

פיזיקה חשמל

Физика Электричество

הוראות

- א. משך הבחינה: שתיים.
- ב. מבנה השאלון ומפתח ההערכה:
בשאלון זה שש שאלות, ומהן יש לענות על שלוש שאלות 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 m/s^2 לגודל של g – תאוצת הנפילה החופשית (בסמוך לפני כדור הארץ).
(6) יש לכתוב את התשובות בעט. מותר להשתמש בעיפרון לסרטוטים וגרפים בלבד.
(7) במקרה של טעות, אפשר להסתפק בהעברת קו חוצה כפול על המילים או המשפטים השגויים.
- ה. 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 укажите 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 значащих 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 величиной ускорения свободного падения g .
5. В своих вычислениях используйте значение 10 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 "טייטה" בראש כל עמוד המשמש טיוטה.
כתובת טיוטה בדפים שאינם במחברת הבחינה עלולה לגרום לפסילת הבחינה.

Пишите только в экзаменационной тетради. Напишите слово «טייטה» 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. Ученики получили задание – лабораторную работу по компьютерному моделированию (симуляции) электростатических процессов.

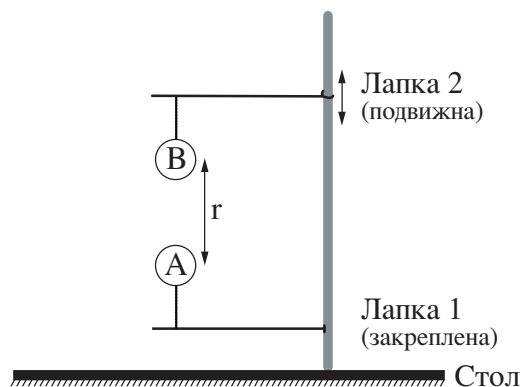
В моделируемой системе два маленьких шарика, А и В. Шарик А заряжен зарядом q , а шарик В заряжен зарядом, равным по величине, но противоположным по знаку $-q$.

Моделируемая система находится в вакууме.

Моделируемая система включает лабораторный штатив, который установлен на столе.

К штативу присоединены две лапки: лапка 1 закреплена на месте, и к ней изолирующей нитью привязан шарик А, а лапка 2 может двигаться вверх-вниз, и к ней на изолирующей нити подвешен шарик В.

Центры обоих шариков расположены на вертикальной линии (смотрите чертеж).



Компьютерная модель показывает следующие измерения:

T_B – сила натяжения нити, к которой привязан шарик В.

r – расстояние между центрами шариков А и В.

Масса каждого из шариков равна m . Предположите, что в процессе моделирования количество заряда q на каждом шарике постоянно, а его распределение является однородным.

Условия тяготения в модели эквивалентны условиям тяготения на поверхности Земли.

- (*) (1) Начертите силы, действующие на шарик В. Рядом с каждой силой укажите ее название и источник [מי מפעיל אותו].

- (2) Выведите выражение для силы натяжения нити, T_B , как функции расстояния, r .

Воспользуйтесь параметрами m , q и, при необходимости, физическими константами.

(7 баллов)

Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

В процессе моделирования ученики несколько раз изменяли расстояние r между центрами шариков и записывали соответствующие значения силы натяжения T_B , которые показывает модель.

Результаты измерений приведены в следующей таблице:

r (m)	0.16	0.18	0.20	0.22	0.24
T_B (N)	0.41	0.33	0.28	0.25	0.21

Ученики начертили график силы натяжения T_B как функции новой переменной, выбранной таким образом, чтобы график был линейным.

- (א) Определите, что является новой переменной и каковы ее единицы измерения. Перепишите в свою тетрадь строку T_B из таблицы, под ней добавьте новую строку и запишите в ней значения и единицы измерения этой новой переменной. (4 балла)
- (א) (1) Начертите в своей тетради диаграмму распределения (точки в системе координат) силы натяжения T_B как функции новой переменной.
- (2) Дополните эту диаграмму распределения наиболее подходящей для нее прямой (линией направления [ממקו]). (9 баллов)
- (ג) При помощи графика вычислите величину заряда $|q|$ и массу m каждого из шариков. (8 баллов)

Эта модель запрограммирована так, что максимальная сила натяжения, которую может выдержать, не разорвавшись, каждая нить, равно T_{\max} .

Ученики медленно приближали шарик В к шарiku А до тех пор, как по меньшей мере одна из нитей разорвалась.

- (ה) Определите, что произошло: первой разорвалась нить, привязанная к шарiku А, или первой разорвалась нить, привязанная к шару В, или обе нити разорвались в один и тот же момент времени. Обоснуйте свой ответ. ($5\frac{1}{3}$ балла)

2. Ученики проводили опыты с электрической цепью. В распоряжении учеников были следующие компоненты:
- Источник напряжения, ЭДС которого $\varepsilon = 20V$, а внутреннее сопротивление $r = 2\Omega$.
 - Резистор, сопротивление которого R_1 .
 - Два идеальных вольтметра.
 - Провода с пренебрежимо малым сопротивлением.
 - Переменный резистор MN с подвижным контактом P.

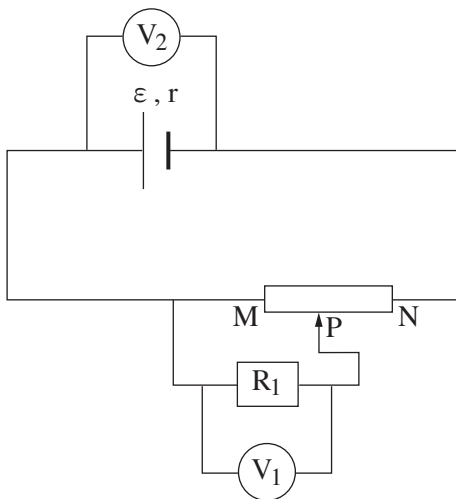
Ученики присоединили резистор R_1 к источнику напряжения. Они измерили напряжение на клеммах источника с помощью одного из вольтметров. Вольтметр показал $16V$.

(8) (1) Начертите схему электрической цепи, которую собрали ученики.

(2) Вычислите сопротивление R_1 .

(7 баллов)

В другом опыте ученики собрали электрическую цепь, изображенную на чертеже 1.



Чертеж 1

- (2) Ученики расположили подвижный контакт P точно посередине переменного резистора MN и проверили показания вольтметров V_1 и V_2 .

Определите, V_1 больше $\frac{V_2}{2}$, меньше его или равно ему. Обоснуйте свой ответ.

(7 баллов)

Ученики расположили подвижный контакт P в новой точке.

Для этой точки вольтметр V_1 показал $V_1 = 12V$, а вольтметр V_2 показал $V_2 = 15V$.

- (3) Вычислите сопротивление участка MP переменного резистора, R_{MP} . (9 баллов)

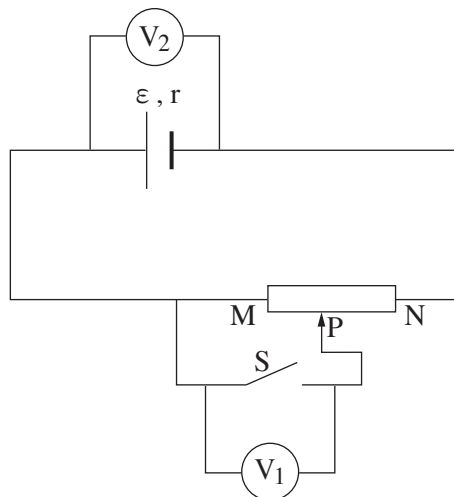
- (7) Вычислите сопротивление всего переменного резистора, R_{MN} . (5 баллов)

Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

Ученики решили подключить к электрической цепи, изображенной на чертеже 1, выключатель S вместо резистора R_1 .

Собранная ими новая цепь изображена на чертеже 2.

Ученики медленно передвигали подвижный контакт P в направлении точки N , так что подвижный контакт все время оставался соединенным с переменным резистором, и снимали показания вольтметров V_1 и V_2 .



Чертеж 2

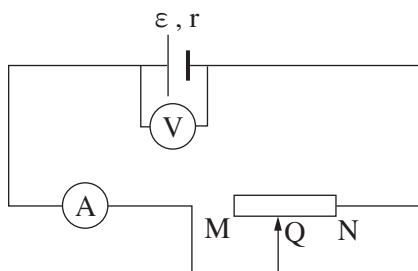
(7) Для каждого из вольтметров V_1 и V_2 определите, уменьшится, увеличится или не изменится показываемая им величина во время выполнения этого действия в каждом из случаев (1)–(2). Обоснуйте свой ответ.

(1) Выключатель S разомкнут.

(2) Выключатель S замкнут.

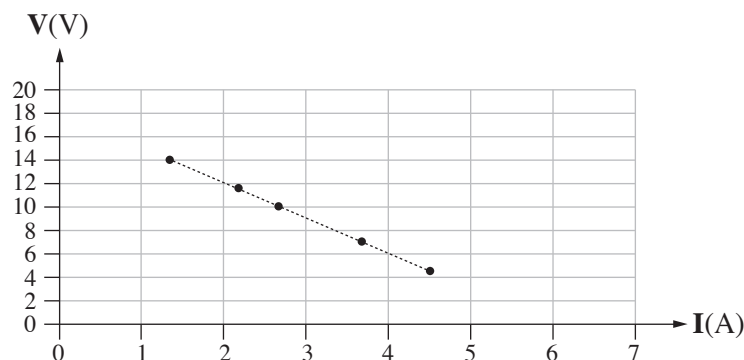
(5 $\frac{1}{3}$ балла)

3. Ученицы собрали электрическую цепь, показанную на чертеже 1, из следующих компонентов: источник напряжения, ЭДС которого ε , а внутреннее сопротивление r , переменный резистор R_{MN} , подвижная точка контакта которого Q , провода с пренебрежимо малым сопротивлением и идеальные измерительные приборы – вольтметр V и амперметр A .



Чертеж 1

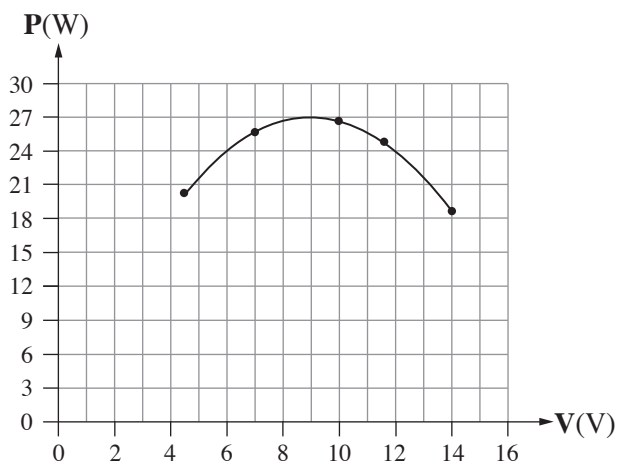
Ученицы перемещали подвижный контакт Q на переменном резисторе R_{MN} . Каждый раз они записывали показания вольтметра V и показания амперметра A . Ученицы построили график напряжения на клеммах V как функции силы тока I (смотрите чертеж 2).



Чертеж 2

- (8) С помощью графика, приведенного на чертеже 2, найдите ЭДС источника напряжения ε и его внутреннее сопротивление r . (7 баллов)

Ученицы вычислили полезную мощность при каждом из измерений и построили график полезной мощности P как функции напряжения на клеммах V (смотрите чертеж 3).



Чертеж 3

Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

- (א) Покажите, что формула, выражающая в общем виде полезную мощность P как функцию напряжения на клеммах V – это $P = -\frac{V^2}{r} + \frac{\epsilon V}{r}$ (8 баллов)

Ученицы хотели использовать резистор R_{MN} в цепи как нагревательный элемент, с помощью которого можно нагреть воду.

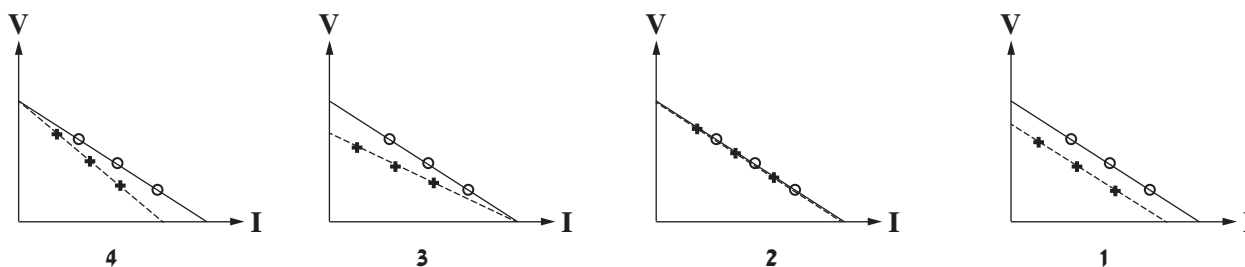
Они расположили подвижный контакт Q переменного резистора R_{MN} так, чтобы вода нагревалась за самое короткое время.

- (א) Вычислите сопротивление R_{QN} в данном случае. Приведите подробные вычисления в своем ответе. (6 баллов)
- (ג) Ниже приведены два высказывания. Для каждого высказывания определите, верно оно или неверно, и обоснуйте свой ответ.
- (1) Подвижный контакт Q устанавливают так, чтобы вода нагревалась за самое короткое времени.
 В данном положении коэффициент полезного действия источника напряжения максимальный.
- (2) Можно измерять мощность в единицах $\frac{eV}{s}$ (электрон-вольт в секунду). (7 баллов)

Ученицы провели еще один опыт с амперметром, сопротивлением которого нельзя пренебречь. Точки контакта подвижного контакта Q в переменном резисторе были одинаковыми в обоих опытах.

На следующем чертеже приведены четыре графика распределения 1–4, описывающие измерения в двух данных опытах следующим образом:

- Измерения, проведенные в первом опыте (идеальный амперметр), обозначены как "○", а линия направления [קו ממשל] обозначена сплошной линией.
- Измерения, проведенные во втором опыте (амперметр, сопротивлением которого нельзя пренебречь), обозначены как «+» и линия направления – пунктирная.



- (ה) Определите, какой график наилучшим образом представляет результаты измерений. Обоснуйте свой ответ. ($5\frac{1}{3}$ балла)

4. Проектируют прибор, похожий на тангенциальный гальванометр, для использования в школьной лаборатории.

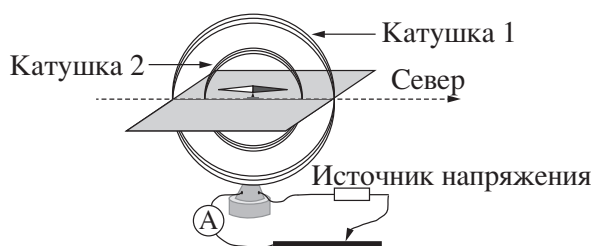
Компас расположен в центре горизонтальной пластины. Две спиральные катушки (компас располагается в их общем центре) перпендикулярны пластине.

Две катушки параллельны друг другу, и их плоскость лежит в направлении север-юг (смотрите чертеж 1).

Данные катушек в этом приборе:

Катушка 1 – радиус $R_1 = 0.15\text{m}$, количество витков обмотки $N_1 = 10$, ток i_1 , силу и направление которого можно изменить. Электрическая цепь, которая контролирует ток в катушке 1, изображена на чертеже 1.

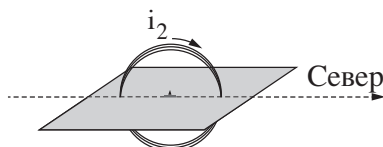
Катушка 2 – радиус $R_2 = 0.10\text{m}$, количество витков обмотки $N_2 = 10$. В этой катушке течет ток i_2 , сила и направление которого постоянны.



Чертеж 1

Направление тока i_2 было принято за положительное направление для обоих токов.

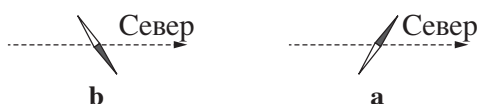
Направление тока i_2 в катушке 2 обозначено на чертеже 2.



Чертеж 2

- (*) (1) В первом случае в катушке 1 ток не течет, а в катушке 2 течет ток i_2 , направление которого показано на чертеже 2.

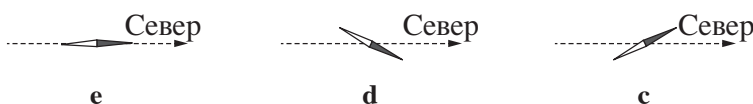
Определите, на каком из чертежей (а или б) изображен вид сверху на направление отклонения стрелки компаса, установленного в центре катушек.



- (2) Во втором случае, кроме тока, текущему в катушке 2, в катушке 1 течет ток $i_1 = -i_2$ (ток, сила которого равна по величине i_2 , а направление противоположно).

Определите, какой из рисунков (е, d, с) показывает вид сверху на направление отклонения стрелки компаса в данном случае. Обоснуйте свой ответ.

(6 баллов)

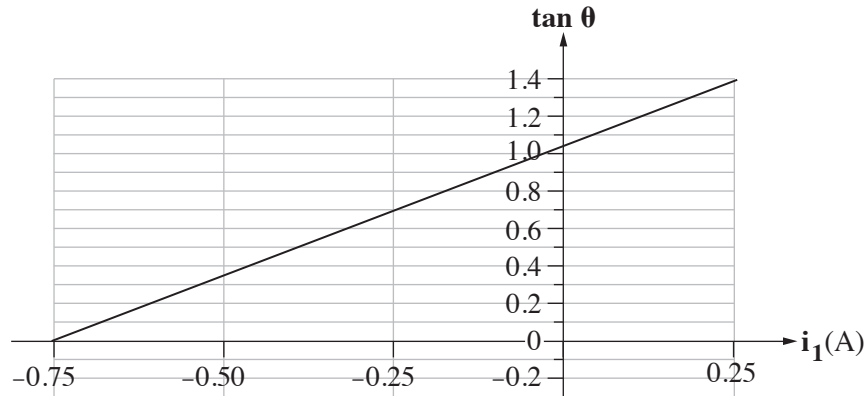


Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

/продолжение на странице 9/

Ученики провели опыт с прибором, изображенным на чертеже 1. Они несколько раз изменяли силу тока i_1 (силу тока, текущего в катушке 1) и каждый раз измеряли угол отклонения стрелки компаса от направления на север, θ .

Ученики построили график $\tan \theta$ как функции силы тока i_1 . Линия направления [קו מגנט] этого графика изображена на чертеже 3.



Чертеж 3

- (א) (1) Покажите, что для точки пересечения линии направления с горизонтальной осью выполняется отношение: $\frac{|i_1|}{i_2} = \frac{R_1}{R_2}$.
- (2) Вычислите силу тока i_2 .
 (6 баллов)
- (א) Воспользуйтесь графиком, приведенным на чертеже 3, и вычислите величину горизонтальной составляющей индукции магнитного поля Земли, $B_{E \parallel}$, в месте проведения опыта.
 (8 баллов)

В приборе, изображенном на чертеже 1, поворачивают катушку 2 на 90° , таким образом чтобы созданное током магнитное поле было направлено на север. Катушка 1 остается без изменений, так что две катушки перпендикулярны друг другу.

- (ג) Начертите схему магнитных полей, действующих на стрелку компаса в этом положении, и обозначьте на ней угол отклонения стрелки компаса от направления на север.
 ($5\frac{1}{3}$ балла)
- (ה) Изменяют силу тока i_1 , таким образом чтобы тангенс угла отклонения стрелки компаса был равен 1.4. Вычислите силу тока i_1 в этом случае.
 (8 баллов)

Электрическая емкость

5. Плоский конденсатор с емкостью C_1 , состоит из двух одинаковых тонких горизонтальных проводящих пластин, расстояние между которыми $d = 15 \text{ mm}$.

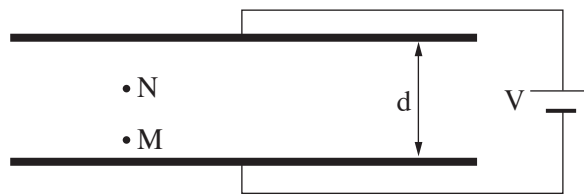
Между пластинами – вакуум ($\epsilon_r = 1$).

В первом опыте конденсатор подключен к источнику напряжения V . В этом положении заряд на нижней пластине $Q = -1.3 \text{ nC}$.

В пространстве между пластинами находятся две точки M и N , как показано на чертеже 1.

Вертикальное расстояние между этими точками 6 mm .

Дано, что абсолютное значение разности потенциалов между этими точками равно 88 V .



Чертеж 1

- (8) (1) Вычислите емкость C_1 .
(2) Вычислите площадь каждой из пластин.
(6 баллов)

Заряженная частица находится вблизи нижней пластины. Частице придают начальную вертикальную скорость v_0 , и она движется в направлении верхней пластины.

Дано: заряд данной частицы $q = +3.2 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, масса частицы $m = 6.64 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.

- (2) Вычислите минимальную скорость v_0 , при которой частица долетит до верхней пластины.
(6 баллов)
- (3) Определите, увеличится, уменьшится или не изменится минимальная скорость, которую вы вычислили в пункте 2, в каждом из двух случаев (1)–(2). Обоснуйте свои утверждения.
- (1) Пластины конденсатора приближают друг к другу, когда конденсатор подключен к источнику напряжения.
- (2) Конденсатор отключают от источника напряжения, а затем приближают пластины конденсатора друг к другу.
(8 баллов)

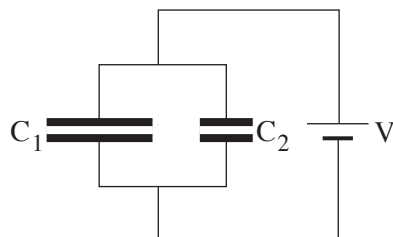
Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

Во втором опыте к данному конденсатору подключили дополнительный конденсатор C_2 , в котором расстояние между пластинами также равно d , но площадь пластин конденсатора в 2 раза меньше площади пластин конденсатора C_1 . Между пластинами конденсатора C_2 также вакуум.

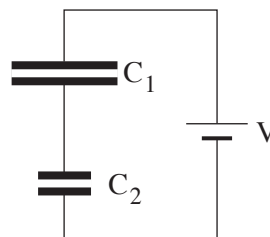
– В первый раз конденсаторы соединили последовательно (см. чертеж 2 а).

– Во второй раз конденсаторы соединили параллельно (см. чертеж 2 б).

Каждый раз конденсаторы подключали к тому же источнику напряжения V , что и в первом опыте, когда они не заряжены.



Чертеж 2 а

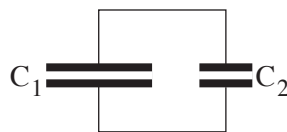


Чертеж 2 б

(7) Найдите величину заряда на конденсаторе C_1 при каждом из способов соединения.

(8 баллов)

В системе конденсаторов, которые соединены параллельно (чертеж 2 а), отключают источник напряжения (см. чертеж 3).

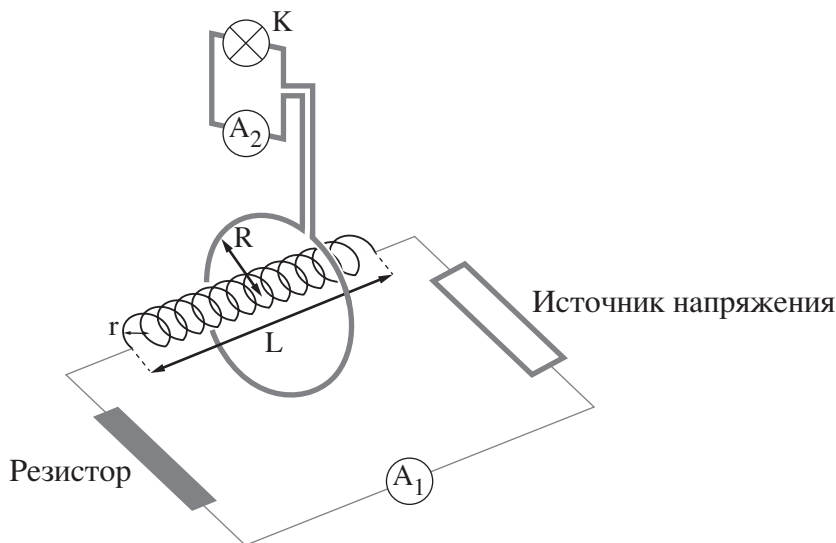


Чертеж 3

(8) Определите, величина заряда Q на конденсаторе C_1 увеличилась, уменьшилась или не изменилась. Объясните свой ответ. $(5\frac{1}{3}$ балла)

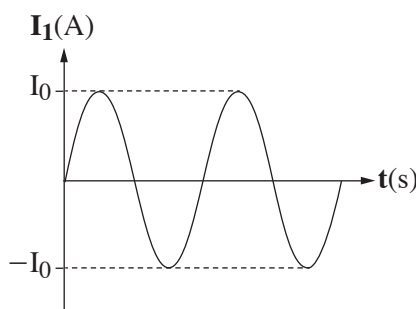
Индукция

6. На уроке физики ученики собрали электрическую цепь, содержащую источник напряжения, длинный соленоид, резистор, идеальный амперметр A_1 и идеальные провода. Радиус соленоида равен r , его длина L , а количество витков равно N . Ученики установили вокруг соленоида проводящее кольцо радиусом R ($R > r$). Кольцо расположено в середине соленоида, таким образом что ось соленоида перпендикулярна плоскости кольца и проходит через его центр (смотрите чертеж 1). Сопротивление проводящего кольца пренебрежимо мало. Ученики подключили к проводящему кольцу идеальный амперметр A_2 и лампочку K с постоянным сопротивлением.



Чертеж 1

На чертеже 2 изображен качественный график силы тока I_1 в соленоиде как функции времени. За положительное направление тока принято направление по часовой стрелке.



Чертеж 2

$I_1(t) = I_0 \sin(\omega t)$ – алгебраическое выражение, описывающее силу тока I_1 как функцию времени.

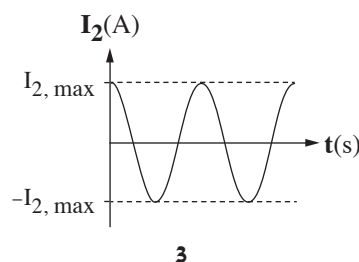
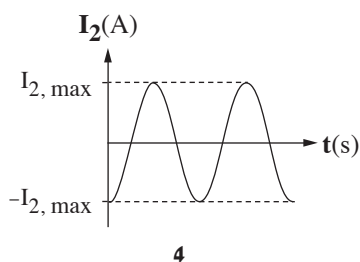
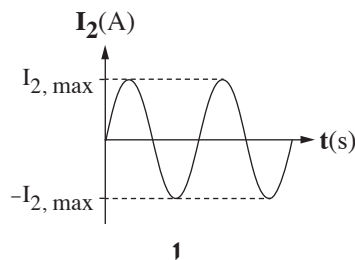
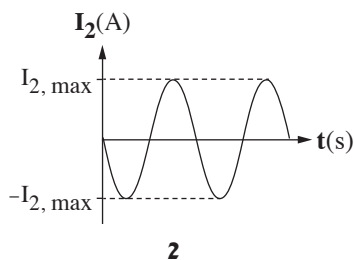
(*) Есть утверждение: "Лампочка не горит, поскольку проводящее кольцо не находится в магнитном поле, созданном в соленоиде".

Определите, верно или ошибочно данное утверждение. Обоснуйте свой ответ.

(5 баллов)

Обратите внимание: продолжение вопроса на следующей странице.

- (א) Ниже приведены четыре графика 1–4, представляющие силу тока как функцию времени. Определите, какой из графиков наилучшим образом представляет силу тока I_2 в проводящем кольце как функцию времени. Обоснуйте свой ответ согласно закону Фарадея-Ленца. (6 баллов)



- (א) Покажите, что формула $\varepsilon_{2, \max}$, максимальной наведенной ЭДС в проводящем кольце – это
- $$\varepsilon_{2, \max} = \frac{\mu_0 N I_0 \pi r^2 \omega}{L}$$
- (9 баллов)

Дано: $I_0 = 2.42 \text{ A}$, $\omega = 314 \text{ s}^{-1}$.

Радиус соленоида $r = 10 \text{ cm}$, а плотность намотки $\frac{N}{L} = 4000 \text{ m}^{-1}$.

Радиус кольца $R = 12 \text{ cm}$.

На лампочке К указано напряжение 3 V .

Ученики хотят, чтобы максимальное напряжение $\varepsilon_{2, \max}$ на лампочке соответствовало напряжению, указанному на ней. Они обнаружили, что с их оборудованием напряжение $\varepsilon_{2, \max}$ слишком маленькое.

Ученики предложили два возможных способа увеличения максимального напряжения, с тем чтобы оно соответствовало значению, указанному на лампочке.

- (א) Первое предложение заключалось в увеличении количества витков обмотки в проводящем кольце, $N_{\text{кольцо}}$, без других изменений. Найдите количество витков обмотки в проводящем кольце, $N_{\text{кольцо}}$, которое необходимо для достижения этой цели. (8 баллов)

- (ה) Второе предложение заключалось в замене соленоида на другой длинный соленоид с той же самой плотностью витков $\frac{N}{L}$, но с радиусом r , который будет больше радиуса R (кольцо будет полностью находиться внутри соленоида), без других изменений. Ученики утверждали, что при достаточно большом радиусе соленоида напряжение на лампочке будет соответствовать указанному на ней напряжению. Объясните, почему это утверждение неверно. (5 $\frac{1}{3}$ балла)

Желаем успеха!

בהצלחה!