

**КРИТЕРИИ И МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ
ВЫПОЛНЕННЫХ ОЛИМПИАДНЫХ ЗАДАНИЙ**

муниципального этапа всероссийской олимпиады школьников по физике
2023/24 учебный год

11 класс

11.1. (10 баллов)

Полёт мяча с вязким трением

Мяч, брошенный под углом 60° к горизонту со скоростью 10 м/с упал на землю. Из-за сопротивления воздуха вертикальная составляющая скорости при приземлении уменьшилась на 30% . Найдите продолжительность полёта мяча. Сила сопротивления пропорциональна скорости v . Ускорение свободного падения 10 м/с².

Ответ: $\approx 1,47$ с.

Решение.

Запишем второй закон Ньютона в импульсном виде

$$m\Delta\vec{v} = (m\vec{g} + k\vec{v})\Delta t.$$

Спроецируем его на вертикальную ось, направленную вверх

$$m\Delta v_y = -mg\Delta t - kv_y\Delta t.$$

$\Delta y = v_y\Delta t = 0$ перемещения тела за все время полета не было.

$$\Delta v_y = -v_y - v_{0y} = -0,7v_{0y} - v_{0y} = -1,7v_{0y}.$$

За время полета $T = \Delta t$

$$-1,7v_{0y}m = -mgT.$$

$$T = \frac{1,7v_{0y}}{g}.$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha.$$

$$T = \frac{1,7v_0 \sin \alpha}{g} \approx 1,47\text{с}.$$

Критерии оценивания:

Второй закон Ньютона в векторном виде или в проекции на вертикальную ось – 3 балла.

Выражение для перемещения вдоль вертикальной оси – 2 балла.

Изменение проекции скорости вдоль вертикальной оси – 2 балла.

Получено окончательное уравнение и ответ – 3 балла.

11.2. (10 баллов)

Ледяные шарики

Кастрюля площадью поперечного сечения $S = 150$ см² стоит на плите, в которой кипятятся $1,5$ литра воды. Если подводимое количество теплоты от горелки не меняется с течением времени, то за 15 минут испаряется слой воды высотой $h = 1,5$ см. В кастрюлю начинают опускать с постоянной

скоростью маленькие шарики льда. Какую массу M таких шариков в минуту надо бросать для поддержания постоянного уровня кипящей воды в этой кастрюле? Температуру шариков принять равной $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$. Плотность воды 1000 кг/м^3 , удельная теплоемкость воды $4,2\text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$, удельная теплота плавления льда 340 кДж/кг , удельная теплота парообразования $2,3\cdot\text{МДж/кг}$.

Ответ: $M \approx 11\text{ г/мин}$.

Решение.

Найдём вначале количество теплоты, подводимое от горелки плиты к кипящей воде за 1 минуту.

Поскольку за это время уровень воды опускается на $0,1h = 0,1\text{ см}$, то за это время выкипает объём воды V , равный $V = 0,1hS = 15\text{ см}^3$, имеющий массу $m = \rho V = 1000 \cdot 15 \cdot 10^{-6}\text{ кг} = 15 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$.

Для испарения такой массы воды требуется количество теплоты, равное $Q = rm = 2,3 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 34,5\text{ кДж}$ (здесь r – удельная теплота парообразования воды).

При поддержании постоянного уровня кипящей воды в кастрюле всё это количество теплоты будет расходоваться на плавление ледяных шариков массой M (в минуту), на нагревание получившейся воды от $0\text{ }^\circ\text{C}$ до $100\text{ }^\circ\text{C}$ и на её испарение:

$$Q = M[\lambda + c(100 - 0) + r],$$

где λ и c – удельная теплота плавления и удельная теплоёмкость воды, соответственно.

Отсюда:

$$M = Q/[\lambda + 100c + r] = 34,5 \cdot 10^3 / [3,4 \cdot 10^5 + 100 \cdot 4200 + 2,3 \cdot 10^6] \approx 11,27 \cdot 10^{-3}\text{ кг/мин} \approx 11\text{ г/мин}.$$

Критерии оценивания:

Найдена масса испаряющейся воды в минуту – 2 балла.

Найдено количество теплоты необходимое для испарения в минуту – 2 балла.

Выражение для постоянства уровня жидкости – 4 балла.

Получено окончательное уравнение и ответ – 2 балла.

11.3. (10 баллов)

Полет протона

Неподвижное ядро трехкратно ионизированного атома лития ${}^7_3\text{Li}$, в некоторой точке создает поле напряженностью $E = 150\text{ В/см}$. Протон, летящий по направлению к ядру в этой точке имеет скорость 30 км/с . На какое минимальное расстояние протон сможет приблизиться к ядру? Заряд

протона $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса протона $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг, коэффициент пропорциональности в законе Кулона $9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл².

$$\text{Ответ: } r_2 = \frac{6kr_1q^2}{mv^2r_1+6kq^2} = 9,2 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Решение.

В состав ядра атома лития входят 4 протона, поэтому летящий к нему протон будет тормозиться этим полем и на некотором расстоянии от ядра остановится. Так как поле ядра неоднородно, то на движущийся заряд действует переменная сила, поэтому для решения задачи удобно воспользоваться законом сохранения и превращения механической энергии:

$$A = W_2 - W_1.$$

Работа внешних сил над протоном – работа сил поля:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

φ_1 – потенциал поля, где протон обладал кинетической энергией

$$W_1 = \frac{mv^2}{2};$$

φ_2 – потенциал поля, где протон остановился $W_2 = 0$.

Если расстояние от ядра до указанных точек поля r_1 и r_2 , то

$$\varphi_1 = \frac{k \cdot 3q}{r_1} \text{ и } \varphi_2 = \frac{k \cdot 3q}{r_2}. \text{ Так как заряд создающий поле равен } 3q.$$

$$\text{Тогда } A = 3kq^2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

С учетом энергии

$$3kq^2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = -\frac{mv^2}{2}.$$

Расстояние r_1 найдем, зная напряженность поля ядра

$$E = \frac{3kq}{r_1^2}.$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{3kq}{E}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{150 \cdot 10^3}} \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

$$r_2 = \frac{6kr_1q^2}{mv^2r_1+6kq^2} = 9,2 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Критерии оценивания:

Выражение для работы через механическую энергию – 2 балла.

Выражение для работы электростатического поля – 2 балла.

Выражение для потенциала электростатического поля – 1 балл.

Выражение для напряженности поля – 1 балл.

Количественное указание заряда, создающего поле – 1 балл.

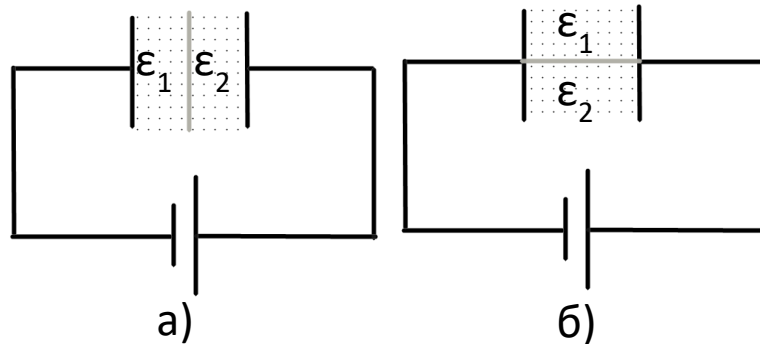
Найдено расстояние r_1 – 1 балл.

Получено окончательное уравнение и ответ – 2 балла.

11.4. (10 баллов)

Диэлектрики в конденсаторах

Одинаковые плоские конденсаторы подключены к источнику с напряжением U . Пространство между пластинами конденсаторов заполнено слоями диэлектриков одинаковой толщины с диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 , ϵ_2 . В одном конденсаторе слои расположены параллельно обкладкам, во втором перпендикулярно. Во сколько отличаются: а) емкости этих конденсаторов и б) напряженности полей в однородных диэлектриках?



Ответ: $\frac{C_{\text{посл}}}{C_{\text{пар}}} = \frac{4\epsilon_1\epsilon_2}{(\epsilon_1+\epsilon_2)^2}$; $\frac{E_1}{E_2} = \frac{2\epsilon_2}{(\epsilon_1+\epsilon_2)}$; $\frac{E_2}{E_1} = \frac{2\epsilon_1}{(\epsilon_1+\epsilon_2)}$.

Решение.

Если параллельно обкладкам плоского конденсатора ввести слои диэлектриков, заполняющих воздушную прослойку, то такой конденсатор можно рассматривать как два конденсатора, соединенных последовательно плоскостью контакта диэлектриков. Площади обкладок этих конденсаторов одинаковы и равны площади пластин S воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками новых конденсаторов также одинаковы и равны половине расстояния между обкладками воздушного конденсатора.

Емкость двух последовательно соединенных конденсаторов

$$C_{\text{посл}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

$$C_1 = \frac{2\epsilon_0\epsilon_1 S}{d} \text{ и } C_2 = \frac{2\epsilon_0\epsilon_2 S}{d}$$

$$C_{\text{посл}} = \frac{2\epsilon_0\epsilon_1\epsilon_2 S}{(\epsilon_1 + \epsilon_2)d} = \frac{2\epsilon_1\epsilon_2 C_0}{\epsilon_1 + \epsilon_2}.$$

Если слои диэлектриков расположены перпендикулярно пластинам, конденсатор можно рассматривать как систему двух конденсаторов, соединенных параллельно.

$$C_1' = \frac{\epsilon_0\epsilon_1 S}{2d} \text{ и } C_2' = \frac{\epsilon_0\epsilon_2 S}{2d}$$

$$C_{\text{пар}} = C_1' + C_2' = \frac{\epsilon_0(\epsilon_1 + \epsilon_2)S}{2d} = \frac{C_0(\epsilon_1 + \epsilon_2)}{2}.$$

$$\frac{C_{\text{посл}}}{C_{\text{пар}}} = \frac{4\varepsilon_1\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}.$$

При последовательном соединении конденсаторов подаваемое напряжение

$$U = U_1 + U_2.$$

$$U_1 = E_1 \frac{d}{2} \text{ и } U_2 = E_2 \frac{d}{2}.$$

$$E_1 = \frac{E_0}{\varepsilon_1} \text{ и } E_2 = \frac{E_0}{\varepsilon_2}.$$

Решая совместно

$$E_2 = \frac{2U\varepsilon_1}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \text{ и } E_1 = \frac{2U\varepsilon_2}{d(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}.$$

Если слои диэлектриков перпендикулярны пластинам, то напряжение на каждом конденсаторе одинаково и равно U .

$$\text{Тогда } E'_1 = \frac{U}{d} \text{ и } E'_2 = \frac{U}{d}.$$

Напряженности полей в первой и второй среде при указанном расположении слоев диэлектриков относятся друг к другу

$$\frac{E'_1}{E'_2} = \frac{2\varepsilon_2}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)} \text{ и } \frac{E_2}{E_1} = \frac{2\varepsilon_1}{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}$$

Критерии оценивания:

Верно указано, что можно рассматривать как последовательное и параллельное соединение конденсаторов – 1 балла.

Емкость при последовательном соединении конденсаторов – 1 балл.

Емкость при параллельном соединении конденсаторов – 1 балл.

Выражение для отношения емкостей конденсаторов – 1 балл.

Напряжение при последовательном соединении конденсаторов – 1 балл.

Связь напряженности и напряжения конденсаторов – 1 балл.

Напряженность при последовательном соединении конденсаторов – 1 балл.

Напряженность при параллельном соединении конденсаторов – 1 балл.

Отношения напряженностей в первом и втором случаях – 2 балла.

11.5. (10 баллов)

«Зайчик» на потолке

На ученическом столе стоит настольная лампа. Лампочка этой лампы находится на расстоянии $L_1 = 0,5$ м от поверхности стола и $L_2 = 1,5$ м от потолка. Под лампой на столе лежит плоское зеркало в форме треугольника со сторонами 6 см, 4 см и 8 см.

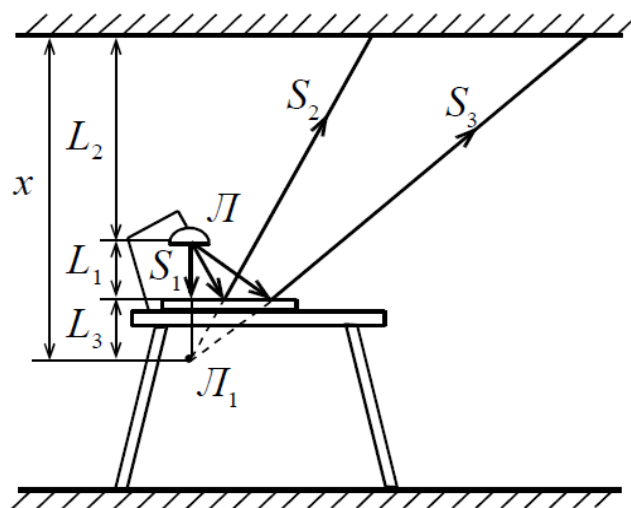
1) На каком расстоянии L от потолка находится изображение нити накала лампочки?

2) Найдите форму и размеры «зайчика», полученного на потолке от осколка зеркала.

Нить накала лампочки можно считать точечным источником света.

Ответ: 2,5 м, 30 см, 20 см, 40 см.

Решение.



Из рисунка видно, что $L_1 = L_3$ и $L = x = 2L_1 + L_2 = 2,5$ м.

Для определения формы и размера «зайчика» удобно рассмотреть лучи S_2 и S_3 , «исходящие» от мнимого изображения L_1 .

Т.к. плоскости зеркала и потолка параллельны, форма зайчика будет подобна зеркалу. Найдем коэффициент подобия. Если длина стороны зеркала h , а соответствующая ей длина стороны «зайчика» H , то можно записать пропорцию:

$$\frac{h}{H} = \frac{L_3}{L}$$

Из пропорции следует, что $H = \frac{L}{L_3} h = \frac{2,5}{0,5} = 5$.

Тогда длины сторон «зайчика» равны соответственно 30 см, 20 см, 40 см.

Критерии оценивания:

Верно сделан рисунок – 5 баллов.

Определено расстояние L – 1 балл.

Указано, что форма зайчика подобна форме зеркала – 1 балл.

Найден коэффициент подобия – 1 балл.

Определены размеры зайчика – 2 балла.