

Муниципальный этап всероссийской олимпиады школьников

по физике 2024-2025 учебный год

11 класс

Решения

Задача 1. Лифт поднимается с ускорением 2 м/с^2 . В тот момент, когда его скорость стала равна $2,4 \text{ м/с}$, с потолка лифта начал падать болт. Высота лифта $2,47 \text{ м}$. Вычислите время падения болта.

Возможное решение

Зададим систему координат в момент отрыва болта от лифта: ось OY направим вверх, за нулевой уровень будем считать положение пола лифта в момент отрыва. Тогда уравнение движения болта имеет вид: $y_{\text{б}}(t) = h + v_0 t - \frac{gt^2}{2}$

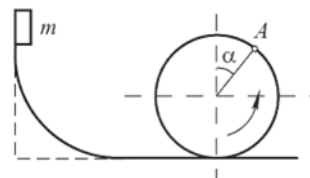
(1), а уравнение движения пола: $y_{\text{л}}(t) = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ (2). Здесь учтено, что начальная скорость болта и лифта одинаковая. В момент падения болта на пол координаты равны, откуда получаем уравнение: $h + v_0 t - \frac{gt^2}{2} = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ (3).

Из этого уравнения время падения болта равно: $t = \sqrt{\frac{2h}{g+a}}$ (4). Подстановка численных значений дает ответ: $0,647 \text{ с}$.

Критерии оценивания

- получено уравнение движения болта (1) – 2 балла
- получено уравнение движения пола лифта (2) – 2 балла
- получено уравнение (3) – 2 балла
- получено выражение (4) – 1 балл
- дан правильный численный ответ – 1 балл

Задача 2. Тележка массой m совершает мертвую петлю, скатываясь с минимально необходимой для этого высоты. С какой силой F тележка давит на рельсы в точке А, радиус-вектор которой составляет угол α с вертикалью? Трением пренебречь.



Возможно решение

Найдем минимальную высоту, необходимую, для совершения тележкой мертвой петли. В точке С тележка обладает только потенциальной энергией

$$W_C = mgH, \text{ а в точке В: } W_B = mg \cdot 2R + \frac{mv_B^2}{2}.$$

Так как трения в системе нет, то полная

механическая энергия системы сохраняется, то есть: $mgH = 2mgR + \frac{mv_B^2}{2}$ (1).

В точке В на тележку действует только сила тяжести, так как сила реакции опоры в случае минимальной скорости равна нулю. Тогда в точке В тело движется с центростремительным ускорением $g = \frac{v_B^2}{R}$ (2). После подстановки

(2) в (3), получим минимальную высоту $H = \frac{5}{2}R$.

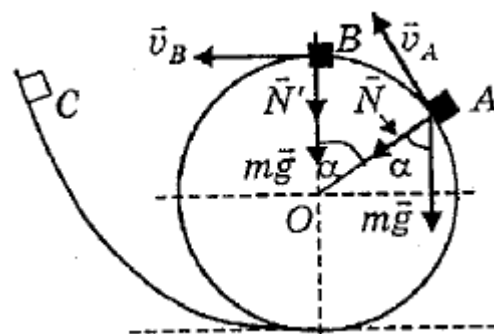
Из рисунка следует, что точка А находится на высоте $h = R + R\cos\alpha$. Энергия в точке А равна: $W_A = mgR(1 + \cos\alpha) + \frac{mv_A^2}{2}$. Из закона сохранения энергии для

точек С и А получим: $mg \cdot \frac{5}{2}R = mgR(1 + \cos\alpha) + \frac{mv_A^2}{2}$ (4), откуда следует, что $v_A^2 = 3gR(1 - \cos\alpha)$ (5).

В точке А на тело действуют сила тяжести и реакции опоры. Проекция 2 закона Ньютона на ось ОУ имеет вид: $ma_{\text{ц}} = mg\cos\alpha + N$ (6), где $a_{\text{ц}} = \frac{v_A^2}{R}$ (7).

После подстановки (5) и (7) в (6) получаем: $N = 6mg\sin^2\frac{\alpha}{2}$. По 3 закону

Ньютона с такой же по модулю силой тело давит на рельсы.

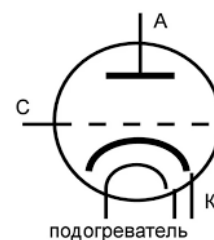


Критерии оценивания:

- записан закон сохранения энергии (1) – 1 балл
- найдено выражение для минимально необходимой высоты – 2 балл
- получено выражение (4) – 1 балл
- найдена скорость тела в точке А – 1 балл
- записан 2 закон Ньютона для точки А (6) – 2 балл
- найдено выражение для центростремительного ускорения (7) – 1 балл
- получен итоговый правильный ответ – 2 балла

Задача 3. Скорости молекул газа неодинаковые при фиксированных условиях. Существует несколько экспериментальных вариантов для того, чтобы установить какая часть молекул газа имеет скорости в диапазоне от v_1 до v_2 . Это позволяет построить распределение молекул по скоростям. В учебной лаборатории в качестве аналога используют вакуумную трехэлектродную лампу – триод, схема которой приведена на рисунке. Нить накала катода нагревается до температур, обеспечивающих возможность вылета электронов из кристаллической решетки во вне, а напряжение между анодом и катодом определяет направление тока. При фиксированном напряжении между электродами можно к сетке прикладывать отрицательное напряжение, называемое запирающим. Тогда ток будет формироваться только теми, электронами, кинетическая энергия которых больше потенциальной энергии поля сетки. В таблице дана зависимость тока анода от запирающего напряжения на сетке. По полученным данным найдите долю электронов, скорость которых более 1452 км/с.

вакуумный триод



$U_3, \text{В}$	0	2	4	6	8	10
$I, \text{мА}$	40	30	20	10	5	0

Возможно решение

Величина тока определяется количеством электронов, вылетевших из поверхности катода и достигнувших анода.

При нулевом задерживающем напряжении все электроны, вылетевшие из катода, достигнут анода, что и определяет величину тока $I_0 = 40$ мА. При приложении задерживающего напряжения U_3 , электроны, скорость которых

менее чем $v = \sqrt{\frac{2eU_3}{m}}$, не преодолеют поле сетки, поэтому не внесут вклад в ток.

Скорости 1452 км/с соответствует запирающее напряжение $U_3 = 6$ В, при этом ток равен $I_1 = 10$ мА. Таким образом, доля электронов, скорости которых больше указанной величины равна $\omega = \frac{\Delta N}{N} = \frac{I_1}{I_0}$. Подстановка

числовых данных дает результат $\omega = 0,25$.

Критерии оценивания

- предложена идея нахождения токов I_0 и I_1 – 4 балла
- по табличным данным найдено запирающее напряжение – 2 балла
- предложена идея нахождения доли электронов и найдено численное значение – 4 балла

Задача 4. Всё пространство между обкладками плоского конденсатора занимает непроводящая пластина с диэлектрической проницаемостью $\varepsilon = 2$. Этот конденсатор через резистор с большим сопротивлением подключён к батарее с ЭДС $E = 100$ В. Пластину быстро вынимают так, что заряды пластин конденсатора за время удаления пластины не успевают измениться. Определите, какую минимальную работу необходимо совершить для такого удаления пластины. Какое количество теплоты выделится в цепи к моменту, когда система придёт в новое равновесное состояние? Электрическая ёмкость незаполненного конденсатора $C_0 = 100$ мкФ.

Возможное решение

Заряд конденсатора в установившемся режиме $q = CE$. Ёмкость конденсатора без диэлектрика $C_0 = \varepsilon_0 \frac{S}{d}$, а с диэлектриком – $C_1 = \varepsilon \varepsilon_0 \frac{S}{d} = \varepsilon C_0$. Минимальная работа по удалению пластины равна разности энергий конденсатора, то есть

$$A = W_1 - W_2 = \frac{q^2}{2C_0} - \frac{q^2}{2C_1} = \frac{1}{2} \varepsilon - 1 C_0 E^2 \quad (1).$$

После подстановки числовых данных получаем, что $A = 1$ Дж.

После изъятия пластины в установившемся режиме заряд конденсатора установившийся равен $q_1 = C_0 E$. Работа источника тока равна $A_{\text{и}} = \Delta q E$, где Δq – заряд, протекший через источник тока. В рассматриваемом случае: $\Delta q = q_1 - q = 1 - \varepsilon C_0 E$. Тогда работа источника тока $A_{\text{и}} = 1 - \varepsilon C_0 E^2$ (2). Здесь работа отрицательная. Энергия конденсатора в установившемся режиме равна:

$$W = \frac{q_1^2}{2C_0} = \frac{C_0 E^2}{2} \quad (3).$$

Изменение энергии конденсатора:

$$\Delta W = W - W_2 = \frac{C_0 E^2}{2} - \frac{\varepsilon^2 C_0 E^2}{2} = \frac{1 - \varepsilon^2}{2} C_0 E^2.$$

По закону сохранения энергии

$$Q = A_{\text{и}} - \Delta W = \frac{\varepsilon - 1}{2} C_0 E^2 \quad (4).$$

После подстановки числовых значений получаем: $Q = 0,5$ Дж.

Критерии оценивания:

Получено выражение (1) и найдено его правильное численное значение – 2 балла

Найдена работа источника тока (2) – 2 балла

Найдена энергия конденсатора в установившемся режиме (3) – 2 балла

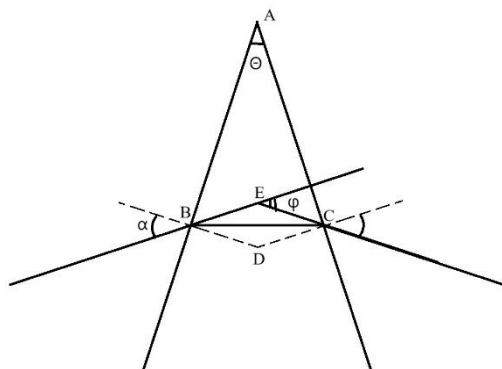
Найдено выражение (4) – 3 балла

Получен верный численный результат – 1 балл

Задача 5. Луч света выходит из призмы под тем же углом, под которым входит в нее, причем отклоняется от первоначального направления распространения на угол $\varphi = 15^\circ$. Преломляющий угол призмы равен $\Theta = 45^\circ$. Найдите показатель преломления материала призмы. Призма находится в воздухе.

Возможное решение

Нормали к поверхности призмы нарисованы пунктиром. По закону преломления $\sin \alpha = n \sin \angle DBE$. Чтобы угол падения луча на призму был равен углу выхода луча из призмы, отрезки АВ и АС должны быть равны, тогда треугольник ВАС равнобедренный, и углы



$\angle CBA = \angle BCA = \frac{\pi}{2} - \frac{\Theta}{2}$. Угол $\angle DBA$ прямой, так как образован нормалью к

поверхности призмы, откуда $\angle DBC = \frac{\pi}{2} - \angle CBA = \frac{\pi}{2} - \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\Theta}{2}\right) = \frac{\Theta}{2}$. Рассмотрим

четырехугольник ABDC: в нем углы $\angle ABD = \angle ACD = 90^\circ$, тогда угол

$\angle BDC = 2\pi - \angle DBA - \angle DCA - \angle BAC = 2\pi - 2\frac{\pi}{2} - \Theta = \pi - \Theta$, а угол $\angle BEC = \pi - \varphi$. В

четырехугольнике BDCE углы $\angle DBE = \angle DCE$ по построению. Тогда

$$\angle DBE = \frac{1}{2} 2\pi - \angle BEC - \angle BDE = \frac{1}{2} 2\pi - \pi - \Theta - \pi - \varphi = \frac{1}{2} \Theta + \varphi.$$

Окончательно получим: $n = \frac{\sin\left(\frac{\Theta + \varphi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)}$, что после подстановки численных

данных дает коэффициент преломления $\approx 1,31$.

Критерии оценивания

- правильно выполнен чертеж к задаче – 2 балла
- найдено выражения для угла α – 3 балла
- найдено выражение для угла $\angle DBE$ – 3 балла
- получен правильный ответ – 2 балла