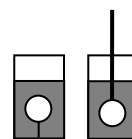
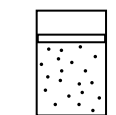


**Всероссийский конкурс научных работ школьников «Юниор»,
 профиль «Инженерные науки»,
 Решения и критерии оценивания задач олимпиадной части финала конкурса
 2024-2025 учебного года, 11 класс
 Олимпиада по физике**

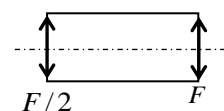
1. На одной чаше весов стоит стакан с водой, в котором находится тело. Масса тела в десять раз меньше массы стакана с водой, а плотность в два раза меньше плотности воды. Тело привязывают невесомой нитью к дну сосуда так, что оно находится целиком в воде (см. левый рисунок), и уравнивают стакан на весах с помощью гири, массой M , которую помещают на вторую чашу весов. Затем тело отвязывают от нити, но удерживают его в толще воды с помощью тонкого стержня, другой конец которого держат в руке (см. правый рисунок). Гирю какой массы нужно положить на вторую чашу весов для уравнивания стакана во втором случае? Дна и стенок сосуда тело не касается.



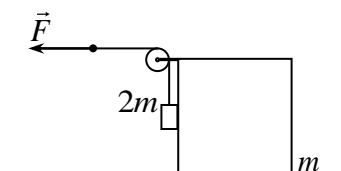
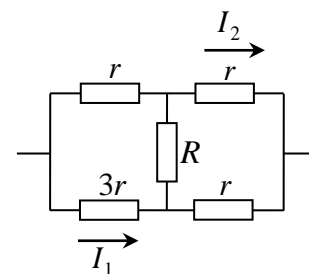
2. В закрытом вертикальном цилиндрическом сосуде под находящимся в равновесии массивным поршнем находится одноатомный идеальный газ при температуре T . Над поршнем вакуум. Из-за неплотных контактов поршня со стенками газ просачивается в верхнюю часть сосуда, а поршень медленно опускается на дно. Пренебрегая теплоемкостью поршня и сосуда, а также теплопотерями, найти температуру газа, когда поршень опустится на дно сосуда.



3. Две собирающие линзы одинакового диаметра вставлены в трубу с поглощающими свет внутренними стенками. Фокусное расстояние одной линзы вдвое больше фокусного расстояния другой. Известно, что параллельные лучи, падающие вдоль оси трубы с любой стороны, после прохождения двух линз остаются параллельными. На трубу падает пучок параллельных лучей одинаковой интенсивности сначала слева, а потом справа. Найти отношение средних освещенностей экрана, расположенного соответственно справа и слева от трубы. **Указание.** Освещенностью площадки называется отношение световой энергии, падающей на площадку, к площади этой площадки.



4. В электрической цепи, схема которой показана на рисунке, $I_1 = 1$ А. Найти I_2 . Величины сопротивлений резисторов приведены на схеме. Как соотношение токов I_1 и I_2 зависит от сопротивления центрального резистора?



5. На горизонтальной поверхности находится куб массой m с ребром b . На верхнем ребре куба укреплен невесомый блок, через который переброшена невесомая нерастяжимая нить, привязанная к бруску массой $2m$. Брусок касается вертикальной грани куба (см. рисунок).

Между бруском и кубом действует сила трения, коэффициент трения μ . На второй конец нити действуют некоторой силой F . При каком минимальной значении силы F брусок будет скользить по вертикальной грани куба? Трения между кубом и поверхностью нет. Куб не опрокидывается.

Решения и критерии оценивания

1. Очевидно, что в первом случае сила, с которой сосуд действует на чашу весов, равна сумме сил тяжести стакана, воды и груза. Действительно, поскольку все тела (стакан, вода и тело) находятся в покое, то сумма внешних сил, действующая на систему тел должна быть равна нулю. Внешними являются сумма сил тяжести и сила реакции со стороны чаши весов, которая, следовательно, и равна сумме сил тяжести стакана, воды и груза

$$10mg + mg = 11mg$$

где $10m$ - масса стакана с водой, m - масса тела. Поэтому масса гири, уравновешивающей сосуд, равна

$$M = 11mg$$

Во втором случае возникает еще одна внешняя сила – сила упругости стержня, действующая на тело и направленная вниз. Эта сила равна разности силы Архимеда и силы тяжести тела. Поскольку плотность тела вдвое меньше плотности жидкости, то сила Архимеда, действующая на тело при его полном погружении в жидкость, вдвое превосходит силу тяжести. Поэтому сила упругости стержня равна mg , и сосуд действует на чашу весов с силой

$$10mg + mg + mg = 12mg$$

Поэтому

$$M_1 = 12mg = \frac{12}{11}M$$

Критерии оценки решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. правильная идея решения: сила, действующая со стороны сосуда на чашу весов, увеличится за счет силы упругости стержня, что и приведет к увеличению массы уравновешивающей гири – 1 балл
2. правильная связь массы гири с массой тела и сосуда в первом случае – 1 балл
3. правильно найдена сила, действующая со стороны стержня на тело, для удержания его в толще воды – 1 балл
4. правильно найдена суммарная внешняя сила, действующая на сосуд, воду и тело во втором случае – 1 балл
5. правильный ответ – 1 балл

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Во внутреннюю энергию газа перейдет вся потенциальная энергия поршня -

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T = mgh \quad (*)$$

где m - масса поршня, h - высота расположения поршня над дном сосуда, ν - количество вещества газа, ΔT - изменение его температуры. Чтобы найти потенциальную энергию поршня, используем условие его равновесия в начальном состоянии

$$pS = mg$$

где p - давление газа, S - площадь сечения сосуда. Используя для давления закон Клапейрона-Менделеева, получим

$$\frac{mg}{S} = \frac{\nu RT}{V} = \frac{\nu RT}{Sh} \quad \Rightarrow \quad mgh = \nu RT$$

где $V = Sh$ - объем газа в начальном состоянии. Подставляя это выражение в формулу (*), найдем изменение температуры газа

$$\Delta T = \frac{2}{3}T,$$

а затем и его конечную температуру T_1 :

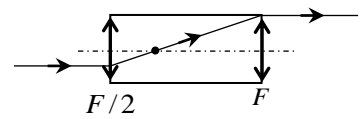
$$T_1 = T + \Delta T = \frac{5}{3}T$$

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. правильная идея решения – во внутреннюю энергию превращается потенциальная энергия поршня – 1 балл,
2. правильное условие равновесия поршня в начальном состоянии – 1 балл,
3. правильная формула для внутренней энергии одноатомного газа – 1 балл,
4. правильно найдено изменение температуры газа – 1 балл
5. правильный ответ – 1 балл.

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

3. Чтобы пучок оставался параллельным, у линз должны совпадать фокусы. При падении лучей на левую линзу на правую линзу попадут лучи, идущие на расстоянии, не большем половины радиуса



левой линзы. Поэтому на площадь, равную площади падающего пучка, придется одна четверть его энергии (остальная энергия лучей попадет на боковые стенки трубы и будет поглощена). При падении лучей справа, луч, идущий через край правой линзы, окажется на расстоянии, равном половине радиуса левой. Поэтому вся энергия пучка придется на вчетверо меньшую площадь.

Поэтому

$$\frac{W_{\text{правый экран}}}{W_{\text{левый экран}}} = \frac{1}{16}$$

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

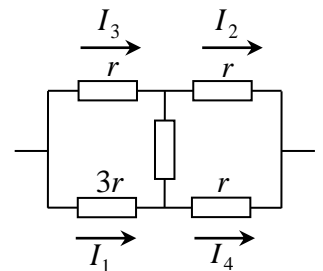
1. правильное утверждение, что фокусы линз совпадают – 1 балл,
2. правильная идея решения: сравнение той площади, с которой приходят лучи, и той площади, на которую они приходят – 1 балл,
3. правильно рассмотрено падение лучей на трубу слева – 1 балл,
4. правильно рассмотрено падение лучей на трубу справа – 1 балл,
5. правильный ответ отношения освещенностей – 1 балл.

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

4. Пусть через сопротивления схемы текут токи I_1 , I_2 , I_3 и I_4 , показанные на рисунке. Для этих токов выполнены условия

$$\begin{aligned} rI_3 + rI_2 &= 3rI_1 + rI_4 \\ I_3 + I_1 &= I_2 + I_4 \end{aligned}$$

(первое из них – равенство сумм напряжений в верхнем и нижнем участках цепи, второе – равенство токов, вытекающих и вытекающих из центральных узлов). Сокращая в первом равенстве r и вычитая второе равенство из первого, получим



$$I_2 - I_1 = 3I_1 - I_2$$

Отсюда находим

$$I_2 = 2I_1$$

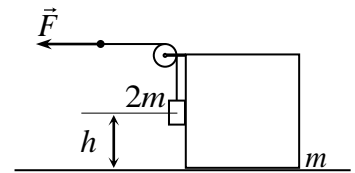
(отметим, что от центрального сопротивления соотношение токов через рассматриваемые участки цепи не зависит).

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное использование законов Ома для участка цепи (или Кирхгофа) – 1 балл,
2. Правильно написано равенство напряжений в верхнем и нижнем участках цепи – 1 балл,
3. Правильно написаны правила токов в центральных узлах – 1 балл,
4. Правильный ответ для соотношения токов – 1 балл,
5. Правильный вывод о независимости соотношения токов от сопротивления центрального резистора – 1 балл.

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. Понятно, что существуют три возможности движения тела: тело не перемещается относительно куба (если сила F близка к силе тяжести груза $2mg$), перемещается относительно куба вверх (при больших значениях силы F) и перемещается относительно куба вниз (при малых значениях силы F).



Рассмотрим сначала первый случай – тело не скользит относительно куба. В этом случае куб и тело движутся как целое, и их ускорение можно найти так. На куб в горизонтальном направлении действует (через блок) сила натяжения нити, равная силе F . Поэтому ускорение тел определяется соотношением

$$a = \frac{F}{3m}$$

Со стороны куба на тело действует сила нормальной реакции, сообщающая телу это ускорение

$$N = 2ma = \frac{2F}{3}$$

Тело не будет скользить вверх, если $F - 2mg < \mu N$, и не будет скользить вниз, если $2mg - F < \mu N$. Отсюда получаем, что тело не будет скользить относительно куба, если

$$\frac{2mg}{1 + \frac{2\mu}{3}} < F < \frac{2mg}{1 - \frac{2\mu}{3}}$$

При значениях силы

$$F < \frac{2mg}{1 + \frac{2\mu}{3}}$$

тело будет скользить относительно куба вниз, а при

$$\frac{2mg}{1 - \frac{2\mu}{3}} < F$$

тело будет скользить относительно куба вверх.

Критерии оценивания решения задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильно расставлены силы -1 балл.
2. Использовано правильное условие сдвига тела – сдвигающая сила больше максимального значения силы трения μN – 1 балл,
3. правильно найдены сила реакции со стороны куба и максимальная сила трения покоя – 1 балл.

4. правильно найдено ограничение на силу F , при которой тело не будет скользить вниз – 1 балл.

5. правильно найдено ограничение на силу F , при которой тело не будет скользить вверх – 1 балл.

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

Оценка работы участника

Итоговая оценка работы равна сумме оценок за каждую задачу. Пересчет на 50-балльную шкалу осуществляется умножением итоговой оценки на 2.