

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников
2024-2025 учебный год
ФИЗИКА
11 класс**

Критерии оценивания

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

Задание 1

Антон стоит в точке A на расстоянии ℓ от края обрыва и бросает мяч под углом 30° к горизонту (см. рисунок 1.1). Минимальное расстояние от основания обрыва, на котором Ваня может поймать свободно летящий мяч в точке B равно $\ell/2$. С какой начальной скоростью брошен мяч? Каковы высота обрыва и время полета мяча? Сопротивлением воздуха и ростом мальчиков пренебречь.

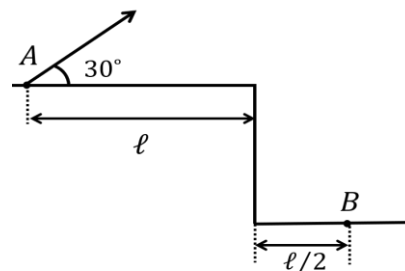


Рисунок 1.1

Мяч полетит по параболической траектории, причём, чтобы Ваня мог поймать мяч на минимальном расстоянии от основания обрыва, траектория мяча должна «касаться» края обрыва, как показано на рисунке 1.2.

Дальность полета мяча до края обрыва определяется по известной формуле

$$\ell = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{\sqrt{3} v_0^2}{2g}, \quad (1)$$

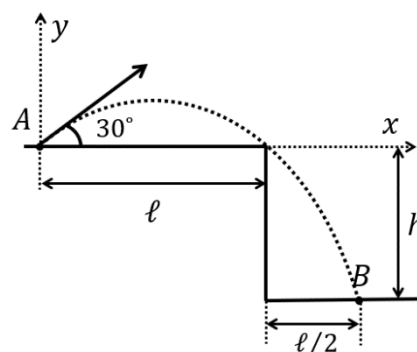


Рисунок 1.2.

из которой можно найти начальную скорость мяча

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g\ell}{\sqrt{3}}}. \quad (2)$$

Движение мяча вдоль горизонтальной оси является равномерным с постоянной скоростью $v_x = v_0 \cos \alpha$, тогда время движения мяча можно найти как

$$t = \frac{\ell + \ell/2}{v_0 \cos \alpha} = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}\ell}{2g}}. \quad (3)$$

Вдоль вертикальной оси мяч движется с постоянным ускорением g , направленным вниз, тогда соответствующее уравнение движения будет иметь вид

$$-h = v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \quad (4)$$

Откуда находим высоту обрыва

$$h = -\frac{\sqrt{3}}{2}\ell + \frac{3\sqrt{3}}{4}\ell = \frac{\sqrt{3}}{4}\ell. \quad (5)$$

Критерии оценивания:

Указано, что траектория полета мяча касается края обрыва - 1 балл

Найдена начальная скорость мяча $v_0 = \sqrt{\frac{2g\ell}{\sqrt{3}}}$ - 3 балла

Найдено полное время полёта $t = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}\ell}{2g}}$ - 3 балла

Найдена высота обрыва $h = \frac{\sqrt{3}}{4}\ell$ - 3 балла

Максимальный балл - 10

Задание 2

На гладкой горизонтальной поверхности находится система, состоящая из бруска массой $M = 3$ кг с прикрепленным к нему невесомым блоком и груза массой $m = 0,5$ кг, привязанного с помощью нити к стене. С каким ускорением будет двигаться брусок, если его толкать с силой $F = 13$ Н, направленной вправо (см. рис. 11.2)? Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с². Между бруском и грузом, а также в оси блока трения нет. Нить считать невесомой и нерастяжимой.

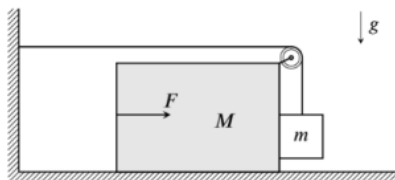


Рис. 11.2.

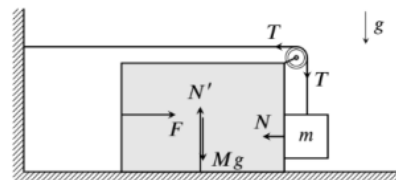


Рис. 11.3.

Решение: Пусть a — ускорение бруска, тогда у груза ускорение имеет две составляющие, вертикальную (направленную вверх) и горизонтальную, равные по модулю a . Запишем 2й закон Ньютона для груза (N — сила взаимодействия груза и бруска, T — сила натяжения нити):

$$ma = N, \quad ma = T - mg.$$

Изобразим силы, действующие на брусок (рис. 11.3) и запишем 2й закон Ньютона в проекции на горизонтальную ось:

$$Ma = F - T - N.$$

Выражая T и N из предыдущих уравнений, получим

$$Ma = F - ma - mg - ma \Rightarrow a = \frac{F - mg}{M + 2m} = \frac{13 \text{ Н} - 5 \text{ Н}}{4 \text{ кг}} = 2 \text{ м/с}^2.$$

Критерии оценивания

Указано, что горизонтальная составляющая ускорения груза равна ускорению бруска a - 1 балл

Указано, что вертикальная составляющая ускорения груза равна a и направлена вверх - 2 балла

Правильно записан 2-й закон Ньютона для груза в проекции на вертикальную ось - 1 балл

Правильно записан 2-й закон Ньютона для груза в проекции на горизонтальную ось - 1 балл

Правильно записан 2-й закон Ньютона для бруска в проекции на горизонтальную ось - 3 балла

Найдено верное значение ускорения бруска a - 2 балла

Указание проверяющим:

1) Баллы в пунктах 1 и 2 ставить за само наличие данного утверждения (например, в виде чертежа). Если из чертежа или дальнейшего текста решения учащегося не ясно, какие именно составляющие у ускорения груза, баллы не ставить.

2) Если в пунктах 3-5 уравнения записаны с неверно связанными между собой ускорениями, но с правильными силами, баллы за соответствующие пункты ставить.

Максимальный балл – 10

Задание 3

Цепь, изображённая на рис. 11.4, состоит из двух конденсаторов с ёмкостями C и $2C$, резистора и ключа K . Вначале конденсатор ёмкостью $2C$ не заряжен, а ключ разомкнут. После того как ключ замкнули, выяснилось, что когда заряд конденсатора $2C$ равен Q , сила тока через резистор равна I_0 , а когда заряд стал равен $2Q$, сила тока через резистор упала до $I_0/3$.

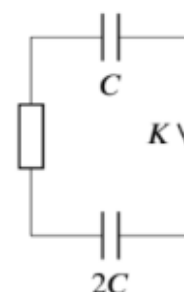


Рис. 11.4.

1. Каков был заряд конденсатора ёмкостью C до замыкания ключа?
 2. Определите силу тока через резистор сразу после замыкания ключа.
 3. Какие заряды установятся на конденсаторах в результате перезарядки?
- Сопротивлением соединительных проводов пренебречь.

Решение: Пусть Q_0 — начальный заряд конденсатора C . В первом случае, когда заряд на конденсаторе $2C$ равен Q , первый конденсатор разрядился до заряда $Q_0 - Q$. Напряжение на первом конденсаторе равно сумме напряжений на втором конденсаторе и на резисторе:

$$\frac{Q_0 - Q}{C} = I_0 R + \frac{Q}{2C} \Rightarrow Q_0 = C I_0 R + \frac{3Q}{2}. \quad (11.3.1)$$

Аналогично, во втором случае

$$\frac{Q_0 - 2Q}{C} = \frac{I_0 R}{3} + \frac{2Q}{2C} \Rightarrow Q_0 = \frac{C I_0 R}{3} + 3Q. \quad (11.3.2)$$

Решая систему, получим: $C I_0 R = 9Q/4$, $Q_0 = 15Q/4$.

Сразу после замыкания ключа второй конденсатор не заряжен, поэтому

$$\frac{Q_0}{C} = I R \Rightarrow \frac{15Q}{4C} = I \cdot \frac{9Q}{4C I_0} \Rightarrow I = \frac{5I_0}{3}.$$

В установившемся режиме заряд Q_0 поделится между конденсаторами:

$$\frac{Q_0 - Q_2}{C} = \frac{Q_2}{2C} \Rightarrow Q_2 = \frac{2Q_0}{3} = \frac{5Q}{2}, \quad Q_1 = Q_0 - Q_2 = \frac{5Q}{4}.$$

Критерии:

- 1) Записано условие (11.3.1) для первого случая или его аналог 2 балла
- 2) Записано условие (11.3.2) для второго случая или его аналог 2 балла
- 3) Записано условие равенства напряжений в момент замыкания ключа $Q_0/C = I R$ 2 балла
- 4) Найдено выражение для начального заряда первого конденсатора $Q_0 = 15Q/4$ 1 балл
- 5) Найдено выражение для силы тока сразу после замыкания ключа $I = 5I_0/3$ 1 балл
- 6) Найдены выражения для установившихся зарядов $Q_1 = 5Q/4$ и $Q_2 = 5Q/2$ 2 балла

Указание проверяющим:

Если в пункте 6 по каким-то причинам одно значение найдено верно, а другое — нет, ставить 1 балл из 2.

Максимальный балл – 10

Задание 4

В вертикальном цилиндрическом теплоизолированном сосуде находится горизонтальный поршень массой $m = 10$ кг, прикрепленный с помощью лёгкой пружины к его верхней стенке, и расположенный у нижнего основания миниатюрный нагреватель. Под поршнем находится идеальный одноатомный газ, а над поршнем — вакуум. В начальном положении поршень расположен на высоте $h = 80$ см от нижнего основания (см. рис. 11.5), пружина не деформирована.

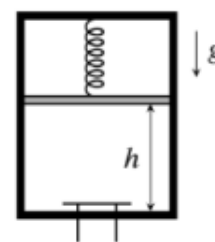


Рис. 11.5.

Определите жёсткость пружины k , если после передачи газу количества теплоты $Q = 130$ Дж, поршень поднялся на высоту $h/4$. Трением между поршнем и стенками пренебречь. Ускорение свободного падения принять равным $g = 10$ м/с².

Решение: В начальном положении давление газа под поршнем равно $p_0 = mg/S$, где S — площадь поршня. Если же в результате нагревания поршень поднялся на высоту $h/4$, давление газа под ним стало $p = p_0 + kh/(4S)$, а объём газа $V = 5Sh/4$. Работа по подъёму поршня на высоту $h/4$ определяется как изменение потенциальных энергий поршня и пружины

$$A = \frac{mgh}{4} + \frac{kh^2}{32},$$

в то время как изменение внутренней энергии равно

$$\Delta U = \frac{3}{2}\nu R\Delta T = \frac{3}{2}(pV - p_0Sh) = \frac{3}{2}\left(\frac{p_0Sh}{4} + \frac{5kh^2}{16}\right) = \frac{3mgh}{8} + \frac{15kh^2}{32}.$$

Отсюда получим, что

$$Q = \Delta U + A = \frac{5mgh}{8} + \frac{kh^2}{2} \Rightarrow k = \frac{2}{h^2}\left(Q - \frac{5mgh}{8}\right) = 250 \text{ Н/м}.$$

Критерии:

- 1) Найдена верная связь между начальным давлением газа p_0 и массой поршня 1 балл
- 2) Записано выражение для конечного давления газа $p = p_0 + kh/4S$ 1 балл
- 3) Записано верное выражение для работы газа A 2 балла
- 4) Записано верное выражение для внутренней энергии газа 2 балла
- 5) Записано верное выражение для Q через величины, данные в условии 2 балла
- 6) Найдено верное числовое значение для k 2 балла

Указание проверяющим:

- 1) В пункте 3 баллы ставятся, если учащийся привёл правильную формулу, содержащую только величины, данные в условии и найденные в процессе решения (например, p_0 или p). Абстрактные выражения, например, $A = \int p dV$, не оцениваются.
- 2) В пункте 4 баллы ставятся, если учащийся привёл правильную формулу, содержащую только величины, данные в условии и найденные в процессе решения (например, p_0 или p). Абстрактные выражения, например, $\Delta U = 3\nu R\Delta T/2$, не оцениваются.
- 3) В пункте 6 в случае незначительной ошибки в счёте (если баллы за все предыдущие пункты отличны от нуля) можно ставить 1 балл из 2.

Максимальный балл – 10

Задание 5

Геостационарный спутник, измеряющий магнитное поле, находится на стационарной круговой орбите, проходящей над экватором. За счет суточного вращения Земли спутник неподвижен относительно её поверхности. На краях спутниковой антенны, имеющей длину 5 метров и направленной к центру Земли, вследствие вспышки на Солнце зарегистрирована разность потенциалов 30 мВ. Определите величину индукции магнитного поля, если его силовые линии перпендикулярны антенне и направлению движения спутника. Радиус Земли принять равным 6400 км, а ускорение свободного падения на её поверхности равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

Определим скорость спутника v . Из условия задачи можно сделать вывод, что спутник находится на геостационарной орбите, т.е. период суточного вращения Земли T_3 равен периоду вращения спутника:

$$T_3 = T = \frac{2\pi R}{v}, \quad (1)$$

где R — радиус орбиты. Используем также условие стационарности орбиты:

$$\frac{mv^2}{R} = \frac{GmM_3}{R^2}. \quad (2)$$

Из (1) и (2) следует, что

$$R = \frac{GM_3}{v^2}; v = \frac{2\pi R}{T_3} = \frac{2\pi GM_3}{T_3 v^2}; v = \sqrt[3]{\frac{2\pi GM_3}{T_3}} = \sqrt[3]{\frac{2\pi g R_3^2}{T_3}}. \quad (3)$$

Разность потенциалов $\Delta\varphi$, зарегистрированная на концах антенны, возникла в результате явления электромагнитной индукции. Закон электромагнитной индукции Фарадея для проводника длины ℓ , движущегося и ориентированного перпендикулярно силовым линиям магнитного поля:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B\ell\Delta x}{\Delta t} = vB\ell. \quad (4)$$

Определим величину индукции магнитного поля B , используя (3) и (4):

$$B = \frac{\Delta\varphi}{\ell v} = \frac{\Delta\varphi}{\ell} \sqrt[3]{\frac{T_3}{2\pi g R_3^2}} = \frac{30 \cdot 10^{-3} \text{ В}}{5 \text{ м}} \sqrt[3]{\frac{24 \cdot 3600 \text{ с}}{2\pi \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 6,4^2 \cdot 10^{12} \text{ м}^2}} = 2 \text{ мкТл}.$$

Критерии оценивания

Определено условие для геостационарной орбиты (1) - 2 балла

Записано условие стационарности круговой орбиты (2) - 2 балла

Получено выражение для скорости спутника (3) - 2 балла

Сформулирован закон Фарадея для данного случая (4) - 2 балла

Найдено конечное выражение для B (5) - 1 балл

Вычислено значение $B = 2 \text{ мкТл}$ - 1 балл

Максимальный балл – 10