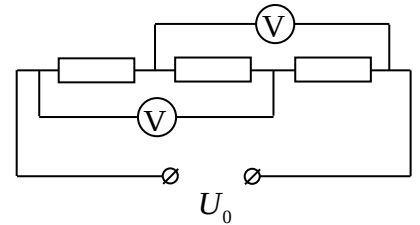


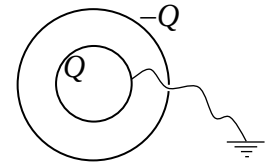
Решения
Отборочный тур олимпиады «Росатом», 2025-2026 учебный год,
Олимпиада памяти И.В.Савельева, физика, 11 класс

1. В воде плавает деревянное тело, которое вытесняет воду объемом $V_0 = 800 \text{ см}^3$. Какой минимальной силой нужно подействовать на это тело, чтобы полностью утопить его в воде? Плотность дерева $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$. Считать, что $g = 10 \text{ м/с}^2$.

2. В электрической цепи, схема которой представлена на рисунке, три одинаковых резистора соединены последовательно и подключены к идеальному источнику напряжения $U_0 = 6 \text{ В}$. Два одинаковых вольтметра подключены так, как показано на рисунке; при этом показания каждого вольтметра составляют $U = 3 \text{ В}$. Что будет показывать один из них, если второй вообще отключить от цепи (не меняя соединение остальных элементов)?



3. Две концентрические сферы радиусов R и $2R$ заряжены зарядами Q и $-Q$ соответственно. Внутреннюю сферу заземляют с помощью очень тонкого и длинного проводника, не контактирующего с внешней сферой (см. рисунок). Протечет ли в процессе установления равновесия по проводнику в направлении внутренней сферы какой-то заряд, и если да, то какой? Концентрическими называются сферы, у которых совпадают центры. Емкостью проводника пренебречь.



4. Точечное тело массой m лежит на конце доски длиной l и массой $4m$. Доска находится на гладкой горизонтальной поверхности (см. рисунок). Коэффициент трения между доской и телом равен μ , трения между доской и поверхностью нет. Какую минимальную скорость v надо толчком сообщить доске в направлении того конца, на котором лежит тело, чтобы доска выскользнула из-под тела?



5. Шар радиуса R сделан из радиоактивного металла. Благодаря радиоактивным распадам в единицу объема вещества шара в единицу времени выделяется количество теплоты w . Найдите температуру в центре шара, если его поверхность поддерживается при температуре T_0 , а коэффициент теплопроводности материала шара равен λ . **Указание.** Количество тепла q , переносимого в единицу времени через единицу площади тонкого слоя толщиной Δx , одна поверхность которого поддерживается при температуре t_1 , вторая – при температуре t_2 , определяется законом: $q = \lambda(t_2 - t_1)/\Delta x$, где λ - коэффициент теплопроводности (закон Фурье).

Решения и критерии оценивания

1. Минимальная сила, которая нужна, чтобы утопить тело в воде, равна дополнительной силе Архимеда, возникающей при погружении тела в жидкость. Эта сила равна

$$F_{\min} = \rho_0 g V_{\text{над}}$$

где $V_{\text{над}}$ - объем части тела, находящийся при его свободном плавании над водой. Этот объем равен разности всего объема тела (обозначим его V) и объема тела, находящегося при свободном плавании под водой, причем последний и есть объем воды, вытесненный телом при плавании

$$V_{\text{над}} = V - V_0.$$

Объем тела найдем из условия плавания

$$mg = \rho g V = \rho_0 g V_0 \quad \Rightarrow \quad V = \frac{\rho_0}{\rho} V_0$$

где ρ - плотность тела. Отсюда находим

$$F_{\min} = \rho_0 g V_{\text{над}} = \rho_0 g \left(\frac{\rho_0}{\rho} V_0 - V_0 \right) = \frac{\rho_0 (\rho_0 - \rho)}{\rho} g V_0 = 5,3 \text{ Н}$$

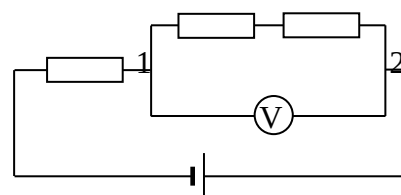
Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)

1. Правильное использование формулы для выталкивающей силы Архимеда - 1 балл
 2. Правильная формула для минимальной силы, равной дополнительной силе Архимеда, возникающей при полном погружении тела в жидкость – 1 балл
 3. Правильное условие плавания тела – 1 балл
 4. Правильный ответ (формула) – 1 балл
 5. Правильный ответ (число) – 1 балл
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Очевидно, вольтметры неидеальные, поскольку в случае идеальных вольтметров ток тёк бы только через резисторы, на каждом было бы одинаковое напряжение, каждый вольтметр показал бы $2/3$ напряжения источника. А они показывают половину. Кроме того, из данных условия следует, что ток через центральное сопротивление не течет. Действительно, поскольку вольтметры V_1 и V_2 показывают половину напряжения источника, то потенциалы точек на концах центрального резистора одинаковы. Поэтому ток через центральное сопротивление не течет, его можно выбросить. Следовательно, к источнику параллельно подключены два участка цепи, содержащие резистор и вольтметр каждый. А так как показания вольтметра 3 В, то напряжение на резисторе будет также равно 3 В. И, значит, сопротивления резисторов и вольтметров одинаковы.

При выбрасывании одного вольтметра цепь становится такой, как это показано на рисунке. Так как сопротивления резисторов и вольтметра одинаковы, то сопротивление участка 1-2 равно $2R/3$ (R - сопротивление резистора или вольтметра).

Поэтому напряжение на участке 1-2 составляет $2/5$ от напряжения источника. А поскольку вольтметр показывает напряжение на самом себе, то показания вольтметра будут равны



$$U' = \frac{2}{5}U_0 = 2,4 \text{ В}$$

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

- 1. Правильный (и обоснованный) вывод, что вольтметры неидеальные - 1 балл**
 - 2. Правильный (и обоснованный) вывод, что сопротивления резистора и вольтметра одинаковы – 1 балл**
 - 3. Правильная эквивалентная цепь, получающаяся при выбрасывании одного вольтметра – 1 балл**
 - 4. Правильный ответ (формула) – 1 балл**
 - 5. Правильный ответ (число) – 1 балл.**
- Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.**

3. При заземлении проводника его потенциал должен стать равным нулю, а вот заряд – не обязательно. В частности, если заземленный проводник находится в электрическом поле других зарядов, из Земли на него натеет такое количество заряда, чтобы такое его потенциал стал равен нулю. Используем это условие для нахождения заряда внутренней сферы.

Пусть после установления равновесия заряд внутренней сферы будет равен q . Тогда, с одной стороны, потенциал внутренней сферы будет равен нулю, а с другой, по принципу суперпозиции для потенциалов он будет складываться из потенциалов поля внешней и внутренней сферы. Используя формулу для потенциала электрического поля сферы, получим

$$\varphi_{\text{внут}} = 0 = \frac{k(-Q)}{2R} + \frac{kq}{R}$$

где k - постоянная закона Кулона. Отсюда находим заряд внутренней сферы после установления равновесия

$$q = \frac{Q}{2}$$

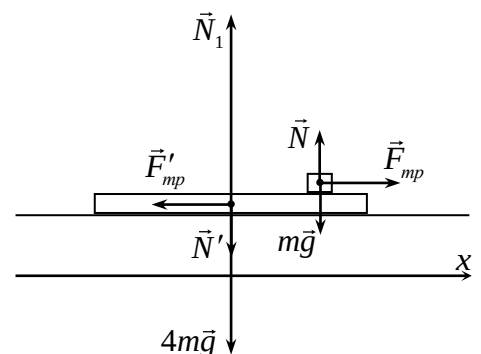
Очевидно, заряд, протекший по заземляющему проводнику в направлении внутренней сферы равен разности ее конечного и ее начального заряда (именно в такой последовательности). Поэтому, заряд протекший по заземляющему проводнику в направлении внутренней сферы равен

$$\Delta q_{3 \rightarrow \text{внут}} = \frac{Q}{2} - Q = -\frac{Q}{2}$$

Критерии оценки задачи (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)

- 1. Правильное понимание того, что такое потенциал металлического тела. Правильная формула для потенциала – 1 балл**
 - 2. Правильное понимание того, что потенциал заземленного металлического тела равен нулю – 1 балл**
 - 3. Правильное уравнение для заряда заземленной сферы – 1 балл**
 - 4. Правильно найден заряд заземленной сферы – 1 балл**
 - 5. Правильный ответ для протекшего заряда (со знаком) – 1 балл**
- Оценка за задачу является суммой оценок по вышеперечисленным критериям**

4. При сообщении доске скорости она начнет двигаться и выскальзывать из-под тела. В результате на тело со стороны доски начнет действовать сила трения, направленная по ходу движения доски, разгоняющая тело. А на доску действует сила трения со стороны тела, тормозящая ее. Поэтому доска будет тормозить, а тело разгоняться. Если к какому-то моменту, когда тело будет находиться на доске, их скорости сравняются, проскальзывание между доской и телом прекратится; дальше они будут двигаться вместе, и тело не соскользнет с доски. Это значит, что тело соскользнёт с доски, если его скорость не сравняется со скоростью доски до того момента, когда его перемещение относительно доски будет равно длине доски. Минимальной начальной скорости



доски, при которой тело соскользнет с нее, отвечает ситуация, когда скорость тела сравнивается со скоростью доски в тот момент, когда тело окажется на другом конце доски, или (что то же самое) перемещение тела относительно доски будет равно ее длине. Используем это условие для нахождения этой скорости.

На тело действуют сила тяжести, сила реакции опоры и сила трения, направленная по направлению движения доски. На доску – сила тяжести, сила реакции опоры со стороны поверхности и сила реакции со стороны тела, а также сила трения, направленная противоположно направлению движения доски (см. рисунок). Второй закон Ньютона для тела и доски в проекциях на ось x , направленную по направлению движения доски, дает

$$\begin{aligned} ma_1 &= F_{mp} \\ -4ma_2 &= -F_{mp} \end{aligned} \quad (*)$$

Где a_1 и a_2 - ускорения тела и доски (здесь учтено, что проекция ускорения доски на ось x отрицательна). Поскольку до момента остановки тела относительно доски имеет место проскальзывание тела относительно доски, сила трения равна $F_{mp} = \mu N = \mu mg$. Поэтому из системы уравнений (*) находим

$$\begin{aligned} a_1 &= \mu g \\ a_2 &= \frac{1}{4} \mu g \end{aligned} \quad (**)$$

Так как ускорения тела и доски не меняются в процессе их движения, движение тел – равноускоренное с ускорениями (**). Поэтому законы движения для доски и тела в системе координат, начало которой находится в той точке, где в начальный момент находилось тело, а ось x направлена в направлении движения доски имеют вид

$$\begin{aligned} v_1(t) &= a_1 t \\ x_1(t) &= \frac{a_1 t^2}{2} \\ v_2(t) &= v - a_2 t \\ x_2(t) &= vt - \frac{a_2 t^2}{2} \end{aligned}$$

Где $x_1(t)$ и $x_2(t)$ - x -координаты тела и доски, $v_1(t)$ и $v_2(t)$ - проекции их скорости на ось x (координатой доски здесь мы считали координату того ее конца, где в начальный момент находилось тело). Скорости доски и тела сравниваются в такой момент времени t_1 , когда выполнено условие

$$a_1 t_1 = v - a_2 t_1$$

Отсюда

$$t_1 = \frac{v}{a_1 + a_2}$$

Чтобы тело к этому моменту не свалилось с доски, разность координат доски и тела не должна превышать длину доски

$$x_2(t_1) - x_1(t_1) \leq l \quad \Rightarrow \quad vt_1 - \frac{a_2 t_1^2}{2} - \frac{a_1 t_1^2}{2} \leq l \quad (***)$$

(минимальной начальной скорости доски, при которой доска выскользнет из-под тела отвечает равенство в (***)). Отсюда находим минимальную скорость доски, при которой она выскользнет из-под тела

$$v = \sqrt{2l(a_1 + a_2)}$$

Подставляя в эту формулу ускорения тела и доски, окончательно получаем

$$v = \sqrt{\frac{5}{2} \mu g l}$$

Критерии проверки (максимальная оценка за задачу – 5 баллов)

1. Правильная идея решения – сначала законы Ньютона, потом равноускоренного движения – 1 балл

2. Правильно найдены ускорения тела и доски – 1 балл
 3. Правильные уравнения равноускоренного движения – 1 балл
 4. Правильное условие для минимальной скорости доски – 1 балл
 5. Правильный ответ – 1 балл
- Оценка за задачу складывается из оценок по данным критериям

5. Мысленно разобьем шар на очень тонкие сферические слои. Тогда в условиях равновесия поток тепла через каждый слой должен равняться мощности тепловыделения внутри этого слоя. Если через единицу времени через единицу площади тонкого сферического слоя радиуса r толщиной Δr проходит поток тепла q , то поток через всю поверхность слоя будет равен

$$4\pi r^2 q.$$

С другой стороны, поскольку мощность тепловыделения в единице объема вещества шара равна w , то внутри слоя в единицу времени выделяется количество теплоты

$$\frac{4}{3}\pi r^3 w.$$

Поэтому условие теплового динамического равновесия дает

$$4\pi r^2 q = \frac{4}{3}\pi r^3 w \quad \Rightarrow \quad q = \frac{1}{3}rw$$

Используя, далее для потока тепла закон Фурье (см. указание к условию задачи),

получим $\lambda \frac{\Delta t}{\Delta r} = \frac{1}{3}rw \Delta t = \frac{1}{3} \frac{wr\Delta r}{\lambda} \cdot r_1\Delta r_1 + r_2\Delta r_2 + r_3\Delta r_3 + \dots = \frac{R^2}{2} R$ - радиус шара. Отсюда

получаем $T = T_0 + \frac{wR^2}{6\lambda}$. **Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение**

– 5 баллов)

1. Правильное условие теплового баланса – поток тепла через поверхность сферы равен энергии, выделившейся внутри этой сферы - 1 балл
2. Правильно найдена разность температур на внутренней и внешней поверхностях тонкой сферы – 1 балл
3. Правильная формула для разности температур центра и поверхности шара через сумму разностей температур на поверхностях тонких сфер – 1 балл
4. Правильный способ суммирования этих разностей температур – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл.

Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

Оценка работы

Оценка работы складывается из оценки задач. Максимальная оценка – 25 баллов. Допустимыми являются все целые оценки от 0 до 25.