентичных данным стержням (смотрите чертеж 2).  
 На данном этапе всего в цепи есть  $n$  идентичных проводящих стержней, сопротивление каждого из которых  $R_x$ .



Чертеж 2

- (7) Выведите параметрическое выражение для силы тока, которую показывает амперметр А (в цепи, изображенной на чертеже 2), как функции  $\varepsilon$ ,  $R_x$ ,  $R$ ,  $n$  (по мере необходимости). (8 баллов)
- (8) Ниже приведены четыре высказывания 1–4, описывающие изменения в показаниях вольтметров при увеличении числа проводящих стержней (при увеличении  $n$ ). Определите, какое высказывание верно, и обоснуйте свой выбор.
1. Показания обоих вольтметров уменьшаются.
  2. Показания обоих вольтметров увеличиваются.
  3. Показания вольтметра  $V_1$  увеличиваются, а показания вольтметра  $V_2$  уменьшаются.
  4. Показания вольтметра  $V_1$  уменьшаются, а показания вольтметра  $V_2$  увеличиваются.
- (5  $\frac{1}{3}$  балла)

4. Ученики собрали электрическую цепь, показанную на чертеже 1, из следующих компонентов: батарейка, ЭДС которой равна  $\varepsilon$ , а внутреннее сопротивление равно  $r$ , переменный резистор, сопротивление которого  $R_{LK}$  и точка подвижного контакта которого  $S$ , проволочные проводники, сопротивление которых пренебрежимо мало, и идеальные измерительные приборы – вольтметр  $V$  и амперметр  $A$ .



Чертеж 1

- (**⌘**) Ученики передвинули подвижный контакт  $S$  переменного резистора  $R_{LK}$  в направлении конца  $L$ .

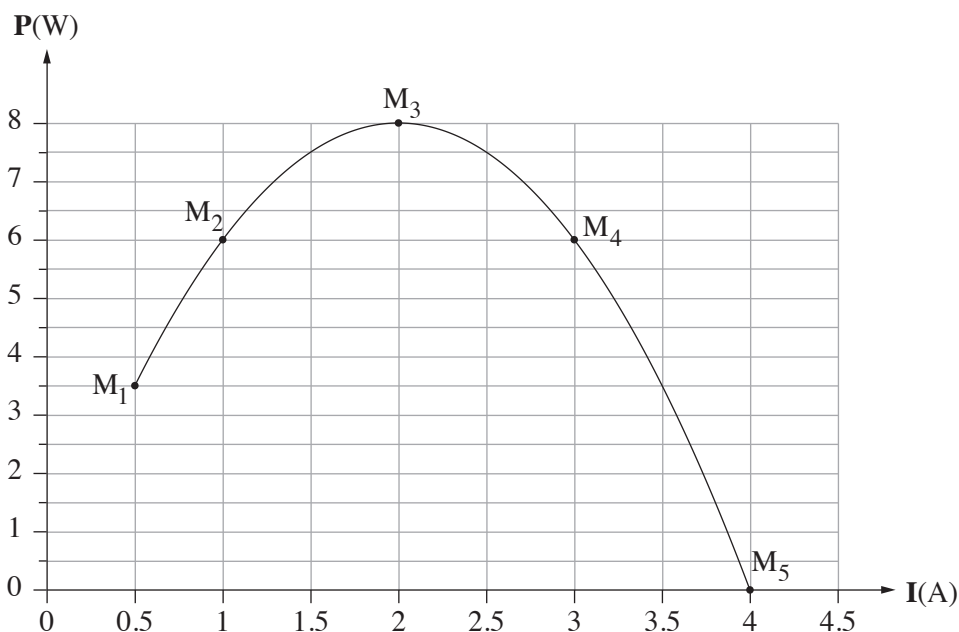
Определите, увеличились, уменьшились или не изменились показания вольтметра  $V$ .

Обоснуйте свой ответ. (5 баллов)

Ученики изменяли местоположение подвижного контакта  $S$  пять раз (два из местоположений были на концах  $K$  и  $L$ ).

Каждый раз они записывали показания амперметра  $A$  и вольтметра  $V$  и вычисляли мощность  $P$ , которая развивается на переменном резисторе  $R_{LK}$  в каждой из точек измерения  $M_1$ – $M_5$ .

Ученики начертили график мощности  $P$  как функции силы тока  $I$  (смотрите чертеж 2).



Чертеж 2



- (а) Выберите на графике на чертеже 2 точку, подходящую для вычисления максимального сопротивления переменного резистора  $R_{LK}$ . Вычислите максимальное сопротивление переменного резистора  $R_{LK}$ .

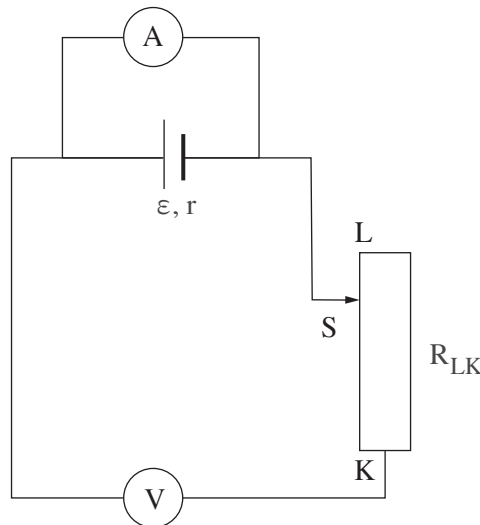
Подробно изложите свои соображения при выборе подходящей точки и этапы решения.  
(7 баллов)

- (а) Вычислите ЭДС  $\varepsilon$  и внутреннее сопротивление  $r$  батарейки (вы можете выбрать для этого две точки на графике или использовать любой другой способ). Подробно изложите этапы решения.  
(9 баллов)

В двух точках,  $M_2$  и  $M_4$ , мощность, использованная на переменном резисторе  $R_{LK}$ , была одинаковой.

- (г) Была ли также одинакова бесполезно израсходованная мощность батарейки в двух данных точках измерения? Если да, обоснуйте свой ответ. Если нет, определите, в какой точке бесполезно израсходованная мощность была больше, и вычислите, во сколько раз она была больше.  
(7 баллов)

Ученики поменяли местами в цепи амперметр  $A$  и вольтметр  $V$  (смотрите чертеж 3).



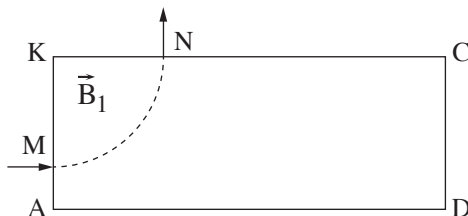
Чертеж 3

- (г) Ниже приведены четыре высказывания 1–4 относительно цепи на чертеже 3. Определите, какое высказывание верно, и обоснуйте свой выбор.
1. Амперметр показывает 0, и вольтметр показывает 0.
  2. Поскольку не указано местоположение подвижного контакта  $S$  на переменном резисторе  $R_{LK}$ , невозможно узнать, каковы показания измерительных приборов.
  3. Показания измерительных приборов (в цепи, изображенной на чертеже 3) идентичны показаниям измерительных приборов для точки  $M_5$  на графике, изображенном на чертеже 2.
  4. Амперметр показывает 0, а вольтметр показывает  $\varepsilon$ .
- (5  $\frac{1}{3}$  балла)

5. Частица, имеющая массу  $m$  и положительный заряд  $q$ , влетает на участок прямоугольной формы  $AKCD$ , в котором действует однородное магнитное поле  $\vec{B}_1$ , направление которого перпендикулярно поверхности листа.

Частица влетает в это магнитное поле в точке  $M$  перпендикулярно стороне  $AK$  и вылетает из него в точке  $N$ , перпендикулярно стороне  $KC$ , как показано на чертеже 1.

На протяжении всего вопроса следует пренебречь действием силы тяжести.



Чертеж 1

Дано: скорость, с которой частица влетает в магнитное поле:  $v_0 = 2 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ ,

заряд частицы:  $q = 1.6 \cdot 10^{-19} C$ , индукция магнитного поля:  $B_1 = 0.05 T$ ,

время пребывания частицы в магнитном поле:  $t_1 = 3.279 \cdot 10^{-7} s$ .

(\*) Найдите направление магнитного поля  $\vec{B}_1$ , подробно изложите свои соображения.

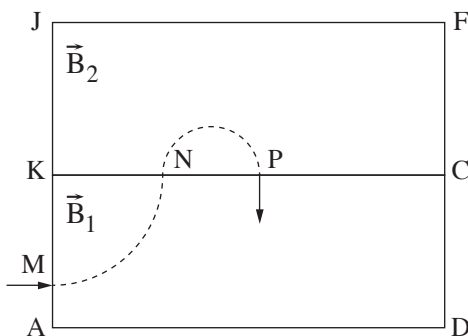
(5 баллов)

(\*) Вычислите массу частицы  $m$ . (8 баллов)

Создают другое магнитное поле,  $\vec{B}_2$ , которое также является однородным и перпендикулярно поверхности листа, на участке прямоугольной формы  $KJFC$ , расположенном над первым прямоугольным участком, как показано на чертеже 2. Частице снова задают ту же самую начальную скорость  $v_0$ , и она движется по траектории, изображенной на чертеже 2.

Она вылетает из прямоугольника  $KJFC$  в точке  $P$  перпендикулярно  $KC$ .

Дано, что расстояние  $KP$  равно  $62.6 \text{ cm}$ .



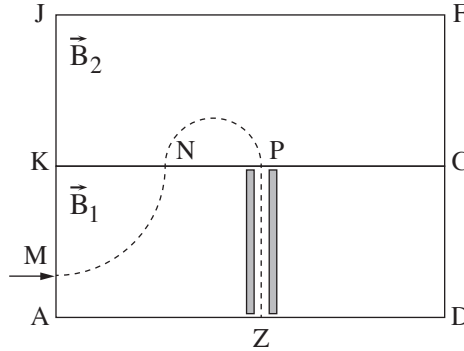
Чертеж 2

(\*) Вычислите индукцию магнитного поля  $\vec{B}_2$  (величину и направление).

(9 баллов)

К прямоугольнику AKCD добавили заряженные пластины, между которыми существует однородное электрическое поле  $\vec{E}$  (фильтр скоростей [בורר מהירות]).

После того, как частица проходит через точку P и снова влетает на прямоугольный участок AKCD, она движется по прямой линии между двумя пластинами, и вылетает из прямоугольника в точке Z, как показано на чертеже 3.



Чертеж 3

- (7) Вычислите напряженность электрического поля  $\vec{E}$  (величину и направление). Подробно укажите этапы решения. (6 баллов)

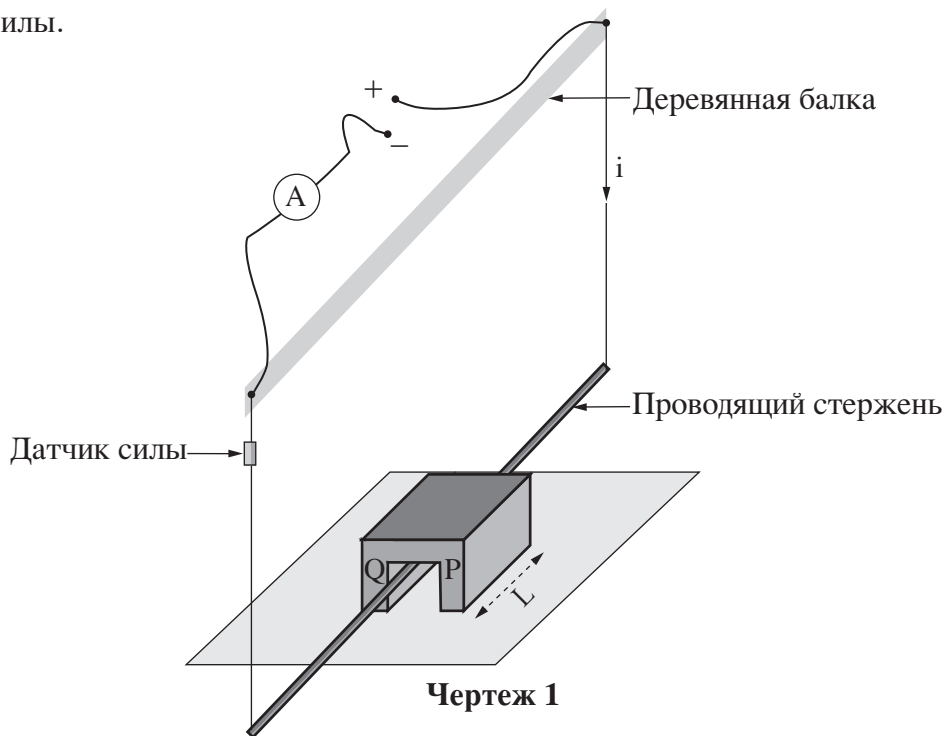
Той же частице ( $m, q$ ) придадут ту же начальную скорость,  $v_0 = 2 \cdot 10^6 \frac{m}{s}$ .

На этот раз частица влетает перпендикулярно стороне AD в точке Z (смотрите чертеж 3), движется в противоположном направлении по траектории  $Z \rightarrow P \rightarrow N \rightarrow M$  и вылетает перпендикулярно стороне AK в точке M.

- (7) Определите, изменили ли в этом опыте направление одного или более из полей  $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{E}$  на противоположное.

Обоснуйте свой ответ. ( $5\frac{1}{3}$  балла)

6. Ученики собрали установку для опыта, состоящую из проводящего стержня, который подвешен к горизонтальной деревянной балке на двух проводящих нитях. Стержень и нити являются частью электрической цепи, в которой можно изменить силу тока  $i$  (чертеж 1). Проводящий стержень расположен между двумя полюсами Q, P подковообразного магнита, лежащего на поверхности. Направление проводящего стержня перпендикулярно направлению однородного магнитного поля  $\vec{B}$  данного магнита, и стержень не касается поверхности и магнита. Масса проводящего стержня равна  $m$ .  
 Длина части проводящего стержня, находящейся в магнитном поле,  $L = 10\text{ cm}$ .  
 Датчик силы измеряет натяжение одной из нитей. Натяжение обеих нитей одинаково.  
 В этом вопросе следует пренебречь действием магнитного поля Земли, массой нитей и массой датчика силы.



Ученики несколько раз изменяли силу тока  $i$ , и каждый раз записывали натяжение  $T$ , измеренное датчиком силы.

Результаты измерений представлены в таблице.

$i(\text{A})$	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
$T(\text{N})$	0.090	0.075	0.045	0.035	0.010

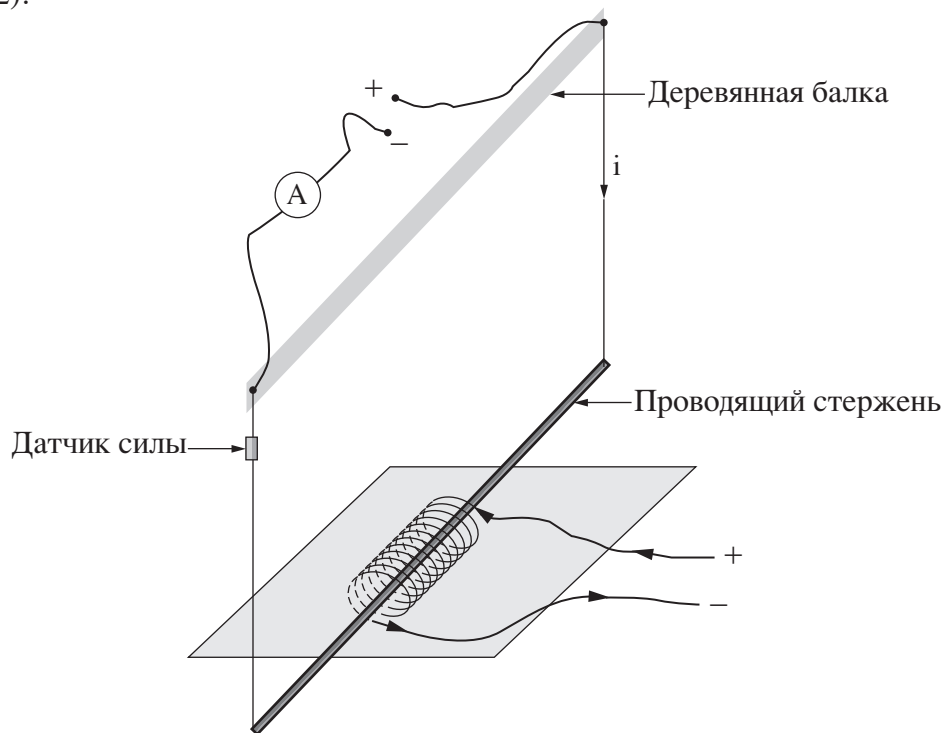
- (к) Определите направление магнитного поля в подковообразном магните (от P к Q или от Q к P). В своем ответе воспользуйтесь чертежом 1 и результатами измерений, приведенными в таблице. Обоснуйте свой ответ. (6 баллов)
- (а) Выведите выражение для натяжения нити как функции силы тока  $i$ . При необходимости воспользуйтесь параметрами  $L$ ,  $B$ ,  $m$  и физическими константами. Предположите, что индукция магнитного поля за пределами магнита пренебрежимо мала, а внутри магнита поле является однородным. (6 баллов)
- (б) (1) Начертите в своей тетради диаграмму распределения (точки в системе координат) значений натяжения нити как функции силы тока, текущего в стержне.  
 (2) Дополните диаграмму распределения наиболее подходящей прямой (линия направления) [תמונה].  
 (8 баллов)

Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

/продолжение на странице 13/

(7) Вычислите массу  $m$  проводящего стержня и индукцию магнитного поля  $\vec{B}$  подковообразного магнита. При вычислениях воспользуйтесь выражением, которое вы вывели, и начерченным вами графиком. (8 баллов)

Ученики удалили подковообразный магнит и расположили проводящий стержень вдоль оси реостата, по которому течет постоянный ток (направление тока в реостате обозначено на чертеже 2).

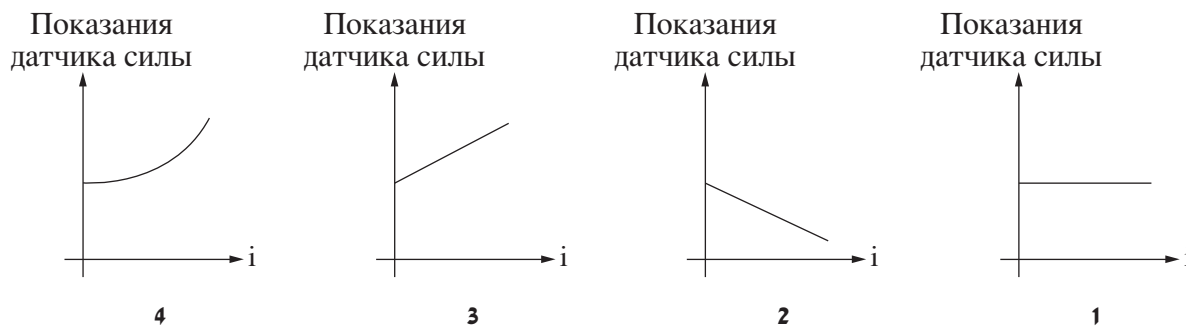


Чертеж 2

(8) На чертеже 3 изображены графики 1–4.

Определите, какой из графиков верно описывает показания датчика силы как функцию силы тока, текущего в стержне.

Обоснуйте свой ответ. (5  $\frac{1}{3}$  балла)



Чертеж 3

**Желаем успеха!**

Авторские права принадлежат Государству Израиль.  
 Копировать или публиковать можно только  
 с разрешения Министерства просвещения.

**בהצלחה!**

זכות היוצרים שמורה למדינת ישראל.  
 אין להעתיק או לפרסם  
 אלא ברשות משרד החינוך.