

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ
(МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП)
возрастная группа (11 класс)

ЗАДАНИЕ 1.

На дне сосуда глубиной 40 см, наполненного водой, лежит монета. На какой высоте над поверхностью воды следует поместить небольшую электрическую лампочку, чтобы ее изображение, даваемое лучами, отраженными от поверхности воды, совпало с изображением монеты, даваемым преломленными лучами? Как можно непосредственным наблюдением установить совпадение изображений лампочки и монеты? Наблюдение проводится по вертикали.

Решение.

Чтобы построить изображение любой точки лампочки, которая находится на высоте H над поверхностью воды, необходимо выбрать два луча, выходящих из этой точки, и выяснить их «судьбу». Первый луч целесообразно направить вертикально вниз, чтобы после отражения от границы раздела воздух-вода, он пошел вертикально вверх. Вторым луч направим вниз под углом α к вертикали. Тогда после отражения от воды, он пойдет вверх под углом α к вертикали. Отраженные первый и второй лучи получились расходящимися. Следовательно, необходимо строить их обратные продолжения. Их обратные продолжения пересекутся на расстоянии H ниже границы раздела воздух-вода. К такому же выводу можно прийти, если рассматривать границу раздела воздух-вода, как полупрозрачное зеркало.

Чтобы построить изображение любой точки монеты, которая находится на дне сосуда, опять необходимо выбрать два луча, выходящих из этой точки, и выяснить их «судьбу». Первый луч целесообразно направить вертикально вверх, чтобы он, не преломляясь на границе раздела вода-воздух, продолжил свой путь вертикально вверх. Вторым луч можно направить вверх под углом β к вертикали так, чтобы после преломления на границе раздела вода-воздух, он пошел вверх под углом α к вертикали. Опять получилось два расходящихся луча и необходимо опять строить их обратные продолжения. В результате, оба изображения (и лампочки, и монеты) являются мнимыми и их можно разглядывать своими глазами. Чтобы найти

положение мнимого изображения монеты воспользуемся тем фактом, что для малых углов (менее 5°) синусы углов можно заменить значениями этих углов, выраженных в радианах. Это позволит нам рассматривать углы α и β , как центральные углы двух окружностей. Оба угла опираются на одну и ту же дугу. Следовательно, отношение радиусов указанных окружностей, равно отношению углов, т.е. показателю преломления воды ($n = 4/3$). Так как граница раздела вода-воздух находится на высоте 40 см от дна сосуда, то мнимое изображение монеты будет находиться на высоте 10 см от дна сосуда, или на глубине 30 см от поверхности воды. Следовательно, чтобы мнимое изображение лампочки совпало с мнимым изображением монеты, лампочку надо поместить на высоте 30 см над поверхностью воды.

Для того чтобы убедиться, что изображения совпали, можно воспользоваться явлением параллакса. Если параллакс отсутствует, то это означает, что изображения совпали. Если же наблюдается параллакс, то одно изображение ближе к нам, чем другое.

Критерии оценивания

Изображен или описан ход лучей для лампы	3 балла
Изображен или описан ход лучей для монеты	3 балла
Определена связь показателя преломления воды и расстояния до монеты	2 балла
Определено искомое положение лампочки	2 балла
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 2.

Определите направления индукционных токов в следующем опыте Эмилия Христиановича Ленца. Постоянный магнит расположен вдоль магнитного меридиана. Параллельно магниту, один раз над ним, другой раз под ним, расположен прямолинейный провод. Магнит быстро поворачивают на 90° , один раз северным полюсом на восток, другой раз – на запад.

Решение.

Магнитное поле постоянного магнита – линии индукции магнитного поля выходят из северного полюса постоянного магнита и входят в его южный полюс.

Направление вектора индукции магнитного поля вокруг прямолинейного проводника с током определяется по правилу буравчика (или по правилу обхвата правой рукой).

Когда магнит расположен вдоль магнитного меридиана, линии магнитной индукции его магнитного поля направлены с севера на юг. Если его повернуть на 90^0 северным полюсом на восток, то линии магнитной индукции его магнитного поля будут направлены с востока на запад. Ориентация прямолинейного провода не изменяется.

Выберем площадку, проходящую через геометрический центр магнита. Нормаль к площадке ориентирована с востока на запад. Когда магнит ориентирован вдоль магнитного меридиана, угол α (угол между вектором индукции его магнитного поля и нормалью к выбранной площадке) равен 90^0 . В результате, поток равен нулю. Когда магнит повернули северным полюсом на восток, то угол α стал равен 0^0 и, следовательно, поток стал максимальным. Произошло изменение потока вектора магнитной индукции через выбранную площадку. В результате, в проводе, который расположен рядом с магнитом, возникнет индукционный ток. Этот ток создаст свое магнитное поле. Поток этого магнитного поля через выбранную площадку будет препятствовать изменению потока магнитного поля магнита через ту же площадку. Поток магнитного поля магнита увеличивается от нуля до максимального. Следовательно, векторы индукции магнитного поля индукционного тока должны быть направлены навстречу векторам индукции магнитного поля магнита. Для определения направления индукционного тока в проводнике при повороте магнита северным полюсом на восток целесообразно расположить магнит перпендикулярно плоскости рисунка северным полюсом к наблюдателю. Тогда справа будет «север», слева «юг». Если провод расположен выше магнита, то индукционный ток в нем будет направлен с юга на север. Если провод расположен ниже магнита, то индукционный ток в нем будет направлен с севера на юг. Аналогично, если магнит повернуть северным полюсом на запад, то в верхнем проводе индукционный ток будет направлен с севера на юг, а в нижнем – с юга на север.

Критерии оценивания

Определено направление магнитных линий магнита	2 балла
Описано изменение потока магнитного поля магнита	3 балла
Определено направление вектора индукции магнитного поля индукционного тока	3 балла
Определено направление индукционного тока для каждого случая	2 балла
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 3.

Маленький стальной шарик подвешен на тонкой нерастяжимой нити длиной L . Нить вместе с шариком отклонили от положения равновесия на 90° и отпустили. Шарик стал двигаться по дуге окружности радиуса L . Найти координаты точек траектории движения шарика, в которых его ускорение направлено горизонтально.

Решение.

Направление ускорения определяется направлением геометрической суммы всех сил, действующих на материальную точку. В данном случае, на стальной шарик действуют две силы: сила тяжести, постоянная по величине и по направлению, и сила натяжения нити, которая постоянно изменяется и по величине, и по направлению. В тех точках траектории движения шарика, в которых вертикальная составляющая силы натяжения нити будет равна силе тяжести, ускорение шарика будет направлено горизонтально. Таких точек две (справа и слева от положения равновесия). Чтобы найти их координаты необходимо:

- 1) выбрать систему координат (целесообразно использовать полярную систему координат, т.к. нить нерастяжимая);
- 2) использовать закон сохранения энергии, чтобы найти зависимость центростремительного ускорения от угла между нитью подвеса и вертикалью;
- 3) центростремительное ускорение сообщают шарика две силы: сила натяжения нити и составляющая силы тяжести, направленная вдоль нити;
- 4) получить формулу зависимости силы натяжения нити от угла α (угол между нитью и вертикалью);
- 5) получить выражение для $\cos\alpha$, где α – угол (координата точки траектории движения шарика, в которой его ускорение направлено горизонтально), $\cos\alpha = \frac{\sqrt{3}}{3}$.
- 6) Ответ записать либо через арккосинус, либо через угол $\alpha = 54,5^\circ$. Координату точки траектории движения шарика можно найти графически.

Критерии оценивания

Определено в каких точках траектории ускорение будет горизонтально	2 балла
Определена зависимость центростремительного ускорения от угла между нитью подвеса и вертикалью	2 балла
Определена зависимость силы натяжения нити от угла	2 балла

между нитью подвеса и вертикалью	
Получено выражение для косинуса угла между нитью подвеса и вертикалью	2 балла
Определить значение координаты (угла между нитью подвеса и вертикалью)	2 балл
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 4.

В конце своей статьи «Выделение тепла в проводниках» академик Эмилий Христианович Ленц ставил такую задачу: «Для накаливания проволоки определенного диаметра и длины l требуется цепь из n элементов. Сколько таких же элементов нужно для накаливания проволоки того же диаметра, но длины pl ?» Соединение элементов в обоих случаях производится последовательно. Решите задачу Ленца.

Решение.

Допустим, что внутреннее сопротивление одного элемента равно r , его электродвижущая сила \mathcal{E}_0 , сопротивление единицы длины проволоки R_1 . Тогда при включении проволоки длиной l в цепи будет проходить ток силы

$$I_1 = \frac{n\mathcal{E}_0}{nr + lR_1}.$$

В проволоке каждую секунду будет выделяться количество тепла

$$Q_1 = I_1^2 l R_1 = \frac{n^2 \mathcal{E}_0^2}{(nr + lR_1)^2} \cdot l R_1,$$

а на каждой единице длины проволоки будет выделяться количество тепла

$$q_1 = \frac{Q_1}{l} = \frac{n^2 \mathcal{E}_0^2}{(nr + lR_1)^2} \cdot R_1.$$

При включении проволоки длиной pl и x элементов количество тепла, выделяющегося на каждой единице длины проволоки будет

$$q_2 = \frac{x^2 \mathcal{E}_0^2}{(xr + plR_1)^2} \cdot R_1.$$

При одинаковом накаливании обеих проволок в единице длины каждой из них должно развиваться одинаковое количество тепла, т.е. должно быть

$$\frac{n^2 \mathcal{E}_0^2}{(nr + lR_1)^2} = \frac{x^2 \mathcal{E}_0^2}{(xr + plR_1)^2},$$

отсюда $x = pn$.

Критерии оценивания

Определено I_1	2 балла
Определено Q_1	2 балла
Определено q_1	2 балла
Определено q_2	2 балла
Приведено равенство $q_1 = q_2$, откуда получен x	2 балл
Всего	10 баллов

ЗАДАНИЕ 5.

Ученик, выполняя лабораторную работу, собрал электрическую цепь. Она состояла из источника тока, внутренним сопротивлением которого можно пренебречь, двух резисторов по 60 Ом, соединенных последовательно, и выключателя. Соединив вольтметр параллельно с первым резистором, ученик выполнил первое прямое измерение: $U(1)=4,8$ В. Соединив вольтметр параллельно со вторым резистором, ученик выполнил второе прямое измерение: $U(2)=4,8$ В. Соединив вольтметр параллельно двум резисторам, ученик выполнил третье прямое измерение: $U(\text{общ.})=12$ В. Сравнивая сумму результатов первых двух измерений (9,6 В) с результатом третьего измерения, ученик обнаружил, что «потерялось» 2,4 В! Найти, где же «спрятались потерянные вольты», выполнив для этого серию косвенных измерений.

Решение.

Цепь состоит из двух участков, соединенных последовательно. Перед тем, как ученик соединил вольтметр параллельно с первым резистором, сопротивления участков были равны друг другу (по 60 Ом). После присоединения вольтметра к первому резистору, сопротивление первого участка могло уменьшиться.

Косвенные измерения:

- 1) вычислить (косвенно измерить) напряжение на втором резисторе, когда к первому резистору был присоединен вольтметр (7,2 В);
- 2) вычислить силу тока, протекающего через второй резистор (0,1 А);
- 3) вычислить полное сопротивление цепи до подключения вольтметра (120 Ом);

4) вычислить полное сопротивление цепи после подключения вольтметра к первому резистору (100 Ом);

5) вычислить сопротивление первого участка цепи после подключения вольтметра к первому резистору (40 Ом);

6) вычислить сопротивление вольтметра (120 Ом).

По результатам трех прямых и шести косвенных измерений можно сделать следующие выводы:

1) если сопротивление измерительного прибора (вольтметра) сопоставимо с сопротивлениями резисторов, то при подключении измерительного прибора в цепь произойдут изменения ее параметров;

2) изменится полное сопротивление цепи и, как следствие, сила тока в цепи;

3) изменится сопротивление тех участков цепи, к которым будет присоединен измерительный прибор (вольтметр);

4) произойдет перераспределение напряжений между участками цепи (где сопротивление больше, там и падение напряжения будет больше);

5) «вольты не потерялись», они после присоединения вольтметра к первому резистору «убежали» на второй резистор, а после присоединения вольтметра ко второму резистору «убежали» на первый резистор;

6) при первом прямом измерении 1,2 В «убежали» с первого резистора и «прибежали» на второй, а при втором прямом измерении, те же самые 1,2 В «убежали» со второго резистора и «прибежали» на первый. В результате, «потеря» составила 2,4 В.

Критерии оценивания

Определено напряжение на втором резисторе, когда к первому резистору был присоединен вольтметр и определена сила тока через второй резистор	3 балла
Определено полное сопротивление цепи до и после подключения вольтметра	2 балла
Определено сопротивление первого участка цепи после подключения вольтметра к первому резистору и сопротивление вольтметра	3 балл
Описано перераспределение напряжения при подключении вольтметра. Сделан вывод.	2 балл
Всего	10 баллов