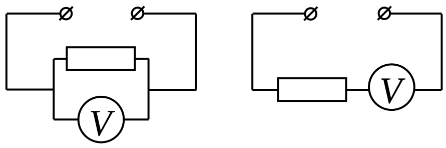
Решения и критерии оценивания
Отборочный тур олимпиады «Росатом», 2024-2025 учебный год,
Олимпиада памяти И.В.Савельева, физика, 9 класс

1. К поплавку массой $m = 20$ г, плавающему в воде, привязана леска с грузом. При этом поплавок погружён в воду на две трети своего объёма. Найти в этом положении силу натяжения лески, если свободно плавающий в воде поплавок погружён в неё на одну четвертую часть своего объёма. $g = 10$ м/с^2.

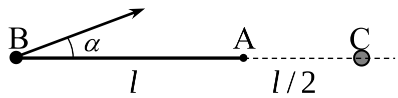
2. Вольтметр и резистор соединяют сначала параллельно и подключают к источнику электрического напряжения (см. левый рисунок). А потом их соединяют последовательно и подключают к тому же источнику электрического напряжения (см. правый рисунок). При этом показания вольтметра отличаются в три раза. Найти отношение сопротивления резистора к сопротивлению вольтметра. Напряжение, приложенное к цепи, не менялось.



3. Тело дважды бросили с поверхности земли с одинаковой по величине начальной скоростью, но под разными углами к горизонту. Дальность полета тела в этих двух случаях оказалась одинаковой и равной сумме максимальных высот подъема тела в этих двух случаях. Под какими углами к горизонту бросали тело?

4. Если электрический чайник с водой комнатной температуры включить в электрическую сеть, вода в нём закипит через время t_1. Если из чайника вылить кипяток, налить такое же количество воды комнатной температуры, дождаться установления теплового равновесия, а потом включить в электрическую сеть, вода в нём закипит через время $3t_1/4$. Какая температура установилась в чайнике после наливания в него воды комнатной температуры, если комнатная температура $T_0 = 20°$ С. Считать, что теплопотери отсутствуют.

5. В точке А, находящейся на горизонтальной поверхности, закреплен конец лёгкой упругой нерастяжимой нити длиной l. Второй конец нити прикреплен к точечному массивному телу. В начальный момент нить натянута, тело находится в точке В. На той же поверхности на прямой, являющейся продолжением начального положения нити, на расстоянии $l/2$ от точки А сделана небольшая лунка (см. рисунок, вид сверху; лунка находится в точке С). Под каким углом α к начальному положению нити нужно толкнуть тело, чтобы оно попало в лунку, натянув нить один раз (не считая начального положения)? Трение отсутствует. Ненатянутая нить сопротивления движению тела не оказывает.



Решения и критерии оценивания решений задач

1. Пусть масса поплавка m, объем V. Тогда условие плавания поплавка с леской и грузом дает

$$mg + T = \rho g \frac{2}{3} V$$

где T - сила натяжения лески, ρ - плотность воды. Для свободно плавающего поплавка условие плавания дает

$$mg = \rho g \frac{1}{4} V$$

Деля эти равенства друг на друга, получим

$$\frac{mg + T}{mg} = \frac{8}{3}$$

Решая это уравнение, найдем

$$T = \frac{5}{3} mg = 0,33 \text{ Н}$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное использование формулы для выталкивающей силы Архимеда - 1 балл
2. Правильное условие плавание поплавка с леской – 1 балл
3. Правильное условие плавания свободно плавающего поплавка – 1 балл
4. Правильное уравнение для силы натяжения лески – 1 балл
5. Правильный ответ (и формула, и число) – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Поскольку вольтметр всегда показывает напряжение на самом себе, а во втором случае через него течет меньший ток, то во втором случае (в случае последовательного соединения с резистором) его показание будут меньше.

Пусть сопротивление вольтметра R, сопротивление резистора r, напряжение источника U. В первом случае вольтметр показывает напряжение источника $U_1 = U$.

Чтобы найти показания вольтметра во втором случае найдем ток I_2, текущий через него во втором случае, а затем и напряжение U_2 на вольтметре во втором случае. Имеем

$$I_2 = \frac{U}{r + R}, \qquad U_2 = I_2 R = \frac{UR}{r + R} = \frac{U}{\frac{r}{R} + 1}$$

Так как напряжение во втором случае есть треть напряжения в первом, получаем

$$U_2 = \frac{U_1}{3} = \frac{U}{3} \quad \Rightarrow \quad \frac{U}{3} = \frac{U}{\frac{r}{R} + 1}$$

Сокращая здесь напряжение источника и решая полученное уравнение относительно отношения сопротивлений, найдем отношение сопротивлений

$$\frac{r}{R} = 2$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное утверждение (с обоснованием), что показания вольтметра во втором случае меньше - 1 балл
2. Правильные показания источника в первом случае – 1 балл
3. Правильные показания источника во втором случае – 1 балл
4. Правильное уравнение для отношения сопротивлений – 1 балл
5. Правильный ответ – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

3. Дальность полета l тела, брошенного под углом α к горизонту с начальной скоростью v_0, определяется известным соотношением

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Поэтому для бросков под углами α и β дальность полета будет одинаковой, если

$$\sin 2\alpha = \sin 2\beta \qquad \Rightarrow \qquad \beta = 90^\circ - \alpha$$

Поскольку максимальная высота подъема тела, брошенного под углом α, есть

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g},$$

то условие, что дальность полета равна сумме высот подъема двух бросков, дает

$$l = h_1 + h_2 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} + \frac{v_0^2 \sin^2 \beta}{2g}$$

Но поскольку $\sin\beta = \sin\left(90^\circ - \alpha\right) = \cos\alpha$, то это уравнение с учетом основного тригонометрического тождества дает

$$\sin 2\alpha = \frac{1}{2}$$

Откуда находим два набора корней

$$\alpha = 15^\circ, \qquad \beta = 75^\circ$$

и

$$\alpha = 75^\circ, \qquad \beta = 15^\circ$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное (и обоснованное) утверждение, что два угла бросания в сумме дают 90° - 1 балл
2. Правильная формула для дальности полета – 1 балл
3. Правильная формула для максимальной высоты подъема – 1 балл
4. Правильное уравнение для угла бросания – 1 балл
5. Правильный ответ для обоих углов – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

4. Пусть теплоемкости воды и чайника равны C_1 и C_2 соответственно, мощность нагревателя - P.

Тогда для нагревания воды и чайника в первом случае имеем

$$Pt_1 = \left(C_1 + C_2\right)\left(T_к - T_0\right)$$

где $T_к = 100°$ C – температура кипения воды. Поскольку теплопотери отсутствуют, то вся внутренняя энергия, которая осталась в системе после выливания воды в ней и дальше останется. А в ней остался чайник, нагретый до $T_к = 100°$ C. Значит, можно считать, что во втором случае мы грели только воду. Поэтому уравнение теплового баланса для второго нагревания дает

$$P\frac{3}{4}t_1 = C_1\left(T_к - T_0\right)$$

Деля эти формулы друг на друга, получим

$$\frac{4}{3} = \frac{C_1 + C_2}{C_1} = 1 + \frac{C_2}{C_1} \qquad \Rightarrow \qquad C_1 = 3C_2$$

Теперь можно записать уравнение теплового баланса для наливания в чайник с температурой кипения воды воды с комнатной температурой. Имеем

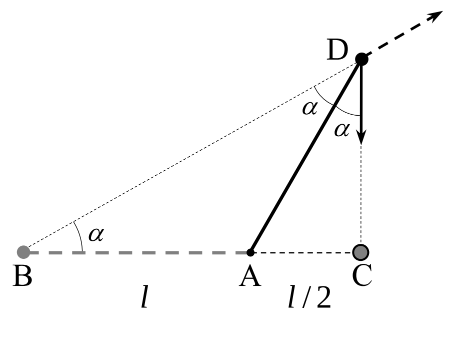
$$C_1\left(T_x - T_0\right) = C_2\left(T_к - T_x\right)$$

где T_x - искомая температура. Подставляя в это уравнение соотношение теплоемкостей чайника и воды, получим

$$T_x = \frac{1}{4}\left(3T_0 + T_к\right) = 40°C$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное уравнение теплового баланса для первого нагревания воды с чайником - 1 балл
2. Правильное уравнение теплового баланса для второго нагревания – 1 балл
3. Правильно найдено отношение теплоёмкостей воды и чайника (если в случае второго нагревания школьник писал уравнение теплового баланса по-другому, но отношение теплоемкостей нашел правильно, и за второй, и за третий пункт ему следует поставить полный балл) – 1 балл
4. Правильное уравнение теплового баланса для наливания в горячий чайник воды комнатной температуры – 1 балл
5. Правильная температура воды и чайника – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. Сразу после толчка нить перестанет быть натянутой, и не будет оказывать сопротивления движению тела. Поэтому тело будет двигаться прямолинейно под углом α к первоначальному направлению нити (вдоль прямой BD на рисунке) с постоянной скоростью до того момента, когда нить снова натянется в точке D (на рисунке начальное положение нити показано светлым пунктиром). В этот момент на короткое



время нить натянется, возникнет сила натяжения, которая изменит скорость тела. При этом, поскольку сила натяжения направлена вдоль нити, она изменяет только составляющую скорости тела, направленную вдоль нити, но не изменяет составляющую скорости, перпендикулярную нити. Поскольку нить упругая, то потерь механической энергии тела после натяжения нити не происходит, и составляющая скорости тела, направленная вдоль нити, после ее растяжения меняется на противоположную. А это значит, что углы между скоростью тела и положением нити в момент ее натяжения до и после натяжения будут одинаковы (скорость тела до натяжения нити показана пунктирным вектором, после натяжения – сплошным вектором). После этого тело сомнет нить, и далее будет двигаться прямолинейно. Чтобы оно попало в лунку, после натяжения нити оно должно двигаться вдоль прямой DC.

Поскольку треугольник BAD равнобедренный (его стороны AB и AD равны длине нити), то $\angle ABD = \angle BDA = \alpha$ (см. рисунок). Угол ADC также равен α, поскольку (как это доказано выше) после натяжения нити угол между нитью и вектором скорости не меняется: $\angle ADC = \alpha$. А так как сумма углов в треугольнике равна $180°$, то угол BAD равен $180° - 2\alpha$. Значит, угол DAC равен 2α, а $\angle ACD = 180° - 3\alpha$. Поэтому по теореме синусов для треугольника ACD имеем

$$\frac{l}{\sin\left(180° - 3\alpha\right)} = \frac{l/2}{\sin\alpha}$$

или

$$\sin\alpha = \frac{1}{2}\sin 3\alpha \qquad (*)$$

Решения этого уравнения можно найти подбором. Очевидно, решениями являются

$$\alpha_1 = 0, \qquad \alpha_2 = 180°, \qquad \alpha_3 = 30°$$

(то, что это корни уравнения, проверяется непосредственной подстановкой). Первый и второй корни не подходят. Действительно, корень $\alpha_1 = 0$ отвечает толчку тела вдоль нити. Но при таком движении тело попадет в лунку раньше, чем оно натянет нить один раз, и потому не выполнено условие однократного натяжения нити за исключением начального. Корень $\alpha_2 = 180°$ отвечает толчку противоположно начальному положению нити, что означает, что нить перед попаданием тела в лунку будет натянута только один раз, но этот «раз» совпадает с начальным. Поэтому для этого корня условие попадания при однократном натяжении нити за исключением начального не выполнено. В промежутке между этими корнями существует только один корень уравнения, поскольку угол, под которым расположена траектория тела после натяжения нити, меняется в зависимости от угла, под которым толкнули тело, монотонно (см. рисунок). Это и означает, что три перечисленных корня (из которых подходит только один) исчерпывают все решения уравнения. Уравнение (*) можно решить и непосредственно, воспользовавшись формулой сложения $\sin 3\alpha = \sin\left(\alpha + 2\alpha\right)$, а затем формулами для синуса и косинуса двойного угла. Это решение приводит к тем же корням, которые перечислены выше. Таким образом, для попадания в лунку при однократном натяжении нити (за исключением начального) тело нужно толкнуть под углом

$$\alpha = 30°$$

к первоначальному расположению нити.

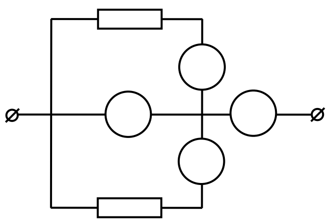
Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное (и обоснованное) утверждение, что после натяжения нити тело будет двигаться с такой же по величине скоростью под тем же углом α к нити - 1 балл

2. Правильное применение теоремы синусов к треугольнику между нитью, траекторией и направлением на лунку – 1 балл
3. Правильное уравнение для угла – 1 балл
4. Правильное решение (все три корня) – 1 балл
5. Правильное отбрасывание двух корней. Правильный ответ – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

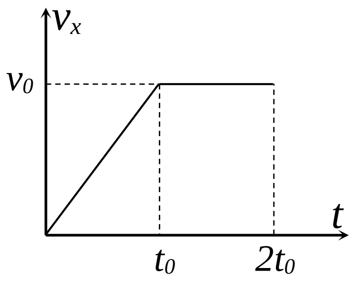
Оценка работы

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

Решения и критерии оценивания
Очный отборочный тур олимпиады «Росатом» в регионах РФ, 2024-2025 учебный год,
физика, 9 класс



1. Схема электрической цепи, состоящей из двух резисторов, трех амперметрах и вольтметра, дана на рисунке. Известно, что амперметр А показывает силу тока А, вольтметр – напряжение В, сопротивление первого резистора Ом. Найти сопротивление резистора и показания амперметров A_1 и A_2. Все электроизмерительные приборы являются идеальными.



2. Дан график зависимости скорости тела от времени. Найти среднюю скорость тела за все время движения. Среднюю скорость за первую половину полного времени движения. Величина предполагается известной.

3. Тело массой , брошенное под углом к горизонту, имеет в верхней точке траектории ускорение (- ускорение свободного падения). Определить силу сопротивления воздуха в этой точке и направление вектора ускорения тела.

4. Тело, движущееся прямолинейно и равноускоренно, проходит с момента начала движения два последовательных участка длиной за интервалы времени и . Найти начальную скорость и ускорение тела.

5. В находящийся в комнате сосуд налили воду с температурой С и опустили работающий нагреватель. В результате температура воды стала расти со скоростью С/с). Постепенно скорость возрастания температуры стала уменьшаться, и вода нагрелась только до температуры С. Нагреватель выключили, и температура стала убывать со скоростью . Определить температуру воздуха в комнате. Во сколько раз нужно увеличить мощность нагревателя, чтобы довести воду до кипения. **Указание.** Тепловой поток между телами пропорционален разности их температур (закон Ньютона-Рихмана) с коэффициентом пропорциональности, зависящим от площади контакта, теплоизоляции и др.

Решения и критерии оценивания решений задач

1. Так как приборы идеальны, то напряжения на амперметрах равны нулю; следовательно, напряжение источника равно показанию вольтметра и составляет $U = 220$ В. При этом вольтметр имеет бесконечно большое сопротивление, и электрический ток через него не течёт. Поэтому ток, текущий через амперметр А, равен сумме токов, текущих через резистор R_1 и резистор R_2 (и амперметры A_1 и A_2). Но через резистор R_1 течёт электрический ток силой

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = 1,2 \text{ А},$$

Поэтому через второй резистор течёт электрический ток силой

$$I_2 = I - I_1 = 0,6 \text{ А}$$

(и таковым будет показание амперметра A_2), а сопротивление резистора R_2 можно найти из закона Ома для участка цепи

$$R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{U}{I - I_1} = \frac{U}{I - \frac{U}{R_1}} = \frac{UR_1}{IR_1 - U} = 367 \text{ Ом}.$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное использование закона Ома для участка цепи - 1 балл
2. Правильное понимание условий идеальности электроизмерительных приборов – 1 балл
3. Правильный ответ для сопротивления второго резистора – 1 балл
4. Правильный ответ для показаний первого амперметра – 1 балл
5. Правильный ответ для показаний второго амперметра – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

2. Пройденный телом путь есть площадь под графиком зависимости скорости от времени. Поэтому путь, пройденный за все время движения равен площади трапеции с основаниями $2t_0$ и t_0 и высотой v_0. Поэтому за все время движения ($2t_0$) тело пройдет путь

$$S = \frac{2t_0 + t_0}{2} v_0 = \frac{3}{2} v_0 t_0$$

Следовательно, средняя скорость тела за все время движения $2t_0$ есть

$$v = \frac{3}{4} v_0$$

Путь S_1, пройденный телом за первую половину времени движения (t_0), равен площади треугольника с основанием t_0 и высотой v_0, т.е.

$$S_1 = \frac{1}{2} v_0 t_0$$

Поэтому средняя скорость за первую половину полного времени движения есть

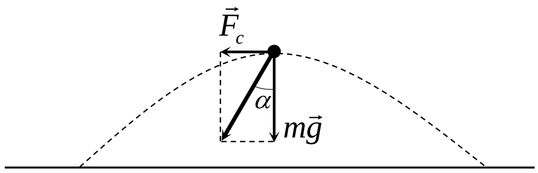
$$v_1 = \frac{1}{2} v_0$$

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

1. Правильное использование определения средней скорости - 1 балл

2. Правильное понимание, что пройденный телом путь есть площадь под графиком зависимости скорости от времени – 1 балл
3. Правильно найден путь, пройденный телом за все время движения - 1 балл
4. Правильный ответ для средней скорости за все время движения – 1 балл
5. Правильный ответ для средней скорости за первую половину полного времени движения – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

3. Поскольку ускорение тела больше ускорения свободного падения, на него действует сила сопротивления воздуха, направленная в верхней точке траектории параллельно поверхности земли (противоположно скорости). На рисунке показаны силы, действующих на тело в верхней точке траектории – сила тяжести, сила сопротивления воздуха и их равнодействующая (жирным). Поэтому модуль второго закона Ньютона для тела в верхней точке дает



$$ma = \sqrt{(mg)^2 + (F_c)^2}$$

Выражая отсюда силу сопротивления и учитывая, что $a = 4g/3$, получим

$$F_c = \frac{\sqrt{7}}{3} mg$$

Направлен вектор ускорения под углом

$$\alpha = arctg\left(\frac{\sqrt{7}}{3}\right)$$

к вертикали (см. рисунок).

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное понимание того, что сила сопротивления на тело действует - 1 балл
2. Правильное направление силы сопротивления – 1 балл
3. Правильный второй закон Ньютона для величины ускорения – 1 балл
4. Правильный ответ для силы сопротивления – 1 балл
5. Правильный ответ для направления вектора ускорения – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

4. Поскольку время, затраченное на прохождение второго участка длиной l, больше времени, затраченного на прохождение первого такого участка, ускорение тела направлено противоположно начальной скорости. Поэтому законы равноускоренного движения для прохождения первого и второго участков длиной l (координаты l и $2l$ от начальной точки) дают

$$l = v_0\tau - \frac{a\tau^2}{2}$$
$$2l = v_0 3\tau - \frac{a9\tau^2}{2}.$$

где v_0 - начальная скорость тела, a - его ускорение. В этих уравнениях учтено, что время, прошедшее от начала движения до точки, находящейся на расстоянии l от начальной, равно τ, а время, прошедшее от начала движения до точки, находящейся на расстоянии $2l$ от начальной, равно 3τ. Решая эту систему уравнений относительно начальной скорости и ускорения v_0 и a, получим

$$v_0 = \frac{7l}{6\tau},\ a = \frac{l}{3\tau^2}$$

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильная идея решения – применение законов равноускоренного движения к двум заданным точкам - 1 балл
2. Правильное применение законов равноускоренного движения к первой точке – 1 балл
3. Правильное применение законов равноускоренного движения ко второй точке – 1 балл
4. Правильный ответ для начальной скорости – 1 балл
5. Правильный ответ для ускорения – 1 балл
Оценка за решение задачи равна сумме оценок за перечисленные пункты.

5. Пусть комнатная температура равна t_0. Тогда для мощности w теплопотерь воды с температурой t_1 имеем из закона Ньютона-Рихмана

$$w = k\left(t_1 - t_0\right)$$

где k - неизвестный коэффициент пропорциональности. Поэтому уравнение теплового баланса за малое время Δt при включении нагревателя дает

$$P\Delta t = cm\Delta T + w\Delta t$$

где P - мощность нагревателя, c - удельная теплоемкость воды, m - ее масса, ΔT - изменение температуры. Отсюда находим для скорости роста температуры

$$v = \frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{P - w}{cm} = \frac{P}{cm} - \frac{k\left(t_1 - t_0\right)}{cm} \qquad (*)$$

где k - коэффициент пропорциональности в законе Ньютона-Рихмана. С другой стороны, при максимальной температуре t_2, до которой может нагреться вода, мощность теплопотерь равна мощности нагревателя

$$P = k\left(t_2 - t_0\right). \qquad (**)$$

А если нагреватель выключить, она определяет скорость остывания воды

$$1{,}6v = \frac{w}{cm} = \frac{k\left(t_2 - t_0\right)}{cm} \qquad (***)$$

Деля формулу (*) на формулу (***), получим

$$\frac{5}{8} = 1 - \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}$$

Отсюда

$$t_0 = \frac{1}{5}\left(8t_1 - 3t_2\right) = 11^\circ\,\text{C}.$$

Чтобы воду в сосуде можно было довести до кипения, мощность нагревателя нужно увеличить до такого значения, что

$$P_1 = k\left(t_{кип} - t_0\right) \tag{4*}$$

где $t_{кип} = 100°\,C$ – температура кипения воды. Деля формулу (4*) на (**), получим

$$\frac{P_1}{P} = \frac{t_{кип} - t_0}{t_2 - t_0} = \frac{5t_{кип} - 8t_1 + 3t_2}{8t_2 - 8t_1} = 1,4\,.$$

Т.е. мощность нагревателя нужно увеличить в 1,4 раза.

Критерии оценивания решений задачи (максимальная оценка за решение – 5 баллов)
1. Правильное соотношение для скорости роста температуры в начале нагревания – 1 балл
2. Правильное условие теплового баланса для максимальной температуры воды – 1 балл
3. Правильное соотношение для скорости остывания при выключенном нагревателе – 1 балл
4. Правильный ответ для комнатной температуры (формула и число) – 1 балл
5. Правильно найдено во сколько раз нужно увеличить мощность нагревателя, чтобы воду можно было довести до кипения – 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.