ФИЗИКА
7 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «Кирпичи для мостовой»
При производстве брусчатки для мощения улиц в Древнем Египте использовались каменные блоки размером 1×2×1 м, из которых каменотёсы делали брусчатку размером 10×10×20 см. Какую максимальную площадь удавалось египтянам замостить в день из N = 40 блоков, если α = 20% кирпичей крошились при распилке и не использовались? Ответ дать в квадратных метрах, округлив до целых. Толщина каменного тротуара 10 см. Зазоры на стыках не учитывать.

Возможное решение: Найдемобщее число кирпичей: $N_к = V_б N/V_к = 40000$,
где $V_б = 2$ м^3- объем одного блока, а $V_к = 0{,}002$ м^3 – объем одного кирпича.
Т.к. число нераскрошившихся кирпичей $N'_к = \alpha N_к = 32000$, то максимальная площадь, которую удалось замостить $S = N'_к S_к = 640$ м^2, где $S_к = 0{,}02$ м^2 – площадь поверхности одного кирпича.

Критерии оценивания:
- Правильно сформулирована идея нахождения общего числа кирпичей – 2 балла
- Правильно расчитано общее число кирпичей – 2 балла
- Правильно определено число неповрежденных кирпичей - 2 балла
- Правильно сформулирована идея нахождения замощеной площади – 2 балла
- Получен правильный ответ – 2 балла

Задача 2. «Поездка на дачу»
Ваня поехал на дачу на велосипеде. На первой половине пути, который проходил сначала по асфальтированной дороге, Ваня ехал равномерно со скоростью, которая на 10 км/ч быстрее средней скорости. Вторую половину пути, проходившей по просёлочной дороге, он ехал со скоростью в полтора раза меньшей средней. Определите среднюю скорость Вани. Ответ выразить в км/ч, округлить до целых.

Возможное решение. Обозначим скорости на первой и второй половинах пути как $u_1 = u + a$ и $u_2 = u/b$, где u – средняя скорость, a = 10 км/ч, b = 1,5. Найдём среднюю скорость, как отношение всего пути к сумме времён на первой и второй половинах пути:

$$v = \frac{S}{t1 + t2} = \frac{S}{S}$$

Отсюда находим, что

$$u = \frac{a(2 - b)}{b - 1} = 10\ \frac{км}{ч}.$$

Критерии оценивания:
- Правильно записана формула для средней скорости – 2 балла
- Правильно выражено время движения на первом и втором участке через среднюю скорость в соответствии с условиями задачи – 2 балла
- Правильно выполнены математические преобравзования, получено верное выражение для средней скорости - 4 балла
- Получен правильный ответ – 2 балла

Задача 3. «Противостояние Земли и Марса»

В момент противостояния Солнце, Земля и Марс находятся на одной прямой (Земля между Солнцем и Марсом). Считая, что планеты обращаются вокруг Солнца по круговым орбитам, лежащим в одной плоскости, определите, через какой промежуток времени повторяются противостояния Земли и Марса. Планеты движутся в одну сторону. Марс совершает оборот вокруг Солнца за 687 земных дней, а Земля — за 365 дней.

Возможное решение. За промежуток времени *t* от одного противостояния до другого Марс совершает n оборотов, а Земля (n+1) оборот (n не обязательно целое!). Этот промежуток времени выражается через периоды обращения Земли и Марса вокруг Солнца:

$$t = nT_М, \qquad t = (n + 1)T_З.$$

Приравнивая, найдем

$$n = \frac{T_З}{T_М - T_З} = 1{,}13.$$

Следовательно,

$$t = \frac{T_З T_М}{T_М - T_З} = 779 \text{ дней}.$$

Критерии оценивания:

- Описано условие двух последовательных противостояний – 3 балла
- Правильно записаны формулы для нахождения промежутка времени между противостояниями через периоды вращения планет – 2 балла
- Получено праильное выражение для искомой величины в общем виде – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 3 балла

Задача 4. «Вода через край»

Сосуд объёмом V = 1000 см^3 на три четверти заполнен водой. Когда в сосуд погрузили кусок меди, уровень воды поднялся, и часть воды объёмом V_0 = 100 см^3 вылилась через край. Найти массу куска меди. Масса 1 см^3 меди m_0 = 8,9 г. Ответ выразить в килограммах.

Возможное решение: Объем меди равен объему вытесненной воды: $V_м = \frac{V}{4} + V_0 = 350$ см^3.

Следовательно, масса меди $N_м = V_м \cdot N_0 = 3115$ г $= 3{,}115$ кг.

Критерии оценивания:

- Показано, что объем меди равен объему вытесненной жидкости – 2 балла
- Правильно определен объем меди – 3 балла
- Правильно записана формула для массы меди – 3 балла
- Получен правильный ответ, причем масса выражена в кг – 2 балла

ФИЗИКА
8 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «Валерьянка для Громозеки»
Громозека — старый друг Алисы Селезневой, гигантский археолог с планеты Чумароза очень любит валерьянку. В стакан, заполненный на 2/3 его объема водой массы m_1 = 200 г Громозека накапал N одинаковых капель валерьяки объемом V_0 = 0,2 мл каждая и аккуратно перемешал до однородной смеси. При этом уровень жидкости поднялся до краев стакана. Плотность воды ρ_1 = 1,0 г/см^3, плотности валерьнки ρ_2 = 0,8 г/см^3.

- Сколько примерно капель валерьянки накапал Громозека в стакан?
- Какова средняя плотность получившейся смеси?
- Утонет ли в этой смеси кубик льда плотностью ρ_0 = 0,9 г/см^3, который Громозека положил в стакан?

Возможное решение. Зная объем воды в стакане

$$V_1 = \frac{2}{3}V = \frac{\mathrm{N}_1}{q_1},$$

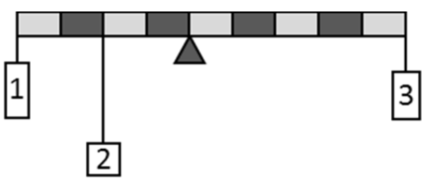
найдем объем стакана $V = 3\mathrm{N}_1/2q_1 = 300$ см^3.
Объем валерьянки $V_2 = NV_0 = V/3$, следовательно число капель, накапанных в стакан $N = V/3V_0 = 500$.
Средняя плотность полученной смеси:

$$q_{\text{ср}} = \frac{\mathrm{N}_1 + \mathrm{N}_2}{V} = \frac{\mathrm{N}_1 + NV_0 q_2}{V} = 0{,}933\ \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Кубик льда, брошенный в стакан не утонет, так как $q_{\text{ср}} > q_0$.

Критерии оценивания:
- Найден объем стакана – 2 балла
- Найдены объем и масса валерьянки – 2 балла
- Правильно найдена средняя плотность смеси в общем виде - 2 балла
- Получен верный числовой ответ для средней плотности – 2 балла
- Показано, что кубик льда не утонет в стакане – 2 балла

Задача 2. «Три груза»
На рисунке показан рычаг массой M = 18 кг, к которому в разных местах прикреплены три груза. Масса первого груза равна m, масса второго в a = 2 раза больше, а масса третьего в b = 3 раза меньше. Чему равна масса *m*, если система находится в равновесии? Ответ выразить в килограммах, округлив до десятых.



Возможное решение:
Найдём положение центра масс рычага: из рисунка следует, что он находится справа на расстоянии $x = 0{,}5l$ от точки опоры, где l – длина одного деления на шкале рычага. На рычаг действуют четыре момента сил (силы равны весам соответствующих грузов), причём моменты $\mathrm{N}_1 g \cdot 4l$ и $\mathrm{N}_2 g \cdot 2l$ вращают рычаг против часовой стрелки, а моменты $Mg \cdot 0{,}5l$ и $\mathrm{N}_3 g \cdot 5l$ – по часовой стрелке. Запишем равенство моментов сил относительно точки опоры рычага:

$$\mathrm{N}_1 g \cdot 4l + \mathrm{N}_2 g \cdot 2l = Mg \cdot 0{,}5l + \mathrm{N}_3 g \cdot 5l.$$

С учётом условия задачи:

$$4N + 2aN = 0{,}5M + 5\frac{N}{b}.$$

Отсюда легко найдём искомую величину:

$$N = \frac{0{,}5M}{4 + 2a - \frac{5}{b}} = 1{,}4 \text{ кг}.$$

Критерии оценивания:

- Правильно найдено положение центра масс рычага – 2 балла
- Правильно определены моменты сил, действующих на рычаг – 2 балла
- Правильно составлено уравнение моментов - 3 балла
- Получен верный числовой ответ для средней плотности – 3 балла

Задача 3. «Туда и обратно»

В 12:00 от пристани деревни Орловка вниз по реке стартовали одновременно катер и плот. Доплыв до деревни Березовка, расположенной от Орловки на расстоянии 10 км ниже по течению реки, катер развернулся и повернул обратно, встретившись с плотом в 14:00. Плот при этом проплыл 4 км.

- Найдите скорость течения реки и скорость катера в стоячей воде, считая эти скорости постоянными.
- В какой момент времени катер прибыл в Березовку?
- Постройте зависимость расстояния до Орловки от времени для плота и катера на одном графике.

Возможное решение. От момента старта до момента встречи плота и катера прошло время $t = 2$ ч. Плот за это время проплыл по течению $S_1 = 4$ км, следовательно, скорость течения реки $u = S_1/t = 2$ км/ч.

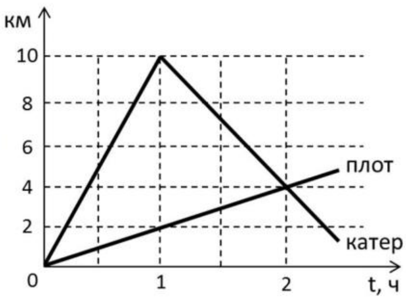
За это же время катер прошёл путь S до Березовки со скоростью $(u_к + u)$ относительно неподвижной системы отсчёта и путь $S_2 = S - S_1 = 6$ км со скоростью $(u_к - u)$ относительно неподвижной системы отсчёта, где $u_к$ – скорость катера в стоячей воде. Таким образом,

$$t = \frac{S}{u_к + u} + \frac{S_2}{u_к - u}.$$

Решая полученное уравнение, получим $u_к = 8$ км/ч.

На пути в Березовку скорость катера относительно Земли была $u_{к1} = 10$ км/ч, следовательно, он прибыл туда через $t_1 = S/u_{к1} = 1$ час, т.е. в 13:00.

На рис. построен график зависимости зависимость расстояния до Орловки от времени для плота и катера.



Критерии оценивания:

- Правильно определена скорость течения реки – 1 балл
- Правильно записано выражение для времени движения катера до момента встречи с плотом с учетом формулы сложения скоростей – 2 балла
- Получен верный числовой ответ для скорости катера в стоячей воде - 3 балла
- Правильно определено время прибытия катера в Березовку – 1 балл
- Правильно построены графики движения – 3 балла

Задача 4. «Весна пришла»

На крыше дома лежала глыба льда при температуре $t_1 = -t$ °C. Днём весеннее солнышко растопило весь лёд, превратив его в воду при температуре $t_2 = +2t$ °C. На весь этот процесс была затрачена теплота в количестве $Q = 12$ МДж, причём известно, что 1/3 от этого количества теплоты пошла на нагревание воды. Также известно, что удельная теплоёмкость льда в 2 раза меньше удельной теплоёмкости воды. Определите количество теплоты, которое пошло на превращение льда в воду. Ответ выразить в кДж. Если ответ не целый, то округлить до целых.

Возможное решение. Пусть N – масса льда, тогда теплота Q расходуется на

- нагревание льда до температуры плавления $t_3 = 0°C$: $Q_л = c_л N(t_3 - t_1) = c_л Nt = \frac{1}{2} c_в Nt$;
- плавление льда $Q_{пл}$;
- нагревание воды до температуры t_2: $Q_в = c_в N(t_2 - t_3) = c_л N \cdot 2t$,

где $c_в$ – удельная теплоёмкость воды, $c_л = c_в/2$ - удельная теплоёмкость льда, h – удельная теплота плавления льда. Т.к. по условию задачи $Q_в = Q/3$, то $Q/3 = c_в N \cdot 2t$, откуда $c_в Nt = Q/6$. Следовательно,

$$Q = Q_л + Q_{пл} + Q_в = \frac{1}{2} c_в Nt + Q_{пл} + \frac{Q}{3} = \frac{Q}{12} + Q_{пл} + \frac{Q}{3}.$$

Отсюда находим, что

$$Q_{пл} = \frac{7}{12} Q = 7000 \text{ кДж}.$$

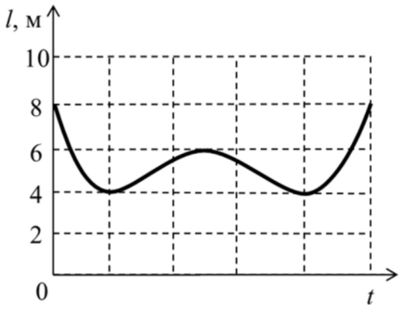
Критерии оценивания:

- Правильно составлено уравнение теплового баланса с учетом всех протекающих процессов – 3 балла
- Верно учтены все условия задачи и получено уравнение, позволяющее получить правильный ответ – 4 балла
- Получен правильный числовой ответ - 3 балла

ФИЗИКА
9 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «Взгляд со стороны»

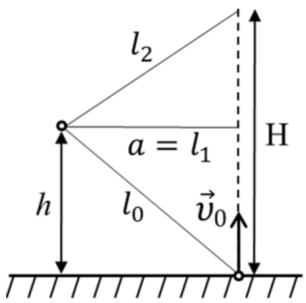


Тело бросили вертикально вверх с поверхности земли. Расстояние l между этим телом и неподвижным наблюдателем изменяется со временем *t* по закону, показанному на графике (см. рисунок). Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2.

- На какой высоте над землёй и на каком расстоянии от линии, по которой движется тело, находится наблюдатель?
- Чему равна начальная скорость тела?

Возможное решение. Пусть наблюдатель находится на высоте h и на расстоянии a от линии, по которой движется тело. Возможны два случая:
а) тело не долетает до высоты, на которой находится наблюдатель, – в этом случае расстояние *l* от тела до наблюдателя сначала уменьшается, а затем увеличивается;
б) тело поднимается выше наблюдателя, – в этом случае расстояние *l* сначала уменьшается от $l_0 = \sqrt{a^2+h^2}$ до $l_1 = a$, затем увеличивается до $l_0 = \sqrt{a^2+(H-h)^2}$, где *H* – высота подъема тела, а потом опять уменьшается до a и увеличивается до $\sqrt{a^2+h^2}$.
Как видно из приведенного в условии рисунка, реализуется именно второй случай. При этом $l_0 = 8$ м, $l_1 = 4$ м, $l_2 = 6$ м. Следовательно,

$$a = l_1 = 4 \text{ м};$$
$$h = \sqrt{l_0^2 - a^2} = 6{,}9 \text{ м};$$
$$H = h + \sqrt{l_2^2 - a^2} = 11{,}4 \text{ м}.$$



Начальную скорость тела можно определить из соотношения $u_0^2 = 2gH$, откуда $u_0 = 15{,}1$ м/с.

Критерии оценивания:

- Правильно интерпретирован график, показано, что тело поднимается выше наблюдателя – 1 балл
- Из графика правильно определено минимальное расстояние между телом и наблюдателем, расстояние между ними в начальный момент и при подъеме тела на максимальную высоту – 2 балла
- Правильно найдена высота подъема тела – 2 балла
- Правильно найдена высота, на которой находится наблюдатель – 2 балла
- Правильно определена начальная скорость тела – 3 балла

Задача 2. «Переливание воды»
На кухне хозяйка налила в первую кастрюлю 3 л воды при температуре $t_1 = 80°C$, а во вторую – 2 л воды при температуре $t_2 = 20°C$. Потом она часть воды перелила из первой кастрюли во вторую. Затем, когда во второй кастрюле установилось тепловое равновесие, из неё в первую кастрюлю хозяйка отлила столько воды, чтобы её объёмы в кастрюлях стали равны первоначальным. После этих переливаний температура воды в первом сосуде стала равна $t'_1 = 70°C$. Сколько воды переливала хозяйка из первой кастрюли во вторую и обратно? Теплообменом воды с окружающей средой пренебречь.

Возможное решение. В результате переливаний воды из первой кастрюли во вторую и из второй в первую значения массы воды в сосудах остались прежними, а температура воды первом сосуде понизилась на $\Delta t_1 = t'_1 - t_1 = 10°C$. Это равноценно отдаче водой, находящейся в первой кастрюле, количества теплоты

$$Q_1 = c_в N_1 \cdot \Delta t_1 .$$

Согласно закону сохранения энергии, это количество теплоты было передано воде во второй кастрюле. Следовательно,

$$c_в N_2 \cdot \Delta t_2 = c_в N_1 \cdot \Delta t_1 ,$$

где Δt_2 – изменение температуры воды во второй кастрюле, а N_1 = 3 кг и N_2 = 2 кг - массы воды в первой и второй кастрюлях. Из этого уравнения найдём, что

$$\Delta t_2 = \frac{N_1}{N_2} \cdot \Delta t_1 = \frac{3}{2} \cdot 10 = 15°C .$$

Таким образом, после переливания во вторую кастрюлю массы воды ΔN из первой кастрюли (с температурой t_1 = 80°C) температура воды во второй стала равной $t'_2 = t_2 + \Delta t_2 = 35°C$. Согласно уравнению теплового баланса

$$c_в \Delta N \cdot (t_1 - t''_2) = c_в N_2 \cdot (t''_2 - t_2).$$

Отсюда

$$\Delta N = N_2 \cdot \frac{t''_2 - t_2}{t_1 - t''_2} = 2 \cdot \frac{35 - 20}{80 - 35} = \frac{2}{3} = 0{,}67 \text{ кг.}$$

Критерии оценивания:

- Правильно написано выражение для теплоты, переданной воде во второй кастрюле в процессе переливаний – 1 балл
- Правильно определена конечная температура воды во второй кастрюле – 3 балла
- Правильно составлено уравнение теплового баланса для системы: вода, перелитая из первого сосуда – вода во втором сосуде – 3 балла
- Получен верный числовой ответ – 3 балла

Задача 3. «Утренний чай»

Утром, перед тем, как пойти в школу, Маша налила себе чай. Плотность чая равна плотности воды: $\rho_в = 1000$ кг/м^3. Потом Маша насыпала в чай сахар. Плотность сахара равна $\rho_с = 1{,}6$ г/см^3. Потом Маша размешала сахар в чаю. После этого объём чая стал в n = 1,04 раза больше, чем до добавления сахара, а плотность чая стала равна $\rho_ч = 1060$ кг/м^3. Какой была средняя плотность чая, когда Маша положила в него сахар, но ещё не размешала?

Возможное решение. Пусть $N_в = V_в q_в$ – масса чая без сахара, $N_с = V_с q_с$ – масса сахара, тогда плотность чая с перемешанным в нем сахаром

$$q_ч = \frac{N_в + N_с}{V_2} = \frac{V_в q_в + V_с q_с}{n V_в},$$

откуда найдём отношение объёмов сахара и воды до перемешивания:

$$\frac{V_с}{V_в} = \frac{n q_ч - q_в}{q_с} .$$

Искомая средняя плотность смеси, состоящей из чая и сахара до перемешивания:

$$q_{ср} = \frac{N_в + N_с}{V_в + V_с} = \frac{q_ч n V_в}{V_в + V_с} = \frac{q_ч n}{1 + \frac{V_с}{V_в}}$$

С учётом предыдущего выражения

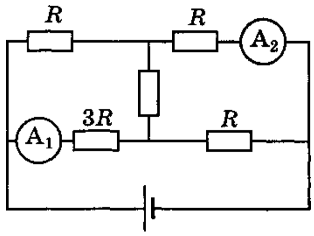
$$q_{ср} = \frac{q_ч q_с n}{q_с + n q_ч - q_в} = 1036 \frac{кг}{м^3}.$$

Критерии оценивания:

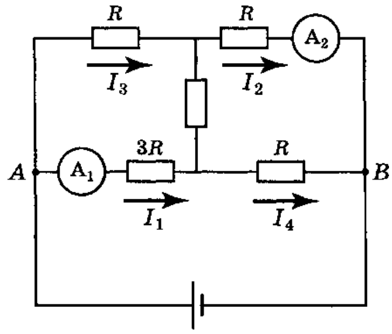
- Правильно записано выражение для искомой средней плотности – 2 балла
- Правильно записано выражение для плотности чая после перемешивания – 2 балла

- Записаны все уравнения, необходимые для нахождения ответа – 1 балл
- Уравнения решены правильно и найдена окончательная формула для средней плотности – 3 балла
- Получен верный числовой ответ – 2 балла

Задача 4. «Два амперметра»



Во время лабораторной работы школьники собрали электрическую цепь в соответствии со схемой, показанной на рисунке. Амперметр A_1 показывает силу тока $I_1 = 2$ А. Какую силу тока показывает амперметр A_2? Оба прибора идеальны. Отмеченные на рисунке параметры цепи считайте известными.



Возможное решение. Сумма сил токов, вытекающих из узла A, равна сумме сил токов, втекающих в узел B:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4.$$

Напряжение между точками A и B для верхней ветви равно

$$U = I_3R + I_2R$$

и такое же напряжение для средней ветви:

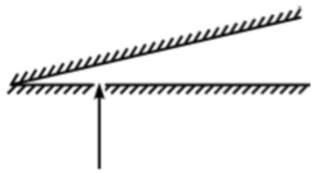
$$U = I_1 \cdot 3R + I_4R.$$

Из этих уравнений получаем, что $I_2 = 2I_1 = 4$ А.

Критерии оценивания:

- На схеме обозначены токи и написано правильное соотношение между токами, текущими на различных участках – 2 балла
- Правильно применяется закон Ома с учетом вида соединений резисторов – 3 балла
- Записаны все уравнения, необходимые для получения ответа – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 3 балла

Задача 5. «Лазерная указка»



Два зеркала сложены под углом $\alpha = 7^o$. Школьник Станислав направил через маленькое отверстие в одном из зеркал луч лазерной указки перпендикулярно этому зеркалу. Сколько всего отражений испытает луч от этих зеркал?

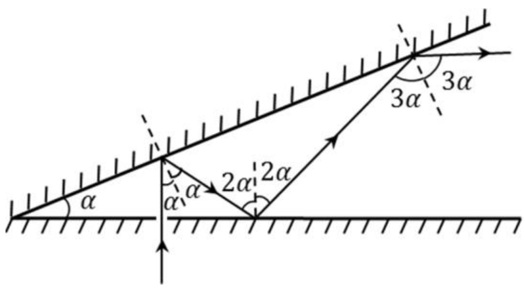
Возможное решение. Из закона отражения следует, что при каждом следующем отражении от зеркал угол луча с вертикалью увеличивается на α. Таким образом, после *n* отражений угол падения станет

$$þ = \alpha n.$$

Но þ не может быть больше 90^o, следовательно,

$$n = 90/\alpha = 12{,}85,$$

т.е. *n* = 12 отражений.



Критерии оценивания:

- На рисунке изображён примерный ход луча – 1 балл
- Хотя бы для одного отражения луча записан закон отражения света (угол падения равен углу отражения) – 1 балл
- Показано, что при каждом следующем отражении от зеркал угол падения луча увеличивается на α – 5 баллов
- Получен правильный ответ – 3 балла

ФИЗИКА
10 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «По дороге в школу»
Варя ездит в школу на метро. Однажды, наблюдая за приближением поезда, она с помощью секундомера определила, что первый вагон прошёл мимо неё за время $t_1 = 2$ с, а второй вагон – за время $t_2 = 2{,}1$ с. Когда мимо Вари проходил последний вагон, поезд остановился. Сколько времени прошло того момента, когда поезд начал проходить мимо Вари до полной его остановки? Сколько вагонов в поезде? Все вагоны имеют одинаковую длину, промежутками между вагонами пренебречь. Считать, что измерения, сделанные Варей точны, а поезд, подходящий к станции, движется равнозамедленно.

Возможное решение. Искомое время движения поезда $t = u_0/a$, где u_0 – скорость поезда в тот момент, когда он поравнялся с Варей, а *a* – его ускорение.
Составим уравнение движения для первого вагона:

$$l = u_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2},$$

для двух вагонов сразу:

$$2l = u_0 (t_1 + t_2) - \frac{a(t_1 + t_2)^2}{2},$$

где *l* – длина каждого вагона.
Решая эту систему уравнений, найдём, что

$$t = \frac{u_0}{a} = \frac{t_2^2 + 2t_1t_2 - t_1^2}{2(t_2 - t_1)} = 44 \text{ с}.$$

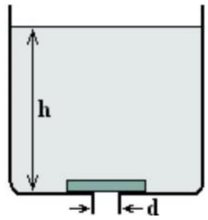
Длина поезда, прошедшего мимо Вари за это время $L = at^2/2$, следовательно, число вагонов, которые прошли мимо неё

$$n = \frac{L}{l} = \frac{at^2}{2\left(u_0 t_1 - \frac{a t_1^2}{2}\right)} = \frac{t^2}{t_1(2t - t_1)} = 11{,}3.$$

Так как поезд остановился, когда мимо Вари проходил последний вагон, то в составе поезда находилось всего *n* = 12 вагонов.

Критерии оценивания:
- Дана правильная формула для времени движения поезда до его остановки – 1 балл
- Правильно составлены уравнения для прохождения первого и вторго вагонов мимо Вари – 1 балла
- Правильно определено время – 3 балла
- Написана правильно формула, для определения длины поезда, прошедшего мимо Вари – 1 балл
- Правильно составлено выражение для нахождения числа вагонов – 2 балла
- Правильно определено число вагонов в поезде – 2 балла

Задача 2. «Ванна Архимеда»
В ванну налили воду до уровня h = 40 см и положили на сливное отверстие стеклянный брусок, масса которого равна m = 640 г. Диаметр сливного отверстия d = 4 см. Вода подтекает под брусок, но очень медленно. Уровень воды не изменится долго. С какой силой брусок давит на дно ванны? Плотность воды $\rho_в$ = 1000 кг/м^3, плотность стекла $\rho_с$ = 2500 кг/м^3. Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2. Атмосферным давлением пренебречь. Ответ запишите в единицах СИ с точностью до десятых.



Возможное решение. Необходимо учесть, что на часть бруска, находящуюся над отверстием, действует не сила Архимеда $F_{арх}$, а вес находящегося над ним столба воды $F_в$. Ведь снизу от бруска воды нет, а сила Архимеда обусловлена разностью давлений воды на разной высоте. На остальную часть бруска действует сила Архимеда.
Сила, с которой брусок высотой *x* давит на дно ванны определяется как

$$F = F_{тяж} + F_в - F_{арх} = \mathrm{N}g + q_в g(h - x)S - q_в g(V - Sx),$$

где $V = \mathrm{N}/q_c$ – объем шайбы, а $S = nd^2/4$ – площадь поверхности шайбы, находящейся под сливным отверстием. Отсюда

$$F = \mathrm{N}g + \frac{q_в g h n d^2}{4} - \frac{q_в g \mathrm{N}}{q_c} = \mathrm{N}g\left(1 + \frac{q_в h n d^2}{4\mathrm{N}} - \frac{q_в}{q_c}\right) = 8{,}9\ \text{Н}.$$

Критерии оценивания:
- Правильно указаны силы, действующие на брусок, и их направление – 2 балла
- Правильно записано выражение для силы Архимеда (учтено, что на часть бруска, находящуюся над отверстием сила Архимда не действует) – 2 балла
- Правильно записана величина веса вышележащего столба воды – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 4 балла

Задача 3. «Переохлаждённая жидкость»
Как известно, при атмосферном давлении вода начинает замерзать, а лёд - таять при температуре $t = 0°C$. Но при соблюдении необходимых предосторожностей вода может быть переохлаждена до более низких температур. Какая часть переохлаждённой до температуры $t_0 = -4°C$ воды замёрзнет, если бросить в неё ледяную сосульку и вызвать тем самым кристаллизацию? Удельная теплота плавления льда $\lambda = 335\cdot 10^3$ Дж/кг, теплоемкость воды $c_в = 4200$ Дж/кг·°С, удельная теплоемкость льда $c_л = 2100$ Дж/кг·°С. Потерями теплоты пренебречь.

Возможное решение. После того, как в переохлаждённую воду бросили сосульку, в воде начался процесс кристаллизации. При образовании из переохлажденной воды льда массой $\mathrm{N}_л$ выделится количество теплоты $h\mathrm{N}_л$. Эта теплота пойдет на нагревание образовавшегося льда от начальной температуры $t_0 = -4°C$ до температуры $t = 0°C$ и нагревание оставшейся после кристаллизации воды массой $\mathrm{N}_в$ на $\Delta t = (t_0 - t)$ градусов (дальнейшее нагревание невозможно, так как при 0°С кристаллизация льда прекратится).
Запишем уравнение теплового баланса:

$$h\mathrm{N}_л = c_в \mathrm{N}_в \Delta t + c_л \mathrm{N}_л \Delta t.$$

Если N – начальная масса переохлажденной воды, то

$$h\mathrm{N}_л = c_в(\mathrm{N} - \mathrm{N}_л)\Delta t + c_л \mathrm{N}_л \Delta t,$$

откуда

$$\frac{\mathrm{N}_л}{\mathrm{N}} = \left(1 + \frac{h}{\Delta t c_в} - \frac{c_л}{c_в}\right)^{-1} = 4{,}9\%$$

Критерии оценивания:
- Показано, что конечная температура в системе равна 0°С – 1 балл
- Правильно составлено уравнение тепловго баланса – 5 баллов
- Получен верный числовой ответ – 4 балла

Задача 4. «Последовательное соединение»
Связь между напряжением U на лампе накаливания и силой тока, текущего через неё, даётся формулой $I \sim U^{3/5}$. Две лампы с номинальными напряжениями 220 В и номинальными мощностями $P_1 = 40$ Вт и $P_2 = 100$ Вт включили последовательно в сеть 220 В. Какое напряжение падает на лампе меньшей номинальной мощности?

Возможное решение. Сопротивление ламп увеличивается в рабочем режиме из-за нагревания спирали, поэтому определить сопротивление из номинальных значений мощности и напряжения нельзя. При последовательном соединении ламп

$$I_1 = I_2, \qquad U = U_1 + U_2. \qquad (1)$$

Так как $I = \alpha U^{3/5}$, то первое из этих уравнений запишем в виде $\alpha_1 U_1^{3/5} = \alpha_2 U_2^{3/5}$. Коэффициенты пропорциональности α_1 и α_2 найдем из соотношения между номинальными значениями напряжения и мощности в соответствии с законом Джоуля-Ленца: $P = IU = \alpha U^{8/5}$, откуда $\alpha_1 = P_1 U^{5/8}$ и $\alpha_2 = P_2 U^{5/8}$.

Система уравнений (1) принимает вид:

$$P_1 U_1^{3/5} = P_2 U_2^{3/5}, \qquad U = U_1 + U_2.$$

Решая эту систему уравнений, найдем напряжение на лампе мощностью $P_1 = 40$ Вт:

$$U_1 = \frac{U}{(P_1/P_2)^{5/3} + 1} = 181 \text{ В}.$$

Критерии оценивания:

- Правильно составлены соотношения между токами и напряжениями для последовательного соединения ламп – 1 балл
- Показано, что сопротивление ламп в рабочем режиме нельзя определить, используя номинальные значения мощности и напряжения – 2 балла
- Правильно написаны соотношения между номинальными мощностями и напряжением, определен коэффициент пропорциональности в формуле $I \sim U^{3/5}$ – 2 балла
- Правильно записана система уравнений, позволяющая прийти к верному ответу – 2 балла
- Получен правильный ответ – 3балла

Задача 5. «Столкновение на орбите»

Искусственный спутник Луны массой M = 8 кг движется вблизи её поверхности по круговой орбите. Метеорит массой m = 0,1 г, летящий со скоростью v = 40 км/с, перпендикулярной скорости спутника, попадает в спутник и застревает в нём. На какой угол повернётся из-за этого вектор скорости спутника? Радиус Луны R = 1740 км. Ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле.

Возможное решение. Найдём скорость спутника до попадания в него метеорита. В соответствии со 2-м законом Ньютона и законом Всемирного тяготения

$$M\frac{u^2}{R} = G\frac{M_л M}{R^2},$$

где *Mл* – масса Луны, *u* – скорость спутника. Отсюда $u = \sqrt{GM_л/R^2}$.

Учитывая, что ускорение свободного падения на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле $g_л = g_з/6$, следовательно, $u = \sqrt{Rg_з/6}$.

Так как скорость метеорита и скорость спутника в момент столкновения взаимоперпендикулярны, то в соответствии с законом сохранения импульса угол поворота вектора скорости спутника можно найти из уравнения

$$tg\alpha = \frac{p_м}{p_с} = \frac{Nu}{Mu},$$

откуда

$$\alpha = arctg\left(\frac{Nu}{M\sqrt{Rg_з/6}}\right) = 3 \cdot 10^{-4} \text{ рад}.$$

Критерии оценивания:

- Правильно получено выражение для скорости спутника на орбите в общем виде – 1 балл
- Определена скорость спутника через соотношение $g_л = g_з/6$ - 2 балла
- Правильно применён закон сохранения импульса к соударению спутника и метеорита – 2 балла
- Определён угол отклонения спутника из закона сохранения импульса – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 3 балла

ФИЗИКА
11 класс

Ключи ответов и критерии оценивания

Задача 1. «Воздушный шарик»
Наполненный гелием воздушный шарик имеет форму, близкую к сферической. Если отпустить его в безветренную погоду, скорость его установившегося (то есть равномерного) подъёма будет равна u_0 = 2 м/с. Этот шарик привязали к багажнику велосипеда. Когда велосипедист на этом велосипеде ехал навстречу ветру со скоростью u = 1 м/с относительно земли, нить шарика отклонилась от вертикали на постоянный угол. Найдите этот угол, если скорость ветра равна u = 0,5 м/с. Считать, что при движении шарика в воздухе величина действующей на него силы сопротивления пропорциональна квадрату его скорости относительно воздуха.

Возможное решение. В случае равномерного движения шарика вверх в безветренную погоду на него действуют сила Архимеда F_A, сила тяжести $\mathrm{N}g$ и сила сопротивления воздуха $F_c = \alpha u^2{}_0$ (рис.), причём:

$$F_A = \alpha u_0^2 + \mathrm{N}g. \qquad (1)$$

При движении шарика, привязанного к багажнику, $F_c = \alpha(u + u)^2$, где $(u + u)$ – скорость шарика относительно воздуха и на него действует дополнительно сила натяжения нити T (рис.). В проекции на ось x, перпендикулярную нити:

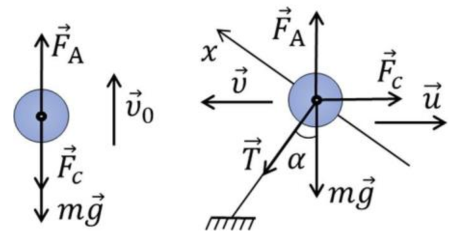
$$F_A\sin\alpha = \alpha(u + u)^2\cos\alpha + \mathrm{N}g\sin\alpha$$

или

$$F_A = \alpha(u + u)^2\mathrm{ctg}\alpha + \mathrm{N}g.$$

Решая совместно с (1), получим

$$\alpha = \mathrm{arctg}\left(\frac{u + u}{u_0}\right)^2 = 29{,}3°.$$



Критерии оценивания:
- Правильно составлено уравнение движения шарика вверх – 2 балла
- Правильно указаны силы, действующие на шарик, при его движении по горизонтали – 2 балла
- Правильно записано выражение для силы сопротивления, в котором верно опрделена скрость шарика относительно воздуха – 1 балл
- Правильно записаны проекции уравнения движения для шарика, привязанного к багажнику - 2 балла
- Получен верный ответ – 3 балла

Задача 2. «Полет на ядре»
Пушка массы M = 200 кг стреляет ядром массы $m_я$ = 20 кг под утлом α = 30º к горизонту. Заряд пороха $m_п$ = 5 кг, его теплота сгорания q = 3,8 МДж/кг. Определите расстояние между пушкой и местом взрыва, если они находятся на одной горизонтали. На сколько уменьшится дальность полёта ядра, если сразу после вылета из пушки на него сядет барон Мюнхгаузен, масса которого m = 70 кг? КПД выстрела принять равным 10%. Считать, что пушка находится на гладкой поверхности, по которой может скользить без трения. Сопротивлением воздуха пренебречь. Ускорение свободного падения g = 10 м/с^2.

Возможное решение. В соответствии с законом сохранения горизонтальной составляющей импульса в системе пушка-ядро: $0 = Mu - \mathrm{N}_я u_0 \cdot \cos\alpha$, где u – скорость пушки после выстрела, u_0 – начальная скорость ядра (до того как на него сел Барон Мюнхгаузен).

По условию задачи η = 10 % энергии, выделяющейся при сгорании пороха, преобразуется в механическую энергию пушки и ядра:

$$5N_п q = \frac{Mu^2}{2} + \frac{N_я u_0^2}{2}.$$

Решая эту систему уравнений, найдем начальную скорость ядра:

$$u_0 = \sqrt{\frac{25N_п q}{N_я\left(\frac{N_я}{M}\cos^2\alpha + 1\right)}} = 420\text{ м/с}.$$

Для ядра, выпущенного под углом к горизонту, дальность полета

$$L_0 = \frac{u_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} = 15277\text{ м}.$$

Если сразу после выстрела на ядро сядет барон Мюнхгаузен, то по закону сохранения импульса $N_я u_0 = (N + N_я)u$ можно определить скорость ядра:

$$u = \frac{N_я u_0}{N + N_я} = 93\frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

При этом дальность полета ядра уменьшиться до L = 754 м, следовательно с бароном Мюнхгаузеном ядро упадёт на расстоянии ΔL = 14529 м от цели.

Критерии оценивания:

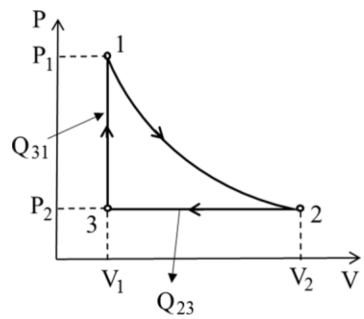
- Записан закон сохранения импульса для системы пушка-ядро – 1 балл
- Записан закон сохранения энергии при выстреле – 1 балл
- Правильно определена скорость начальная скорость ядра – 2 балла
- Верно рассчитана дальность полета ядра без барона Мюнхгаузена – 2 балла
- Правильно скорость ядра вместе с бароном Мюнхгаузеном – 2 балл
- Получен верный ответ – 2 балла

Задача 3. «Неземная атмосфера»

Астронавты, исследуя воздух открытой ими планеты, провели с порцией воздуха массой m = 100 г циклический процесс 1−2−3−1, состоящий из изотермического расширения 1−2, изобарического сжатия 2−3 до начального объёма и изохорического нагревания до первоначальной температуры. Оказалось, что в процессе 2−3−1 от газа отвели Q = 1 кДж тепла, а разность максимальной и минимальной температур в цикле составила ΔT = 30 °C. Изобразите проведённый цикл в координатах P-V и найдите среднюю молярную массу воздуха, считая его идеальным газом. Универсальная газовая постоянная R = 8,31 Дж/моль·К.

Возможное решение. В соответствии с I началом термодинамики теплота, отведённая процессе 2−3−1 от газа равна сумме изменения внутренней энергии между начальным и конечным состояниями и совершенной работе:

$$Q = \Delta U_{21} + A_{231}.$$



На участке 3-1 работа не совершается, а $\Delta U_{21} = 0$, т. к. $T_1 = T_2$, следовательно,

$$Q = |A_{23}| = p_2(V_2 - V_1) = \frac{N}{\mu}R(T_1 - T_3) = \frac{N}{\mu}R\Delta T.$$

Откуда

$$\mu = \frac{NR\Delta T}{Q} = 25\ \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

Критерии оценивания:

- Правильно постен цикл в координатах P-V – 1 балл
- Показано, что минимальная температу ра в цикле соответствует точке 3, а максимальная – точкам 1 и 2 – 1 балл
- Правильно применяется первое начало термодинамики к процессам 2-3 и 3-1 – 3 балла
- Показано, что изменнеи внутренней энергии в ходе процесса 2-3-1 или 1-2 равно нулю – 1 балл
- Правильно написано выражение для работы газа на участке 2-3 через ΔT – 2 балла
- Получен правильный числовой ответ – 2 балла

Задача 4. «Конденсатор в цепи постоянного тока»

Плоский конденсатор ёмкостью C = 22 пФ, резистор с сопротивлением R = 10 МОм и батарея с ЭДС ε = 100 В соединены последовательно. Расстояние между обкладками конденсатора быстро уменьшают в n = 2 раза. Найдите тепло Q, которое выделится после этого на резисторе. Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.

Возможное решение. До сдвигания пластин напряжение на конденсаторе $U_1 = \varepsilon$, а заряд $q_1 = \varepsilon C$. После сдвигания пластин ёмкость конденсатора увеличилась в n раз ($C_2 = nC$), а напряжение в n раз уменьшилось ($U_2 = \varepsilon/n$). Энергия электрического поля конденсатора сразу после сдвигания пластин

$$W_1 = \frac{C_2U_2^2}{2} = \frac{C\varepsilon^2}{2n}.$$

В цепи возникнет электрический ток, который будет протекать, пока напряжение на конденсаторе снова не станет равно ε, а заряд на обкладках $q_2 = \varepsilon nC$. Энергия конденсатора после установления равновесия

$$W_2 = \frac{C_2\varepsilon^2}{2} = \frac{nC\varepsilon^2}{2}.$$

За время протекания тока через батарею ЭДС пройдёт заряд $\Delta q = q_2 - q_1 = \varepsilon C(n-1)$.
Сторонние силы батареи при этом совершат работу $A_{ст} = \Delta q\varepsilon = \varepsilon^2 C(n-1)$.
В соответствии с законом сохранения энергии

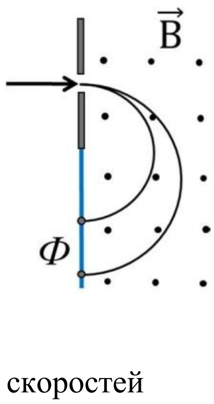
$$Q = A_{ст} - (W_2 - W_1) = \frac{\varepsilon^2 C(n-1)^2}{2n} = 55 \text{ нДж}.$$

Критерии оценивания:

- Правильно определены напряжение и заряд на конденсаторе до сдвигания пластин – 1 балл
- Правильно пореденены напряжение и заряд на конденсаторе сразу после сдвигания пластин – 2 балла
- Найдено изменение энергии электричкеского поля конденсатора – 1 балл
- Правлильно определена работа источника тока – 2 балла
- Правильно записано выраждние для выделившегося тепла – 1 балл
- Получен верный ответ – 3 балла

Задача 5. «Скачки напряжения»

В масс-спектрографе - устройстве для определения изотопного состава однозарядные ионы калия с атомными весами $A_1 = 39$ и $A_2 = 41$ сначала ускоряются в электрическом поле, а затем через узкую щель попадают в однородное магнитное поле, перпендикулярное к направлению их движения (рис.). В процессе опыта из-за несовершенства аппаратуры ускоряющий потенциал электрического поля меняется около среднего значения U на величину ±ΔU. С какой относительной точностью ΔU/U нужно поддерживать значение ускоряющего потенциала, чтобы пучки изотопов калия при попадании на фотопластинку Ф не перекрывались?



Возможное решение. Под действием электрического поля ионы разгоняются до скоростей

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2qU}{m}},$$

где m – масса, а q – заряд ионов. В магнитном поле ионы под действием магнитного поля движутся по дугам окружностей радиусом

$$R = \frac{m\upsilon}{qB} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}.$$

Ближе к щели на фотопластинку будут попадать ионы с $A_1 = 39$, дальше - с $A_2 = 41$. Перекрытие пучков возникнет, если максимальный радиус траектории ионов с малой массой сравняется с минимальным радиусом траектории ионов с большой массой, следовательно

$$\frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_1(U+\Delta U)}{q}} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2m_2(U-\Delta U)}{q}}.$$

Отсюда

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} = \frac{A_2 - A_1}{A_2 + A_1} = 0{,}025.$$

Критерии оценивания:

- Правильно описано движения зарядов в электрическом поле и получено выражение для скорости зарядов – 2 балла
- Правильно описано движение зарядов в магнитном поле и получено выражение для радиуса траектоии заряда – 2 балла
- Сформулировано условие перекрытия пучков зарядов – 2 балла
- Получено правильное уравнение, позволяющее получит правильный ответ – 2 балл
- Получен верный ответ – 2 балла