

Решения
Задач отборочного тура олимпиады «Росатом» 2018-2019 учебного года
Физика, 11 класс, комплект 3

1. На краю стола на грани соскальзывания лежит цепочка с мелкими звеньями, при этом со стола свешивается четвертая часть цепочки. Найти коэффициент трения между цепочкой и столом.

Решение. В момент начала скольжения сила тяжести, действующая на свисающий конец цепочки, равна силе трения, действующей на лежащую на столе часть цепочки. Поскольку эти силы пропорциональны массам соответствующих частей, получим

$$k \frac{3}{4} mg = \frac{1}{4} mg$$

где k - коэффициент трения между цепочкой и столом. Отсюда находим

$$k = \frac{1}{3}$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла):

1. Использовано правильное выражение для максимальной силы трения покоя – 0,5 балла,
2. Правильно найдены сила тяжести, действующая на свисающий конец цепочки, и сила трения, - на лежащий.
3. Правильно написан второй закон Ньютона для момента начала скольжения – 0,5 балла,
4. Правильный ответ – 0,5 балла.

2. Двигаясь равноускоренно из состояния покоя, тело прошло расстояние S за время τ . Какую скорость будет иметь тело, в тот момент, когда оно пройдет вдвое большее расстояние?

Решение. Из законов равноускоренного движения находим ускорение тела

$$a = \frac{2S}{\tau^2} \quad (1)$$

Применяя теперь законы движения к точке, находящейся на расстоянии $2S$ от начальной, имеем

$$\begin{aligned} 2S &= \frac{at_1^2}{2} \\ v &= at_1 \end{aligned} \quad (2)$$

где t_1 - время движения до этой точки. Выражая время из первого уравнения и подставляя его во второе, а также используя ускорение (1), находим

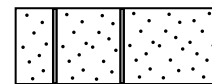
$$v = \frac{2\sqrt{2}S}{\tau}$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла):

1. использование законов равноускоренного движения – 0,5 балла,
2. правильно найдено ускорение – 0,5 балла,
3. правильное применение законов движения к той точке, где надо найти скорость – 0,5 балла,

4. правильный ответ – 0,5 балла.

3. Запаянный горизонтальный цилиндрический сосуд длиной l разделен на три отсека двумя подвижными перегородками (см. рисунок). В левом отсеке содержится 1 моль криптона, в среднем – по 1 молю криптона и неона, в правом – по 1 молю криптона и неона и 2 моля гелия. Перегородки находятся в равновесии. В некоторый момент времени перегородки становятся проницаемыми для гелия и остаются непроницаемой для неона и криптона. Найти перемещения перегородок к моменту установления равновесия. Температуры газов одинаковы и не меняются в течение процесса.



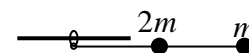
Решение. Поскольку в левом отсеке находится 1 моль газа, в среднем – 2 моля, в правом – 4 моля, из условия равновесия перегородок (равенство давлений справа и слева от них), заключаем, что в начальный момент они располагались на расстоянии $l/7$ и $3l/7$ от левого конца сосуда. После того, как гелий распределится по сосуду равномерно, его парциальные давления справа и слева от каждой перегородки будут одинаковы (независимо от их расположения). Поэтому в балансе давлений (слева и справа от каждой перегородки) гелий можно не учитывать. То есть можно считать, что после установления равновесия в отсеках будут содержаться – один моль криптона в левом, по одному молю криптона и неона - в среднем, по одному молю криптона и неона – в правом. Поэтому перегородки будут находиться на расстояниях $l/5$ и $3l/5$ от левого конца сосуда. Следовательно, перемещения перегородок после перераспределения гелия составят

$$\Delta x_{\text{лев}} = \frac{l}{5} - \frac{l}{7} = \frac{2l}{35}, \quad \Delta x_{\text{прав}} = \frac{3l}{5} - \frac{3l}{7} = \frac{6l}{35}$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла):

1. правильно найдено начальное положение перегородок – 0,5 балла,
2. понято и доказано, что гелий можно исключить из баланса давлений независимо от положения перегородок – 0,5 балла,
3. правильно найдены новые положения перегородок – 0,5 балла,
4. правильные ответы – 0,5 балла.

4. К маленькому невесомому кольцу шарнирно прикреплен легкая спица длиной l . На середине и конце спицы закреплены точечные тела массой $2m$ и m . Кольцо надето на гладкий горизонтальный стержень. В начальный момент спицу удерживали горизонтально, а затем отпустили. Найти скорости кольца и тел, когда спица проходит вертикальное положение. Считать, что масса спицы равна нулю.



Решение. Поскольку все внешние силы, действующие на систему «спица-шарики» вертикальны, центр тяжести системы может двигаться только вертикально. Поэтому в любой момент времени горизонтальные составляющие скоростей шариков отличаются вдвое. Пусть в тот момент, когда спица вертикальна, скорость нижнего шарика (с массой m) равна v . Тогда скорость верхнего

шарика равна $v/2$. Используем далее закон сохранения энергии. Поскольку убыль потенциальной энергии системы равна $2mg(l/2) + mgl = 2mgl$, закон сохранения механической энергии дает

$$2mgl = \frac{2m(v/2)^2}{2} + \frac{mv^2}{2}$$

Отсюда находим

$$v = \sqrt{\frac{8gl}{3}}$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла):

1. Использованы законы сохранения энергии импульса – 0,5 балла,
2. Правильное соотношение между скоростями шариков в нижней точке – 0,5 балла,
3. Правильно записан закон сохранения энергии в нижней точке – 0,5 балла,
4. Правильный ответ – 0,5 балла.

5. В однородном магнитном поле по круговой орбите радиуса R движется точечный заряд. Индукцию поля медленно (за время, много большее периода обращения заряда) увеличивают в 2 раза. Каким будет радиус орбиты заряда после этого?

Решение. В постоянном магнитном поле заряд движется по окружности (если начальная скорость заряда перпендикулярна линиям магнитной индукции). При этом индукция магнитного поля B , скорость заряда v и радиус его орбиты R связаны соотношением, которое представляет собой второй закон Ньютона для этого заряда:

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad \Rightarrow \quad \frac{q}{m} BR = v \quad (1)$$

Поскольку по условию магнитное поле изменяется медленно, можно считать, что в каждый момент времени заряд движется по окружности, и соотношение (1) имеет место. Однако при изменении индукции скорость заряда и радиус орбиты будут также меняться, но их приращения Δv и ΔR будут связаны соотношением, которое следует из (1)

$$\frac{q}{m} \Delta(BR) = \Delta v \quad \Rightarrow \quad \frac{q}{m} R \Delta B + \frac{q}{m} B \Delta R = \Delta v \quad (2)$$

где q и m величина заряда и его масса. С другой стороны, согласно закону электромагнитной индукции при изменении магнитного поля возникнет вихревое электрическое поле, которое и будет разгонять заряд. Работу вихревого электрического поля над зарядом найдем по закону электромагнитной индукции. Пусть индукция магнитного поля изменилась на величину ΔB за время Δt . Тогда работа вихревого поля при перемещении заряда по замкнутому пути равнялась бы $q \frac{\Delta BS}{\Delta t}$, где S - площадь орбиты, а при его перемещении на величину $v\Delta t$ - следующей величине

$$q \frac{\Delta BS}{\Delta t} \frac{v\Delta t}{2\pi R} = \frac{qvR\Delta B}{2} \quad (3)$$

Применяя теперь к заряду теорему об изменении кинетической энергии, получим для приращения его кинетической энергии за время Δt :

$$\frac{qvR\Delta B}{2} = \Delta\left(\frac{mv^2}{2}\right) = mv\Delta v \quad (4)$$

Подставляя теперь приращение скорости заряда из (4) в (2), получим

$$\frac{1}{2}R\Delta B + B\Delta R = 0 \quad (5)$$

Умножая теперь равенство (5) на $2R$, получим с учетом того, что $\Delta(R^2) = 2R\Delta R$:

$$R^2\Delta B + 2RB\Delta R = 0 \quad \Rightarrow \quad \Delta(BR^2) = 0 \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что произведение индукции магнитного поля на квадрат радиуса орбиты не изменяется при медленном изменении индукции. Поэтому, если индукция магнитного поля увеличивается в два раза, радиус орбиты уменьшается в $\sqrt{2}$ раз.

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 2 балла):

1. Правильная связь радиуса орбиты и скорости – 0,5 балла,
2. Правильное использование теоремы об изменении кинетической энергии – 0,5 балла,
3. Правильное дифференциальное соотношение между индукцией и радиусом орбиты – 0,5 балла,
4. Правильный ответ – 0,5 балла.

Оценка работы. Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 10 баллов. «Полуцелая» оценка не округляется.