

В скобках после номера задачи указаны классы, которым эта задача рекомендуется. Можно решать и задачи старших классов. Задачи младших классов на оценку не влияют. Ученикам 7 класса и младше достаточно решить одну «свою» задачу, ученикам 8–11 классов — две «своих» задачи.

1. (5–8) В яркий солнечный день свет попадает в окна квартир, и во всех комнатах, окна которых обращены к Солнцу, светло. Однако проходим с улицы окна кажутся тёмными на фоне стен зданий. Почему?

(Предполагается, что стёкла в окнах — обычные, без затемнения.)

Решение. Свет, отражающийся от внешней стены дома, отражается один раз, и после этого попадает нам в глаза. Свет, попавший в окно квартиры, переотражается от стен, пола, потолка, мебели и прочих предметов в квартире несколько раз (именно поэтому мы видим все эти предметы освещёнными). На каждом переотражении часть интенсивности света теряется, и только потом свет попадает обратно на улицу. Поэтому из окна выходит меньше света, чем отражается в этом же направлении от стены, в которой сделано это окно.

Замечания. Если смотреть на оконное стекло под углом отражения солнечных лучей (свет большей частью сразу отражается от стекла), можно увидеть яркий «солнечный зайчик». Это исключительный случай, когда от стекла будет виден яркий свет. При наблюдении под другими углами стекло будет казаться тёмным, как указано выше.

Соответственно, «солнечный зайчик» — это ещё одна причина уменьшения освещённости. Так как солнечный свет, рассеиваемый от стен дома, рассеивается во всех направлениях, а «солнечный зайчик» отражается от стекла только в одном направлении (по закону «угол падения равен углу отражения») и не добавляет освещённости в остальных направлениях.

В условии задачи специально было указано, что свет попадает «в окна квартир», то есть помещений достаточно большого размера (комфортных для проживания), противоположная стена которых находится достаточно далеко от окна. Если же противоположная стена находится близко к окну (например, это окно на лестницу, расположенную вдоль стены), то она будет непосредственно освещаться попадающими на неё солнечными лучами и будет видна также, как и внешние стены дома.

2. (5–9) У входа в столовую образовалась очередь длиной 30 метров. Каждую минуту 3 первых человека из очереди проходят в столовую, а за это время в конец очереди приходят 2 новых человека. Каждый человек занимает в очереди одинаковое количество места.

Через 1 час очередь исчезла. С какой средней скоростью двигались люди, пока они находились в очереди? Ответ выразите в метрах в минуту.

Решение. За час в конец очереди подошло $2 \cdot 60 = 120$ человек, а в столовую прошло $3 \cdot 60 = 180$ человек.

Значит первоначально в очереди стояло $180 - 120 = 60$ человек.

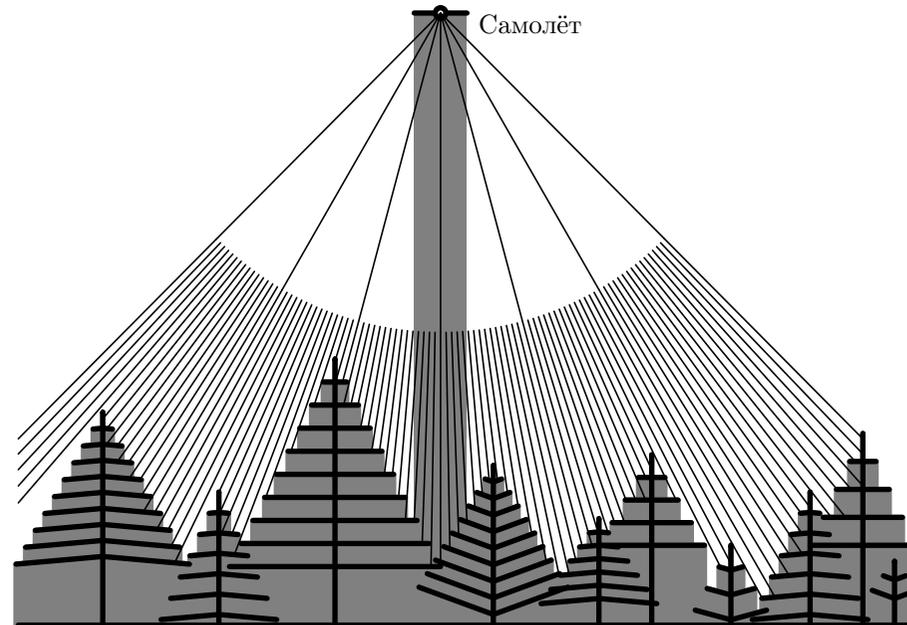
Один человек занимает в очереди место размером $\frac{30 \text{ м}}{60 \text{ чел}} = 0,5 \text{ м}$.

Скорость обслуживания людей в очереди 3 человека в минуту. 3 человека занимают в очереди $3 \cdot 0,5 = 1,5$ метра. Соответственно, скорость продвижения людей в очереди 1,5 м/мин.

Ответ. 1,5 м/мин.

3. (7–10) Летя на самолёте и наблюдая за его тенью, можно отметить интересное явление: когда самолёт летит на достаточно большой высоте над лесом или полем, поросшим травой, вокруг тени самолёта отчётливо заметно светлое пятно, яркость которого значительно выше яркости поверхности вне этого пятна. А если тень самолёта падает на открытую бетонную дорогу или большую заасфальтированную площадь, то пятно пропадает. Объясните причину появления такого пятна.

Решение. Деревья и трава отбрасывают на поверхность земли (и других листьев и травы) свои тени. Когда солнце, самолёт и дерево находятся на одной линии, то сами листья деревьев собой закрывают свои тени, поэтому возле тени самолёта видны только освещённые солнцем поверхности листьев, травы. На некотором удалении от тени самолёта (от линии «Солнце–самолёт–тень самолёта») на земле видны как освещённые, так и затенённые поверхности листьев и травы, которые, сливаясь, создают впечатление более тёмного фона. И на таком фоне пространство рядом с тенью самолёта выглядит светлым пятном.



На схеме условно показаны самолёт, растительность и тени от них (предполагается, что солнечные лучи падают вертикально). Тонкими линиями, направленными на самолёт, показаны направления лучей зрения для наблюдателя, находящегося в самолёте¹, проведённые с интервалом в 1°.

Если линия в каком-то направлении попадает на ветку, находящуюся в тени, то из самолёта в этом направлении будет виден тёмный участок (тень), а иначе — освещённый.

На рисунке видно, что рядом с тенью от самолёта почти все лучи зрения попадают на освещённые части веток (именно в этом месте из самолёта и будет видно светлое пятно), а дальше — как на освещённые, так и на затенённые части веток (в этом месте из самолёта будет видна поверхность с меньшей освещённостью). И из рисунка понятно, почему так получается.

На бетонных или заасфальтированных площадях травы и деревьев нет, поэтому и светлого пятна тоже нет — освещённость поверхности одинакова как вблизи тени самолёта, так и на более дальних расстояниях от этой тени.

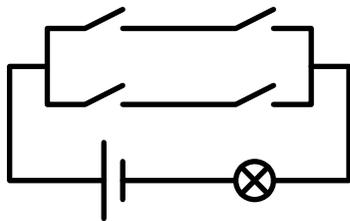
4. (7–10) Электрическая схема состоит из батарейки, лампочки и нескольких выключателей. Лампочку можно включить, а можно выключить. Если любой один из этих выключателей сломается, то остальными выключателями лампочку всё равно можно будет и включить, и выключить.

Приведите пример такой схемы.

Неисправный выключатель может оказаться всё время включённым, всё время выключенным или вообще вести себя непредсказуемым образом.

Решение. Возможный вариант решения. В данной схеме следует разомкнуть выключатель, соединённый последовательно с неисправным выключателем. Тогда неисправный выключатель на работу схемы уже никак не повлияет.

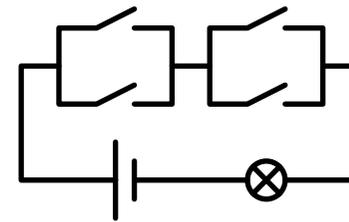
Из двух оставшихся выключателей один нужно замкнуть, тогда вторым можно будет включать и выключать лампочку.



Другой вариант решения. В приведённой ниже схеме нужно замкнуть исправный выключатель, соединённый параллельно с неисправным — тогда неисправный выключатель на работу схемы никак не повлияет.

Из двух оставшихся выключателей один нужно разомкнуть, тогда вторым можно будет включать и выключать лампочку.

¹Эти линии не доведены до самолёта, так как рядом с самолётом они оказались бы слишком густыми и выглядели бы как сплошной чёрный фон.



5. (8–10) На поверхности большого глубокого озера плавает деревянный куб. Чтобы куб полностью погрузить в воду нужно совершить минимальную работу 10 Дж, а чтобы полностью вынуть из воды требуется совершить минимальную работу 810 Дж. Плотность воды в озере 1000 кг/м³. Какова плотность дерева, из которого сделан куб?



Решение. Введём обозначения:

a — длина ребра деревянного куба,

ρ — плотность дерева (требуется найти),

$\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$ — плотность воды,

x — глубина погружения деревянного куба в состоянии равновесия (то есть расстояние от нижней грани куба до поверхности воды).

В состоянии равновесия сила тяжести, действующая на куб, равна силе Архимеда.

$$mg = \rho_0 g V_{\text{погр}}$$

$$\rho V g = \rho_0 g V_{\text{погр}}$$

$$\rho a^3 g = \rho_0 g a^2 x$$

$$\rho a = \rho_0 x$$

$$x = \frac{\rho}{\rho_0} a$$

Для того, чтобы вытащить куб из воды, нужно совершить работу на подъём куба на высоту x . Кроме того, оставшееся от куба пустое место объёмом $a^2 x$ заполнится водой, «стекающей» с поверхности озера². Центр масс этой воды опустится на высоту $x/2$. Тогда по условию

$$\rho a^3 g x - \rho_0 a^2 x g \frac{x}{2} = 810 \text{ Дж}$$

$$\rho a^3 g \frac{\rho}{\rho_0} a - \rho_0 a^2 \frac{\rho}{\rho_0} a g \frac{1}{2} \frac{\rho}{\rho_0} a = 810 \text{ Дж}$$

²Освободившееся место занимает окружающая вода, приводя к незначительному опусканию уровня в озере. Поскольку вода везде одинаковая, можно мысленно оставить окружающую воду на месте, а оставшееся от куба пустое место заполнить водой с поверхности водоёма.

$$\rho a^4 g \frac{\rho}{\rho_0} - \frac{1}{2} \rho a^4 g \frac{\rho}{\rho_0} = 810 \text{ Дж}$$

$$\frac{1}{2} \rho a^4 g \frac{\rho}{\rho_0} = 810 \text{ Дж}$$

$$\frac{\rho^2}{2\rho_0} a^4 g = 810 \text{ Дж}$$

Для того, чтобы полностью погруженный в воду куб (как на рисунке в центре), полностью вытащить из воды (как на рисунке справа), требуется совершить работу $A = 810 \text{ Дж} - 10 \text{ Дж} = 800 \text{ Дж}$ (вытаскивая куб, мы сначала получим 10 Дж, а потом, после прохождения положения равновесия, потратим 810 Дж).

Работа A складывается из двух частей.

1) Подъём деревянного кубика массой $m = \rho V = \rho a^3$ на высоту a , то есть $A_1 = mga = \rho a^3 ga = \rho a^4 g$.

2) Заполнение оставшегося на месте кубика пустого пространства водой. Можно считать, что это пространство заливают вода, находящаяся на поверхности озера. Центр масс этой воды, заполнившей пространство кубика, опустился на величину $a/2$. Поэтому $A_2 = \rho_0 a^3 g(-a/2) = -\rho_0 a^4 g/2$.

То есть

$$\rho a^4 g - \frac{\rho_0}{2} a^4 g = 800 \text{ Дж}$$

Разделим это соотношение на полученное ранее

$$\frac{\rho a^4 g - \frac{\rho_0}{2} a^4 g}{\frac{\rho^2}{2\rho_0} a^4 g} = \frac{800 \text{ Дж}}{810 \text{ Дж}}$$

$$\frac{\rho - \frac{\rho_0}{2}}{\frac{\rho^2}{2\rho_0}} = \frac{80}{81}$$

$$2\frac{\rho_0}{\rho} - \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^2 = \frac{80}{81}$$

$$\left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^2 - 2\frac{\rho_0}{\rho} + \frac{80}{81} = 0$$

Решим полученное квадратное уравнение относительно $\frac{\rho_0}{\rho}$.

$$D = (-2)^2 - 4\frac{80}{81} = 4\left(1 - \frac{80}{81}\right) = \frac{4}{81} = \left(\frac{2}{9}\right)^2$$

$$\frac{\rho_0}{\rho} = \frac{2 \pm \frac{2}{9}}{2} = 1 \pm \frac{1}{9}$$

Поскольку кубик плавает на поверхности, его плотность ρ должна быть меньше плотности воды ρ_0 , то есть

$$\frac{\rho_0}{\rho} = 1 + \frac{1}{9} = \frac{10}{9} > 1$$

$$\rho = \frac{9}{10} \rho_0 = \frac{9}{10} \cdot 1000 \text{ кг/м}^3 = 900 \text{ кг/м}^3$$

Ответ. 900 кг/м³

Примечание. Есть и «силовой» способ решения задачи, основанный на том, что выталкивающая сила меняется линейно с расстоянием, пройденным центром кубика от положения равновесия. Работа вычисляется как площадь под графиком этой зависимости (то есть площадь треугольников).

6. (9–11) Алиса стоит в восьми шагах от кривого зеркала и видит другую Алису (свое изображение) в Зазеркалье. Когда она делает шаг вперёд, Алиса в Зазеркалье приближается к ней на 13,5 шагов. Найдите фокусное расстояние зеркала, если известно, что оно вогнутое, а шаг Алисы — 60 см.

Решение. Положение изображения в вогнутом зеркале можно найти по формуле, похожей на формулу тонкой линзы:

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Здесь за a обозначено расстояние от зеркала до источника (Алисы), за b — от зеркала до изображения (другой Алисы): первое возрастает в сторону Алисы, второе — в сторону Зазеркалья. Раз изображение Алисы находится в Зазеркалье, то $b > 0$. Как обычно, f — фокусное расстояние. Для вогнутого зеркала оно положительно.

Знак «минус» появляется потому, что вместо преломления (прохождения сквозь линзу) происходит отражение, т. е. луч меняет направление, но не меняет среду. В линзе происходит не отражение, а преломление, и луч проходит дальше. Поэтому, например, линза фокусирует свет от Солнца за собой, а зеркало — перед собой.

Измеряя расстояния в шагах, получим уравнения:

$$\frac{1}{8} - \frac{1}{b_0} = \frac{1}{f_0} \qquad \frac{1}{8-1} - \frac{1}{b_0-13,5} = \frac{1}{f_0}$$

За b_0 и f_0 обозначены начальное расстояние от зеркала до зазеркальной Алисы и фокусное расстояние зеркала в шагах.

$$\frac{1}{b_0} = \frac{1}{8} - \frac{1}{f_0} \qquad \frac{1}{7} - \frac{1}{b_0-13,5} = \frac{1}{f_0}$$

$$b_0 = \frac{8f_0}{f_0-8} \quad (*) \qquad \frac{1}{7} - \frac{1}{f_0} = \frac{1}{b_0-13,5}$$

$$b_0 - 13,5 = \frac{8f_0}{f_0 - 8} - 13,5 = \frac{8f_0 - 13,5(f_0 - 8)}{f_0 - 8} = \frac{108 - 5,5f_0}{f_0 - 8}$$

$$\frac{1}{7} - \frac{1}{f_0} = \frac{1}{b_0 - 13,5}$$

$$\frac{f_0 - 7}{7f_0} = \frac{f_0 - 8}{108 - 5,5f_0}$$

$$7f_0(f_0 - 8) = (f_0 - 7)(-5,5f_0 + 108)$$

$$7f_0^2 - 56f_0 = -5,5f_0^2 + 146,5f_0 - 756$$

$$12,5f_0^2 - 202,5f_0 + 756 = 0$$

$$f_0^2 - 16,2f_0 + 61,2 = 0$$

$$D = (-16,2)^2 - 4 \cdot 61,2 = 262,44 - 244,8 = 17,64 = 4,2^2$$

$$f_0 = \frac{16,2 \pm 4,2}{2} = 8,1 \pm 2,1$$

Корни уравнения: 6 и 10,2. Проверим расстояние до изображения по формуле (*).

а) при $f_0 = 10,2$ шага

$$b_0 = \frac{8f_0}{f_0 - 8} = \frac{8 \cdot 10,2}{10,2 - 8} > 0$$

Этот результат удовлетворяет условию задачи.

б) при $f_0 = 6$ шагов

$$b_0 = \frac{8f_0}{f_0 - 8} = \frac{8 \cdot 6}{6 - 8} = \frac{48}{-2} = -24$$

Это не удовлетворяет условию — изображение находится не в Зазеркалье (как требуется по условию), а перед зеркалом. Более того, изображение находится дальше от зеркала, чем настоящая Алиса. Поэтому Алиса, глядя в зеркало, увидеть это изображение не сможет.

Ответ: фокусное расстояние кривого зеркала составляет 10,2 шага или 6,12 м.

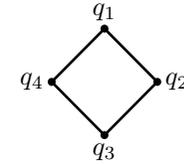
Примечание. Условие задачи можно понять и так, что зазеркальная Алиса «проходит» расстояние 12,5 шагов, приближаясь при этом к настоящей Алисе на 13,5 шагов — с учётом того, что сама настоящая Алиса делает 1 шаг вперёд (по направлению к зеркалу). Такое понимание условия приводит к уравнению

$$11,5f_0^2 - 187,5f_0 + 700 = 0$$

(f_0 — фокусное расстояние зеркала, выраженное в шагах Алисы)

Это уравнение имеет корни $\approx 5,788$ (не удовлетворяет условию) и $\approx 10,516$ (удовлетворяет условию).

7. (9–11) Четыре точечных электрических заряда связаны четырьмя нитями одинаковой длины в «бусы». В состоянии равновесия эта конструкция образует квадрат (см. рисунок). Обязательно ли все четыре заряда одинаковые?



Ответ. Нет, не обязательно.

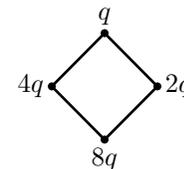
Решение 1. Контрпример можно построить следующим образом. Возьмём любые 4 различных положительных заряда, такие, что каждый заряд отличается по величине от всех остальных.

Соберём из этих зарядов «бусы» в соответствии с условием задачи.

Если получился квадрат — задача решена. Если нет, то есть получился ромб, возьмём один из зарядов на короткой диагонали ромба и будем постепенно его увеличивать. При этом сила взаимодействия этого заряда с противоположным (по диагонали) будет возрастать и конструкция в конце концов вытянется вдоль этой диагонали. То есть сначала это была короткая диагональ ромба, а потом она стала длинной. Значит, был момент, когда обе диагонали ромба были равны друг другу — то есть конструкция имела в этот момент квадратную форму. Поскольку все заряды были различными, то в результате изменения величины только одного заряда все они не могли совпасть.

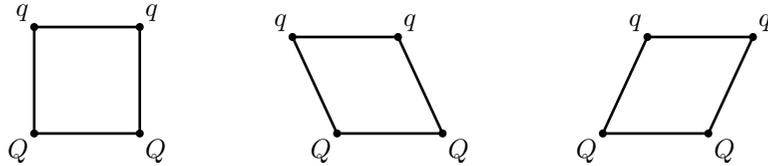
Решение 2. На равновесную форму конструкции никак не влияют силы взаимодействия между соседними зарядами, соединёнными нитями. Эти силы всегда компенсируются силами натяжения нити (для каждой пары зарядов — нить, соединяющая эти заряды).

Фактически для равновесной формы конструкции важны только силы взаимодействия между зарядами, расположенными по диагонали. Нужно обеспечить, чтобы, когда конструкция приобретает квадратную форму, сила взаимодействия между зарядами одной диагонали была равна силе взаимодействия между зарядами другой диагонали. Для этого достаточно равенства произведения величин зарядов, расположенных на одной диагонали, произведению величин зарядов на другой диагонали. Например, можно поместить заряды q и $8q$ на одной диагонали и $2q$ и $4q$ — на другой ($q > 0$).



Решение 3. Разместим на концах одной стороны квадрата одинаковые заряды Q , а на концах противоположной стороны квадрата — одинаковые заряды q , отличающиеся от Q (например, $Q > q > 0$).

В этом случае у системы будет два возможных варианта изменения формы (показанных на рисунке). Оба этих варианта эквивалентны друг другу, поэтому исходное состояние — положение равновесия. В этом положении система не сможет «выбрать» какой-либо вариант поведения из двух абсолютно эквивалентных, а потому останется в исходном состоянии.



Примечание. Некоторые участники турнира предлагали варианты с использованием зарядов разных знаков. Такие варианты не подходят — в этом случае заряды разных знаков просто притянутся друг к другу и конструкция не будет иметь форму квадрата³. Поэтому такие решения не считались правильными и не оценивались.

Если бы вместо нитей в условии задачи разрешалось использовать жёсткие стержни, то у задачи появились бы дополнительные решения с зарядами разных знаков.

8. (9–11) В результате радиоактивного распада атом разделился на две части, имеющие массы m_1 и m_2 и разлетающиеся в противоположные стороны. Суммарная кинетическая энергия разлетающихся частей равна E . Найти скорость части, имеющей массу m_1 . (Все величины определяются для инерциальной системы отсчёта, в которой распавшийся атом был неподвижен).

Решение. По закону сохранения импульса получившиеся части атома имеют равный по абсолютной величине импульс

$$p = m_1 v_1 = m_2 v_2$$

Кинетическая энергия выражается через импульс и массу следующим образом:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m \cdot mv^2}{2m} = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p^2}{2m}.$$

В нашем случае

$$E = E_1 + E_2 = \frac{p^2}{2m_1} + \frac{p^2}{2m_2} = \frac{p^2}{2} \cdot \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right).$$

Отсюда

$$p = \sqrt{2E / \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)}$$

³Заметим, что это утверждение не совсем очевидно — его ещё нужно обосновать.

$$v_1 = \frac{p}{m_1} = \frac{1}{m_1} \sqrt{2E / \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right)} = \frac{1}{m_1} \sqrt{\frac{2Em_1 m_2}{m_1 + m_2}} = \sqrt{\frac{2Em_2}{m_1^2 + m_1 m_2}} = \sqrt{\frac{2E}{m_2 + m_1} \cdot \frac{m_2}{m_1}}$$

(для удобства проверки мы выписали несколько эквивалентных вариантов записи ответа.)

9. (9–11) В длинной гладкой теплоизолированной трубе между двумя одинаковыми поршнями массы m каждый находится один моль одноатомного газа при температуре T_0 . В начальный момент поршни движутся со скоростями $3v$ и v навстречу друг другу. До какой максимальной температуры нагреется газ? (Поршни тепло не проводят, во всей остальной трубе — вакуум. Массой газа по сравнению с массой поршня можно пренебречь. Универсальную газовую постоянную R считать известной.)



Решение 1. Перейдём в систему отсчёта, в которой поршни движутся с одинаковыми по величине скоростями, то есть со скоростями $2v$ навстречу друг другу. Так как масса газа мала по сравнению с массой поршня, кинетическую энергию газа учитывать не будем.

Суммарная кинетическая энергия поршней в этой системе отсчёта равна

$$E_k = 2 \frac{m(2v)^2}{2} = 4mv^2$$

Внутренняя энергия идеального газа в этот момент равна $E_0 = \frac{3}{2} \nu RT_0$ (где $\nu = 1$ моль).

Ввиду симметрии системы (в данной системе отсчёта) поршни останавливаются одновременно, и в этот момент вся их кинетическая энергия перейдёт во внутреннюю энергию идеального газа. То есть

$$\frac{3}{2} \nu RT_{\max} = \frac{3}{2} \nu RT_0 + 4mv^2$$

$$T_{\max} = T_0 + \frac{8mv^2}{3\nu R}$$

Решение 2. В момент, когда температура газа максимальна, поршни движутся с одинаковой скоростью, то есть неподвижны друг относительно друга (иначе бы менялся объём газа, соответственно, температура также менялась бы и поэтому не могла бы быть максимальной в данный момент).

Найдём скорость в этот момент (обозначим её v_1) по закону сохранения импульса (массу газа не учитываем в соответствии с условием).

$$2 \cdot mv_1 = m \cdot 3v - mv = 2mv$$

$$v_1 = v$$

Суммарная кинетическая энергия поршней в этот момент

$$E_{к1} = 2 \frac{mv_1^2}{2} = 2 \frac{mv^2}{2} = mv^2$$

А в начальный момент суммарная кинетическая энергия поршней составляла

$$E_{к0} = \frac{mv^2}{2} + \frac{m(3v)^2}{2} = 5mv^2$$

Разность $E_{к0} - E_{к1} = 4mv^2$ как раз пошла на увеличение внутренней энергии газа. В результате получаем такое же уравнение, как и в первом решении

$$\frac{3}{2} \nu RT_{\max} = \frac{3}{2} \nu RT_0 + 4mv^2$$

$$T_{\max} = T_0 + \frac{8mv^2}{3\nu R}$$

Заметим, что фактически мы решили задачу о количестве теплоты, выделившейся при неупругом соударении двух тел. Поскольку скорости поршней стали одинаковыми, их можно соединить, и дальше они будут двигаться как единое целое. А «теплота», выделившаяся при таком неупругом «соударении», была целиком потрачена на нагревание идеального газа.

Решение 3. Поршни движутся с одинаковыми (по модулю) ускорениями, так как на них с одинаковыми силами действует один и тот же газ (его давление везде одинаково, площади поперечного сечения поршней также одинаковы и равны площади сечения трубки) и массы у них одинаковые. Поэтому скорости поршней в каждый момент времени отличаются от скоростей в начальный момент на одну и ту же величину.

Введём для этой величины обозначение u .

Кинетическая энергия поршней в момент времени, соответствующий изменению скоростей на величину u по сравнению с первоначальными значениями:

$$\begin{aligned} E &= \frac{m(v+u)^2}{2} + \frac{m(3v+u)^2}{2} = \frac{m}{2} ((v+u)^2 + (3v+u)^2) = \\ &= \frac{m}{2} (2u^2 + 8vu + 10v^2) = mv^2 \left(\left(\frac{u}{v} \right)^2 + 4 \frac{u}{v} + 5 \right) = \\ &= mv^2 \left(\left(\frac{u}{v} \right)^2 + 4 \frac{u}{v} + 4 + 1 \right) = mv^2 \left(\left(\frac{u}{v} + 2 \right)^2 + 1 \right) \end{aligned}$$

Из последнего выражения, полученного в результате преобразований, видно, что кинетическая энергия E поршней будет минимальна (а температура газа, соответственно, максимальна), когда $\left(\frac{u}{v} + 2 \right)^2 = 0$, то есть $E_{к1} = mv^2$.

Первоначальная кинетическая энергия поршней (при $u = 0$) была равна

$$E_{к0} = mv^2 \left(\left(\frac{0}{v} + 2 \right)^2 + 1 \right) = mv^2 (2^2 + 1) = 5mv^2$$

Разность $E_{к0} - E_{к1} = 4mv^2$ как раз пошла на увеличение внутренней энергии газа (и, соответственно, его температуры). В результате получаем такое же уравнение, как и в первом решении

$$\frac{3}{2} \nu RT_{\max} = \frac{3}{2} \nu RT_0 + 4mv^2$$

$$T_{\max} = T_0 + \frac{8mv^2}{3\nu R}$$

Ответ. $T_{\max} = T_0 + \frac{8mv^2}{3R \cdot 1 \text{ моль}}$

10. (9–11) Один учёный изучал электролиз воды и водных растворов солей. Он измерял зависимость силы тока через погруженные в воду два электрода от приложенного к этим электродам напряжения (то есть строил самую обычную вольт-амперную характеристику).

В качестве одного из электродов использовалась капля ртути. Оказалось, что чем эта капля меньше, тем более интересной получалась вольт-амперная характеристика.

Эти исследования оказались очень важным шагом в развитии науки, и через много лет учёный получил за них Нобелевскую премию.

Как вы думаете, что именно позволил изучать предложенный метод исследования и почему это оказалось столь важным? (Принимаются любые разумные и обоснованные ответы, не обязательно совпадающие с решением Нобелевского комитета о присуждении премии.)

Решение. Речь идёт о методе полярографии, разработанном чешским химиком Ярославом Гейровским в 1922–1925 годах. Эти исследования были отмечены Нобелевской премией по химии 1959 года.

Суть метода заключается в том, что при маленькой площади электрода (маленькая капля ртути) создаются геометрические препятствия для попадания носителей зарядов (ионов) из раствора на электрод. Ионы как бы «расталкиваются» друг друга. Поэтому вольт-амперная характеристика в существенной степени определяется именно процессами на электроде (капле ртути) и зависит от того, *какие* ионы присутствуют в растворе и *в каком количестве*.

Ртуть — достаточно инертное вещество, что позволяет избежать загрязнение раствора продуктами её электролиза.

Несколько упрощая ситуацию, можно сказать, что каждому типу ионов на вольт-амперной характеристике соответствует «ступенька», соответствующая напряжению, когда ионы этого типа смогли «протолкнуться» к поверхности капли ртути, «растолкав» другие ионы.

Конкретные параметры вольт-амперной характеристики (получившей в данном случае название полярограммы) могут меняться в зависимости от конфигурации электродов, расстояния между ними, температуры раствора и т. п., но *форма* графиков для раствора одного и того же состава оказывается сходной (так как она определяется именно процессами на поверхности капли ртути), «ступеньки», располагающиеся в определённой последовательности, точно соответствуют типам ионов в растворе.

Такой метод анализа позволяет получать информацию о составе раствора практически моментально, обладает высокой точностью и чувствительностью, позволяет работать с небольшими количествами вещества, практически не влияет на состав проанализированного раствора (тем самым позволяя наблюдать за ходом процесса, а не только анализировать конечный результат), позволяет определить наличие в растворе всех имеющихся типов ионов (а не только проверить наличие предполагаемых заранее).

Появление в арсенале химиков (а также физиков, биологов, медиков) таких возможностей позволило выполнить большое количество принципиально новых научных исследований, недоступных ранее, а также уточнить уже имеющиеся результаты.

Критерии проверки

Каждая задача проверяется отдельно (на оценку данной задачи решения других задач никак не влияют). За каждую задачу в соответствующем столбце таблицы и в той строчке, которая вам досталась, нужно поставить одну из оценок⁴:

+! + +. ± +/2 ∓ - - 0

(Если таблицы на обложке работы по каким-то причинам нет — нарисуйте сами или приклейте стандартную наклейку.)

Если в работе **нет никакого текста по данной задаче** — за эту задачу ставится оценка «0». Если «0» уже стоит в предыдущих строчках — решение всё равно нужно поискать (а не проставлять «0» автоматически; иногда решения находятся только со второго раза, а иногда и позже).

Если **задача решена верно** (это решение может быть как похожим на приведённое здесь, так и совершенно оригинальным; главное, чтобы оно было грамотным с научной точки зрения и давало ответ на поставленный в задании вопрос) — за него ставится оценка «+». Грамотность, содержательность, оригинальность решения можно отмечать оценкой «+!» (если такая оценка поставлена, то дальнейшие недочёты не отмечаются, впрочем, если есть серьёзные недочёты, то нужно подумать, стоит ли вообще ставить «+!»). Мелкие недочёты отмечаются оценкой «+», а более серьёзные проблемы — оценкой «±». Не имеет значения, как именно «оформлен» пробел в решении — школьник ошибся, просто пропустил логически необходимый фрагмент решения или явно указал («признался»), что он что-то не обосновывает.

Оценка «+/2» ставится, если **школьник продвинулся на пути к верному решению примерно наполовину**. Это последняя оценка, которая содержательно учитывается при подведении итогов.

⁴Одна из основных целей подробной шкалы оценок — «обратная связь» со школьниками — почти все они узнают свои оценки. Поэтому оценки нужно выбирать внимательно, даже тогда, когда выбор не влияет на итоговый результат. По этой же причине нужно оценивать в основном физику (и математику в той мере, в какой она необходима для решения конкретной задачи). Грамматические ошибки **никак не учитываются**. За опiski в формулах оценка по возможности ставится «+» (но если это дальше привело к серьёзным проблемам — ставится более низкая оценка, тут ничего не поделаешь). За арифметические ошибки (при верном подходе к решению) в основном ставится «+» или «±» в зависимости от серьёзности последствий. Если задача была именно на вычисления и в результате проблем с этими вычислениями получен принципиально неверный ответ — за это обычно ставится «+/2».

Форма записи условия (а также его отсутствие), а также форма записи решения никак не должна влиять на оценку.

За верно угаданный (без дополнительных разъяснений) ответ из двух очевидных вариантов ставится «∓», из трёх и больше вариантов — «+/2»

Зачёркнутое верное решение учитывается также, как незачёркнутое.

Особенно внимательно относитесь к «ляпам» младших (≤ 7 класса) школьников, которые только начали учиться физике (или даже ещё не начинали). Не судите их за это строго. Если понятно, что именно хотел сказать ребёнок, и это правильно — ставится «+».

Оценка «+» ставится, если решение неверно, но сделан хотя бы один логический шаг в любом верном направлении. (В частности, во многих таким шагом в верном направлении будет наличие верного ответа.)

Оценка «-» ставится, если школьник на пути к решению с места не сдвинулся, но упомянул что-то, что на этом пути может пригодиться.

Оценка «-» ставится, если в решении не содержится абсолютно никаких полезных для решения сведений, новых по сравнению с условием (обратите внимание: только данные из условия, но переписанные в определённом логическом порядке, могут быть частью верного решения, за что ставится оценка выше, чем «-»).

Алгоритм проверки

Каждая работа проверяется последовательно **три** раза разными людьми.

Все отметки в работах делаются только красной ручкой! Это необходимо для того, чтобы можно было отличить текст автора работы от записей, сделанных во время проверки.

Первая проверка. Проверяющий внимательно читает каждую задачу и выставляет оценки в соответствии с их общим смыслом, изложенным в разделе «Критерии оценок».

В случае нескольких возможных оценок ставится та, которую данный проверяющий считает наиболее подходящей. Суть дела при этом кратко выписывается на отдельный листочек. (Эти листочки отдаются или посылаются старшему по проверке и затем используются при составлении критериев.)

Если во время проверки в каком-то решении пришлось долго разбираться — подчеркните красной ручкой нужное место и при необходимости напишите в работе краткое пояснение. Это сэкономит силы и время при последующих проверках и возможных апелляциях по этой работе.

Вторая проверка. Проверяющий читает каждую задачу и составляет своё мнение об оценке, которую за эту задачу нужно поставить, руководствуясь общим смыслом оценок, уже составленными к этому моменту конкретизированными критериями и опытом предшествующей проверки работ.

В случае расхождения оценки с оценкой, поставленной на первой проверке — по возможности разобраться в причинах расхождения (в том числе ориентируясь на пометки в работе, сделанные предыдущим проверяющим). В итоге поставить оценку, соответствующую своему окончательному мнению.

Ещё раз убедиться в отсутствии тех задач, которые были признаны отсутствующими на первой проверке: иногда решения пишутся в «укромных» местах работы (например, отделяются от основной части работы «чистыми» листами), для «маскировки» решения могут не отмечаться номерами заданий или номера могут быть перепутаны.

Обязательно читается черновик. При нахождении там верных фрагментов решения какой-либо задачи их нужно учесть при выставлении оценки

(даже если в чистовике на них нет явных ссылок или в чистовике данная задача вообще не записана). Учёт черновика при этом может только улучшить, но не ухудшить оценку.

Третья проверка. В этот момент принимается окончательное решение об оценках (которое потом может быть изменено только на апелляции).

За третью проверку рекомендуется браться только тем, кто уже проверил много работ по первому и второму разу и имеет достаточный опыт.

Алгоритм действий на третьей проверке следующий:

1) Если результаты первых двух проверок совпадают — бегло просмотреть решение и в случае отсутствия сомнений и нестандартных вещей проставить такую же оценку.

2) Если результаты первых двух проверок близки (например, «+» и «±»), причина расхождений очевидна и оценка не вызывает сомнений — выбрать из двух близких оценок наиболее подходящую со своей точки зрения и поставить её.

3) Во всех остальных случаях — перепроверить решение, используя предыдущие оценки и пометки только в качестве подсказок.

Внимательно относитесь к работам маленьких школьников!

Следите, чтобы их в принципе верные ответы, по формулировкам соответствующие возрасту (и потому они могут быть нестандартными и оригинальными, одни словом «детскими») не потонули в хитросплетениях критериев, написанных для старшеклассников. Если видно, что такое получилось — поставьте разумные оценки.

Критерии по отдельным задачам

Задача 1. Поскольку задача качественная и не привязана к конкретным объектам (дома, окна и их освещённость могут быть самыми разными), для неё нет строгих критериев.

Ценными мыслями, являются следующие (за каждую из них в отдельности ставится «+ /2», а за наличие сразу нескольких, из которых складывается решение — соответственно, больше).

«+ /2» — происходит многократное переотражение света.

«+ /2» — на каждом переотражении теряется часть интенсивности.

«+ /2» — свет в окно проходит, а от стены отражается.

«+ /2» — траектория распространения света.

«+ /2» — освещённость в квартире меньше, чем на улице.

В младших классах (< 9) требования к строгости решения более мягкие, чем в старших.

«-.» — Разница между освещённостью пола и потолка комнаты («свет падает на пол комнаты, но мы через окно пол не видим») в данном случае не очень принципиальна. Действительно, если смотреть на окна в направлении «сверху вниз» с верхнего этажа на окна нижних этажей соседнего здания, мы скорее всего не заметим, что окна нижних этажей светлее, чем верхних.

Задача 2.

«±» — верный ответ (1,5 м/мин) без обоснования.

«±» — обоснования, верные до определённого момента, а затем — ошибка и получение неверного ответа.

«+ /2» — получение верного ответа с использованием интуитивно верных, но нестандартных рассуждений и нестандартной терминологии (например, «скорость очереди в целом», где эта скорость не равна скорости людей в очереди) — в случае, когда такое решение невозможно переформулировать в решение в стандартной форме.

«-.» — упоминание без пояснений величин, имеющих отношение к правильному решению («0,5», «6» и т. п.).

«+ /2» — 0,5 метра на одного человека в очереди.

«+ /2» — «расстояние 0,5 метров».

«+ /2» — вычисление величины типа «скорость очереди в целом» с последующим «умножением на людей» с правильным ответом.

Задача 3.

«+ /2» — идея, что листья и травинки отбрасывают тени друг на друга (многоярусная система из листьев).

«±» — неровность леса.

«±» — необходимое условие наблюдений — заметная разность освещённостей («поглощение» тёмным асфальтом любых пятен).

«+» — описание механизма, создающего разность наблюдаемых освещённостей в разных местах поверхности земли.

Задача 4. Схема может быть представлена любым разумным способом — в стандартных условных обозначениях, в виде картинки или описана словами.

Оценивается содержательное соответствие схемы условию задачи. За формальные расхождения с условием (например, вместо источника питания на схеме указаны клеммы для его подключения) оценка не снижается.

«+» — любая работающая в соответствии с условием задачи схема. Доказательство правильности работы не требуется. Оптимальность схемы не требуется (схема может содержать лишние элементы, не влияющие на правильность её работы).

«±» — есть идея резервирования выключателей (в частности, их параллельное соединение), но нет примера правильно работающей схемы.

«-» — два или несколько последовательно соединённых выключателей и всё.

«-» — короткое замыкание, источник питания и/или лампочка с тремя выводами (или больше 3, а также только 1), незамкнутая схема, бессмысленная схема.

Задача 5.

«±» — рассуждения, не учитывающие зависимость силы Архимеда от положения кубика.

«±» — рассуждения, не учитывающие потенциальную энергию воды.

«+ /2» — верные рассуждения, из которых непонятно, как получить ответ.

«±» — указан способ получения ответа (приведено верное квадратное уравнение или конструкция с вычислением площадей под графиком или что-либо аналогичное), но сам ответ не получен.

Задача 6.

«-.» — формула тонкой линзы (со знаками как для линзы).

«±» — модификация формулы тонкой линзы для зеркала (со знаками как для зеркала и/или с указанием, чем в этом смысле зеркало отличается от линзы).

«±» — уравнение с подставленными величинами (например, шагами).

«+ /2» — квадратное уравнение без отбора корней.

Больше «+ /2» — только при грамотно отобранных корнях.

Задача 7.

«-» — «Да.»

«±» — «Нет.» (верный ответ без объяснений)

«+ /2» — нити компенсируют взаимодействие соседних зарядов.

«+ /2» — для формы конструкции важно только взаимодействие зарядов по диагоналям.

«±» — верный пример (например, «1, 2, 4, 8») без пояснений.

«-» — неверный пример (в частности, использование зарядов разных знаков).

Задача 8.

« \mp » — только один закон сохранения.

« $+/2$ » — оба закона сохранения.

« \mp » — решение, содержащее операции с некорректной размерностью (если только это не описка).

Задача 9.

« $+/2$ » — идея перехода в удобную систему отсчёта.

« $+/2$ » — идея рассмотрения процесса как неупругого соударения поршней.

« \mp » — вся энергия поршня переходит в энергию газа.

« \mp » — идея применения законов сохранения без последующего верного решения.

« $+/2$ » — идея применения законов сохранения и не доведённое до конца решение.

Потеря $3/2$ или других коэффициентов понижает оценку.

Задача 10. Правильный ответ должен содержать ответ на вопрос «Что именно позволил изучать предложенный метод исследования?», то есть должен быть назван объект исследования и исследуемые характеристики, и должно быть очевидно или понятно из пояснений школьника:

1) что информацию об указанных характеристиках указанного объекта действительно можно получить из описанного в условии задачи эксперимента;
2) что возможность проведения такого исследования и/или полученные результаты важны для развития науки (настолько, что за них можно получить Нобелевскую премию).

« $+$ » — химический состав электролита (отдельные ионы в электролите).

« $+/2$ » — зависимость ВАХ от площади поверхности.

« $+/2$ » — изучение механизмов проводимости раствора.

« $+/2$ » — понимание уровня развития физики в описываемое время.

« \mp » — соображения о химической инертности ртути (отсутствие загрязнения раствора продуктами её электролиза).

« $-$ » — определение размеров капельки ртути, проводимости ртути и т. п. (определение этих величин не является исключительно важным для развития науки).