

**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады школьников  
2023-2024 учебный год  
ФИЗИКА  
11 класс**

**Критерии оценивания**

Выставление премиальных баллов сверх максимальной оценки за задание не допускается.

**Задание 1**

Стакан с водой, в которой плавают кусочки льда, долго стоит в холодильнике при температуре 0 градусов Цельсия. Холодильник переключили в режим морозильной камеры. Выберите правильное окончание следующего предложения. *В процессе последующей кристаллизации воды...*

- А) внутренняя энергия и воды, и кусочков льда увеличивается
- Б) внутренняя энергия и воды, и кусочков льда уменьшается
- В) внутренняя энергия и воды, и кусочков льда не изменяется
- Г) внутренняя энергия воды увеличивается, а кусочков льда – уменьшается
- Д) внутренняя энергия воды уменьшается, а кусочков льда – увеличивается
- Е) внутренняя энергия воды уменьшается, а кусочков льда – не изменяется
- Ж) внутренняя энергия воды увеличивается, а кусочков льда – не изменяется

**Ответ: Е**

**Дан верный ответ .....10 баллов**

**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/с<sup>2</sup>. Между бруском и грузом, а также в оси блока трения нет. Нить считать невесомой и нерастяжимой.

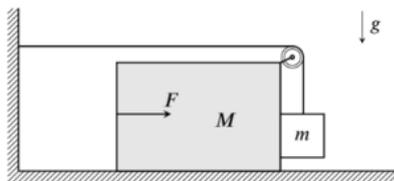


Рис. 11.2.

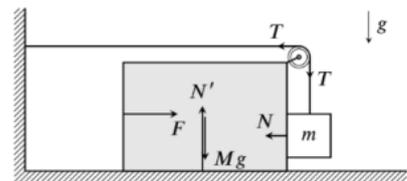


Рис. 11.3.

**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

- 1) Указано, что горизонтальная составляющая ускорения груза равна ускорению бруска  $a$  . . . . . 1 балл
- 2) Указано, что вертикальная составляющая ускорения груза равна  $a$  и направлена вверх . . . . . 2 балла
- 3) Правильно записан 2-й закон Ньютона для груза в проекции на вертикальную ось . . . . . 1 балл
- 4) Правильно записан 2-й закон Ньютона для груза в проекции на горизонтальную ось . . . . . 1 балл
- 5) Правильно записан 2-й закон Ньютона для бруска в проекции на горизонтальную ось . . . . . 3 балла
- 6) 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  $I_0/3$ .

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.

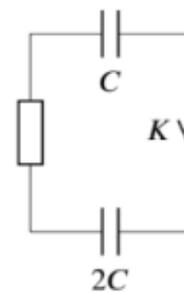


Рис. 11.4.

**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:

$$\frac{Q_0 - Q}{C} = I_0 R + \frac{Q}{2C} \Rightarrow Q_0 = CI_0 R + \frac{3Q}{2}. \quad (11.3.1)$$

Аналогично, во втором случае

$$\frac{Q_0 - 2Q}{C} = \frac{I_0 R}{3} + \frac{2Q}{2C} \Rightarrow Q_0 = \frac{CI_0 R}{3} + 3Q. \quad (11.3.2)$$

Решая систему, получим:  $CI_0 R = 9Q/4$ ,  $Q_0 = 15Q/4$ .

Сразу после замыкания ключа второй конденсатор не заряжен, поэтому

$$\frac{Q_0}{C} = IR \Rightarrow \frac{15Q}{4C} = I \cdot \frac{9Q}{4CI_0} \Rightarrow I = \frac{5I_0}{3}.$$

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  $Q_0/C = IR$  . . . . . 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. 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/с<sup>2</sup>.

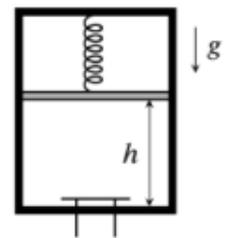


Рис. 11.5.

**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,  $A = \int pdV$ , 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**

На гладком горизонтальном столе лежат, касаясь друг друга, две одинаковые шайбы радиуса  $R$ . На них со скоростью  $v$  налетает третья шайба, имеющая радиус  $r = R/3$ , причём её центр движется по прямой, являющейся серединным перпендикуляром отрезка, соединяющего центры покоящихся шайб (см. рис. 11.6). Найдите скорость, с которой будет двигаться третья шайба после абсолютно упругого столкновения. Все шайбы гладкие, сделаны из одинакового однородного материала и имеют одну и ту же высоту.

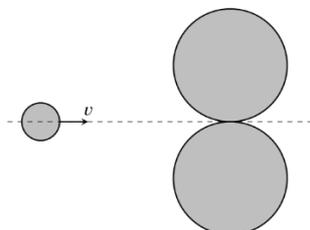


Рис. 11.6.

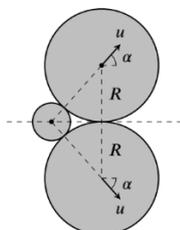


Рис. 11.7.

**Решение:** Пусть  $v'$  и  $u$  — скорости маленькой и больших шайб после удара. Так как шайбы гладкие, скорость, которую приобретёт большая шайба, будет направлена по прямой, соединяющей центры маленькой и большой шайбы (рис. 11.7). Угол  $\alpha$  между вектором  $\vec{u}$  и горизонталью (осью симметрии) определяется из условия  $\sin \alpha = \frac{R}{R + R/3} = 3/4$ . Запишем закон сохранения импульса в проекции на горизонталь, учитывая, что большая шайба в 9 раз тяжелее маленькой:

$$mv = -mv' + 2 \cdot 9mu \cos \alpha \Rightarrow v + v' = 18u \cdot \frac{\sqrt{7}}{4}.$$

Из закона сохранения энергии следует, что

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv'^2}{2} + 2 \cdot \frac{9mu^2}{2} \Rightarrow v^2 - v'^2 = 18u^2.$$

Выражая из первого уравнения скорость  $u$  и подставляя во второе, получим

$$v^2 - v'^2 = 18 \cdot \frac{16}{7 \cdot 18^2} (v + v')^2 \Rightarrow v - v' = \frac{8}{63} \cdot (v + v') \Rightarrow v' = \frac{55v}{71} \approx 0,775v.$$

### Критерии оценивания

- 1) Указано, что скорость большой шайбы после удара направлена по линии, соединяющей центры шайб . . . . . 1 балл
- 2) Правильно найден угол между скоростью  $u$  и осью симметрии . . . . . 2 балла
- 3) Указано, что масса большой шайбы в 9 раз больше массы маленькой . . . . . 1 балл
- 4) Правильно записан закон сохранения импульса в проекции на ось симметрии . . 2 балла
- 5) Правильно записан закон сохранения энергии . . . . . 1 балл
- 6) Найдено верное выражение для скорости  $v'$  . . . . . 3 балла

Указание проверяющим:

- 1) Балл в пункте 1 ставить за само наличие данного утверждения (например, в виде чертежа). Если из чертежа или дальнейшего текста решения учащегося не ясно, как конкретно направлен вектор скорости, балл не ставить.
- 2) В пункте 2 достаточно найти синус или иную функцию угла. Если угол найден верно, балл за предыдущий пункт должен быть также поставлен.
- 3) В пункте 4 баллы ставить за ЗСИ, записанный в проекции на ось симметрии, причём подстановка соотношения между массами и числового значения угла не обязательна. Если ЗСИ записан только в векторной форме, баллы не ставить.
- 4) В пункте 5 подстановка соотношения между массами не обязательна.
- 5) В пункте 6, если учащийся выбрал противоположное авторскому направлению скорости  $v'$  и оставил в ответе знак минус ( $v' = -55v/71$ ), такой ответ засчитывать как верный.

**Максимальный балл – 10**