**Всероссийская олимпиада школьников**
**II (муниципальный) этап**
***Физика***
***9 класс***

Общее время выполнения работы – **3 часа 30 минут.**
Максимальное количество баллов - **50**
При выполнении работы можно пользоваться непрограммируемым калькулятором.

**ЗАДАЧА № 1. "Студенты"(10 баллов)**
Живущие в соседних комнатах общежития два студента А и В, решили сэкономить, соединив потолочные светильники последовательно. Они уговорились, что в своих комнатах установят лампочки по 100 Вт и будут оплачивать равные доли счёта за электричество. Но каждый решил получить лучшее освещение за счёт другого: студент А вкрутил лампочку в 200 Вт, а студент В – лампочку в 50 Вт. Кто выиграл в освещённости комнаты, а кто – в оплате? Считать время работы ламп одинаковым, сопротивление ламп постоянным.

РЕШЕНИЕ:
Мощность лампочек при подключении определяется как:

$$P_A = \frac{U_A^2}{R_A} \qquad P_B = \frac{U_B^2}{R_B} \qquad (1)$$

Напряжение на лампах при последовательном подключении:

$$U = U_A + U_B \quad (2) \qquad\qquad \frac{U_A}{U_B} = \frac{R_A}{R_B}$$

Определим мощности лампочек в отдельности:

$$P_1 = \frac{U^2}{R_A} \qquad P_2 = \frac{U^2}{R_B} \qquad (3)$$

Из этого получаем

$$P_A = \frac{P_2^2 \cdot P_1}{(P_1 + P_2)^2} = 8Bm \quad (4) \qquad\qquad P_B = \frac{P_1^2 \cdot P_2}{(P_1 + P_2)^2} = 32Bm \quad (5)$$

в освещённости комнаты и в оплате проигрывает студент А, т.к. потребляемая мощность его лампочки 8 Вт, а платить надо за $\frac{8+32}{2} = 20\,Bm$ (6)

Ответ: в освещённости комнаты и в оплате проигрывает студент А

Критерии оценивания задачи №1.

| | |
|---|---|
| Запись формул определения мощности (1) | **2 балла** |
| Определение последовательного напряжения (2) | **1 балл** |
| Запись формул мощности отдельных лампочек (3) | **2 балла** |
| Вычисление итоговых мощностей (4) и (5) | **4 балла** |
| Записан вывод (6) | **1 балл** |

**ЗАДАЧА № 2. "Ворота" (10 баллов)**

Узнав о готовящемся нападении неприятеля, решётку ворот замка начали опускать с постоянной скоростью u = 0,2 м/с. Мальчик, игравший на расстоянии l = 20 м от ворот, в тот же момент бросился бежать к воротам. Сначала он двигался равноускоренно, а затем, набрав максимальную скорость $\upsilon_0$ = 2,5 м/с, равномерно. С каким минимальным ускорением $a_{min}$ мог разгоняться мальчик, чтобы успеть пробежать под решёткой в полный рост, если в начальный момент времени нижний край решётки находился на расстоянии H = 3 м от поверхности земли? Рост мальчика h =100 см.

РЕШЕНИЕ.

Пусть ускорение мальчика равно a. Тогда за время разгона $t_1$ он пробежит расстояние $S_1$, а за время равномерного движения $t_2$ - расстояние $S_2$ .

Тогда

$$t_1 = \frac{\upsilon_0}{a}$$

$$S_1 = \frac{\upsilon_0^2}{2a}$$

$$t_2 = \frac{S_2}{\upsilon_0}$$

$$S_2 = l - S_1$$

$$t = t_1 + t_2$$

$$t = \frac{\upsilon_0}{a} + \frac{l - S_1}{\upsilon_0}$$

Для того чтобы мальчик успел пробежать под решеткой в полный рост, t не должно превышать времени τ движения решётки ворот от исходного положения до высоты, равной росту мальчика. Очевидно, что ускорение будет минимальным, если $t = \tau$ .

Считая, что решётка движется равномерно:

$$\tau = \frac{H - h}{u}$$

$$\frac{\upsilon_0}{a} - \frac{l - S_1}{\upsilon_0} = \frac{H - h}{u}$$

$$a_{\min} = \frac{\upsilon_0}{2\left(\frac{H - h}{u} - \frac{l}{\upsilon_0}\right)}$$

$$a_{\min} = 0{,}625 \ \frac{м}{с^2}$$

ОТВЕТ: 0,625 м/с²

Критерии оценивания задачи №2.

| | |
|---|---|
| Получено выражение для времени разгона и пути разгона и равномерного движения | **3 балла** |

| | |
|---|---|
| Получено выражение для времени опускания решётки | **3 балла** |
| Получено выражение для ускорения | **3 балла** |
| Получено числовое значение ускорения | **1 балл** |

**ЗАДАЧА 3. "Сколько льда" (10 баллов)**

В калориметре находилось $m_1$ = 400 г воды при температуре $t_1$ = 5 $^0$C. К ней долили ещё $m_2$ = 200 г воды при температуре $t_2$ =10 $^0$C и положили $m_3$ = 400 г льда при температуре $t_3$ = -60$^0$C. Какая масса льда оказалась в калориметре после установления теплового равновесия? Удельная теплоёмкость воды и льда, соответственно $c_в$ = 4,2 Дж/г $^0$C, $c_л$ = 2,1 Дж/г$^0$C, удельная теплота плавления льда λ= 330 Дж/г. Теплоёмкостью калориметра пренебречь.

РЕШЕНИЕ.

Определим вначале количество теплоты, которое может отдать вода при остывании до температуры плавления льда (0$^0$ C):

$$Q_1 = m_1 c_в \Delta t_1 + m_2 c_в \Delta t_2 = 16800 Дж \quad (1)$$

Количество теплоты, требующееся для нагревания льда до температуры плавления, равно

$$Q_2 = m_3 c_л \Delta t_3 = 50400 Дж \quad (2)$$

.

Сравнивая эти величины, видим, что теплоты, отдаваемые водой при остывании, недостаточно для нагревания льда до 0$^0$C. В то же время, количество теплоты, которое может отдать вся вода при замерзании,

$$Q_3 = (m_1 + m_2) \cdot \lambda = 198000 Дж \quad (3)$$

явно превышает количество теплоты, требующееся для нагревания льда до температуры плавления. Следовательно, при установления теплового равновесия в калориметре вода остынет до 0$^0$C, часть её замёрзнет, и весь лёд будет иметь температуру плавления. Обозначив через $m_x$ массу замёрзшей воды, уравнение теплового баланса будет иметь вид:

$$\lambda \cdot m_x = Q_2 - Q_1, \quad (4)$$

откуда

$$m_x = \frac{Q_2 - Q_1}{\lambda}. \quad (5)$$

Таким образом, после установления теплового равновесия в калориметре образуется смесь воды и льда при нулевой температуре, причём масса льда

$$m_x \approx 502 г$$

ОТВЕТ: $m_x \approx 502 г$

Критерии оценивания задачи №3.

| | |
|---|---|
| Записано выражение для количества теплоты, отданной водой при остывании (1) | **2 балла** |
| Записано выражение для количества теплоты, требующейся для плавления (2) | **2 балла** |
| Проведено сравнение (3) и сделан вывод о замерзании части воды | **2 балла** |
| Получено уравнение теплового баланса в виде (4) | **3 балла** |

| | |
|---|---|
| Получен численный ответ | **1 балл** |

**ЗАДАЧА 4. "Барон и ядро" (10 баллов)**

Одно из ядер барона Мюнхгаузена, выпущенное при испытаниях с вершины холма со скоростью $V_0$ под углом α к горизонту, во время полета разорвалось на две одинаковые части. При этом Мюнхгаузен заметил, что сразу после разрыва одна из них полетела горизонтально, а другая – вертикально. Помогите барону определить – на какой высоте (относительно вершины холма) произошел разрыв, если сразу после разрыва скорости частей ядра были равны по величине? Сопротивлением воздуха пренебречь.

**Решение:**
Запишем кинематические соотношения:

$x = V_0 \cdot \cos\alpha \cdot t$ (1) $\qquad$ $y = V_0 \cdot \sin\alpha - \frac{g}{2}t^2$ (2)

$V_x = V_0 \cdot \cos\alpha$ $\qquad$ $V_y = V_0 \cdot \sin\alpha - gt$

Из условия задачи следует, что в момент разрыва выполняются условия равенства значений горизонтальной и вертикальной проекции импульса (и скоростей, при равных массах).
Иначе, в этот момент скорость направлена под углом $45^0$ к горизонту. Отсюда следует

$$V_0 \cos\alpha = V_0 \sin\alpha - gt \quad (3)$$

Получим отсюда значение *t* и подставим его в выражение для вертикальной координаты.
Получим:

$$y = V_0 \cdot \sin\alpha - \frac{g}{2}t^2 = \frac{V_0}{g}(\sin^2\alpha - \frac{1}{2}) \quad (3)$$

Отметим, что если α<45°, то решение получается отрицательным. Это значит, что ядро разорвется в тот момент, когда он находится ниже начальной высоты.

Ответ: $h = \frac{V_0}{g}(\sin^2\alpha - \frac{1}{2})$

Критерии оценивания задачи №4.

| | |
|---|---|
| Записаны кинематические выражения для движения по OX (1) | **2 балла** |
| Записаны кинематические выражения для движения по OY (2) | **2 балла** |
| Сделан вывод о равенстве скоростей (3) | **3 балла** |
| Получено выражение для высоты (4) | **3 балла** |

**ЗАДАЧА 5. "Свечка" (10 баллов)**

Парафиновая свечка горит так, что ее длина уменьшается со скоростью $u = 5 \cdot 10^{-5}$ м/с, а испаряющийся парафин полностью сгорает, не стекая вниз. Свечка плавает в широком сосуде с водой. Ее слегка поддерживают в вертикальном положении, чтобы она не опрокидывалась. С какой скоростью υ свечка движется относительно сосуда во время сгорания? Плотность воды $\rho_в$ = 1000 кг/м$^3$, плотность парафина $\rho_п$ = 900 кг/м$^3$.

**Решение.**

Поскольку свечка плавает, то ее сила тяжести равна силе Архимеда. Причем свеча плавает, частично погрузившись в воду, так как её плотность меньше плотности воды.

Условие плавания свечи:

$$m_{св}g = F_a; \qquad (1)$$

$$\rho_{св} V_{св}\, g = \rho_в g V_{пог}$$

Или:

$$\rho_{св} S_{св}\, l_{св} = \rho_в S_{св} h_{пог} \qquad (2)$$

Изменение положения свечи связано с уменьшением массы свечи (сверху) в результате сгорания парафина, и с изменением силы Архимеда, поскольку меняется объем погруженной части свечи.

Разделив обе части уравнения на время, получим:

$$\rho_{св}\, u = \rho_в v, \qquad (3)$$

откуда

$$v = u \cdot \rho_{св}/\rho_в\,; \qquad (4)$$

$$v = 4{,}5 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 4{,}5 \cdot 10^{-5}$ м/с.

Критерии оценивания задачи №5.

| | |
|---|---|
| Записано условие плавания в виде (1) | **3 балла** |
| Записано условие плавания в виде (2) | **2 балла** |
| Получено соотношение между скоростями (3) | **3 балла** |
| Получено выражение для скорости (4) | **2 балла** |