

Конкурс по физике. Решения. Критерии.

В скобках после номера задачи указаны классы, которым эта задача рекомендуется. Ученикам 7 класса и младше достаточно решить одну «свою» задачу, ученикам 8–10 классов — две «своих» задачи, ученикам 11 класса — три «своих» задачи. Можно решать и задачи старших классов.

1. (6–9) Почему чайный пакетик, если его залить кипятком — обычно всплывает, а если опустить в кипяток — обычно тонет? В чём разница?

Объяснение. Чайный пакетик сделан из пористого материала. В этом материале очень много маленьких дырочек — чтобы пропускать кипяток внутрь пакетика и заваренный чай обратно из пакетика в стакан.

Ни одной более крупной дырочки в пакетике быть не должно — иначе будет просыпаться заварка. А пакетик как раз нужен для того, чтобы чайинки не попали в чай и не просыпались ещё раньше.

Сухой чайный пакетик хорошо пропускает воздух через те же маленькие дырочки, предназначенные для воды.

А через мокрые стенки пакетика воздуху пройти намного труднее — все маленькие дырочки уже заняты водой.

Под водой воздух собирается в пузырьки. Пузырёк целиком в маленькую дырочку в стенке пакетика не поместится. (Конечно, его можно «продавить», например, прижав пакетик к стенке чайной ложкой.)

Если пакетик лежит на дне стакана и сверху льют кипяток — вся поверхность пакетика сразу оказывается мокрой. Весь воздух, который был внутри, так там и останется. Именно из-за воздуха внутри такой пакетик и плавает.

Когда мы опускаем пакетик в чай, вода в него проникает снизу, занимая место воздуха, который может свободной выходить сверху, где стенки пакетика пока ещё сухие.

Чтобы разобраться в том, что и как происходит с чайными пакетиками, лучше не читать приведённое описание, а поставить эксперимент с настоящими пакетиками.

И ещё замечание. Так, как описано, пакетики ведут себя обычно. Конечно, могут быть и исключения. Например, если залитый пакетик случайно окажется дырявым. Кроме того, жюри имело ввиду чайные пакетики, привычные для московских и российских школьников. А вообще чайные пакетики могут выглядеть и вести себя самым экзотическим и непривычным образом. Например, «чайный пакетик» в виде сеточки с крупными кусками чайного листа внутри не подходит под описание задачи и почти всегда будет тонуть, так как воздуху там удержаться негде.

2. (6–9) По расписанию поезд должен проехать участок железной дороги со скоростью 60 км/ч. Поезд опаздывает на 5 минут. Рассчитайте, сколько километров машинисту нужно проехать со скоростью 70 км/ч, чтобы ликвидировать опоздание.

Решение. Двигаясь со скоростью 60 км/ч и отставая на 5 минут, поезд находится от того места, где он должен был бы сейчас быть по расписанию, на расстоянии

$$5 \text{ мин} \cdot 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 5 \cdot 60 \frac{\text{мин} \cdot \text{км}}{\text{ч}} = 5 \cdot \frac{60 \text{ мин}}{\text{ч}} \cdot \text{км} = 5 \text{ км}$$

(в одном часе — 60 минут).

За один час разница пройденного расстояния со скоростями 70 км/ч и 60 км/ч составит, очевидно, 10 км. А поезду нужно «нагнать» только 5 км, что случится за полчаса. За это время поезд со скоростью 70 км/ч проедет расстояние

$$0,5 \text{ ч} \cdot 70 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 35 \text{ км}$$

Ответ. Поезду, чтобы «нагнать» расписание, нужно проехать расстояние 35 км.

3. (7–11) Мышка, Кошка и Жучка умеют бегать по плоскости с постоянной скоростью, причём Кошка бежит быстрее Мышки, а Жучка — быстрее Кошки. Кошка всё время бежит по направлению на Мышку, а Жучка — по направлению на Кошку.

Первоначально Мышка, Кошка и Жучка сидят на одной прямой линии, (Кошка — между Жучкой и Мышкой). Известно, что если Мышка будет убегать от Кошки вдоль этой прямой линии, никуда не сворачивая, то Кошка поймает Мышку раньше, чем Кошка догонит Жучку.

Может ли так получиться, что Мышка, убегая более хитрым способом, сумеет сделать так, что Кошка встретится с Жучкой раньше, чем поймает Мышку? Объясните, почему.

Ответ. Да, такая ситуация возможна.

Решение. Понятно, Мышке нужно ускорить встречу Кошки с Жучкой по сравнению с вариантом убегания по прямой.

Подберём параметры задачи так, чтобы последующее решение было легко придумать и объяснить.

Посадим Кошку на очень маленьком расстоянии от Мышки. Пусть разница скоростей Кошки и Мышки тоже будет очень маленькая. То есть по условиям задачи у Мышки будет «хвост» в виде кошки, фактически повторяющий все движения самой Мышки. И так до тех пор, пока Кошка Мышку не поймает. Но из-за маленькой разности их скоростей это случится не сразу.

Посадим Жучку очень далеко от Кошки с Мышкой. А скорость Жучки сделаем такой, чтобы в случае движения всех зверей вдоль прямой линии Жучка, Кошка и Мышка встретились бы почти одновременно (Жучка с Кошкой — чуть-чуть позже, чем Кошка с Мышкой, как это требуется по условию.)

Теперь опишем нужный пример. Мышка начинает бежать в направлении от Кошки и тут же начинает разворот по окружности на 180

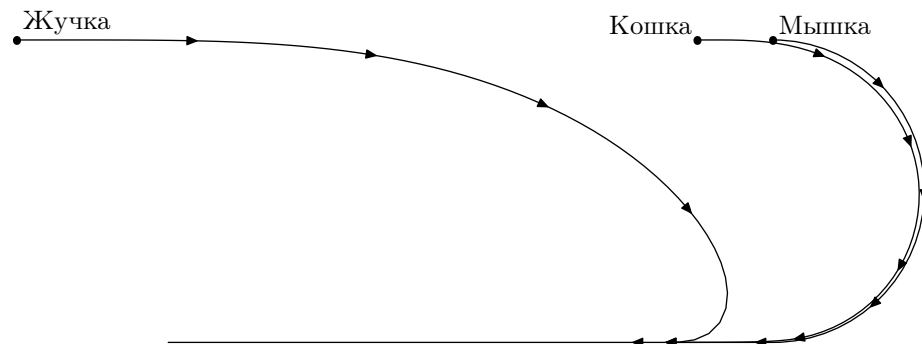
градусов. Радиус разворота должен быть намного больше чем расстояние Кошка—Мышка. Поэтому в результате разворота расстояние Кошка—Мышка будет не сильно меньше, чем в случае погони по прямой, продолжавшейся такое же время.

В то же время радиус разворота нужно выбрать существенно меньше, чем расстояние от места разворота до Жучки. То есть с точки зрения Жучки получается, что Мышка развернулась практически на месте и теперь бежит прямо на Жучку. А за Мышкой — Кошка.

В этой ситуации Кошка встретится с Жучкой раньше, чем с Мышкой. В самом деле, скорость Жучки была подобрана так, чтобы все животные встретились почти одновременно в случае, когда Жучка и Кошка бегут в одном направлении. Когда же они бегут навстречу друг другу с теми же скоростями — времени от начала движения до момента встречи пройдёт меньше.

Мышка же к моменту встречи не будет поймана Кошкой, как мы выяснили выше — потому, что в этих условиях зависимость расстояния Кошка—Мышка от времени будет почти такой же, как и в случае погони вдоль прямой линии.

На рисунке приведена схема «погони». Первоначально Жучка, Кошка и Мышка расположены на координатной оси Ox в точках с координатами 0, 9 и 10 соответственно. Скорости животных выбраны пропорционально числам 1,441, 1,045 и 1 соответственно. Мышка сначала разворачивается по полукругу диаметра 4, а затем бежит по прямой.



Стрелочки на каждой траектории поставлены через одинаковые интервалы времени. Поскольку по условию догоняющий всегда бежит точно по направлению к тому, кого он догоняет, соответствующие друг другу стрелочки также указывают друг на друга.

Для наглядности соотношения между некоторыми геометрическими параметрами сильно преувеличены по сравнению с оговоренными в решении задачи.

На всякий случай убедимся, что выбранные координаты и скорости соответствуют условию: Мышку, если она будет убежать по прямой, Кошка поймает раньше, чем Жучка Кошку. Чтобы определить условное «время»

поймки, мы разделим первоначальное расстояние между тем, кого ловят, и тем, кто ловит, на разницу их условных скоростей

$$\text{Кошка—Мышка: } \frac{10 - 9}{1,045 - 1} = \frac{1}{0,045}$$

$$\text{Жучка—Кошка: } \frac{9 - 0}{1,441 - 1,045} = \frac{9}{0,396} = \frac{1}{0,044} > \frac{1}{0,045}$$

4. (8–11) В карманных механических часах основной механизм, обеспечивающий точный отсчёт равных интервалов времени («механизм спуска») представляет собой подпружиненный поворотный маятник, который должен поворачиваться вокруг своей оси туда-обратно.

С целью увеличения точности хода часов применяется на первый взгляд неожиданное техническое решение — «механизм спуска» крепится не к корпусу часов, а к той же шестерёнке, к которой прикреплена секундная стрелка. Почему это увеличивает точность хода?

Решение. Если ось поворотного маятника (вокруг которой он поворачивается туда-обратно) проходит точно через его центр масс (через центр масс детали, совершающей эти колебания), то период колебаний не будет зависеть от ориентации часов в пространстве.

Но точно изготовить поворачивающуюся деталь с расположением её центра масс на оси вращения трудно. А в случае отклонений период колебаний маятника (и скорость хода часов) будет зависеть от ориентации маятника в пространстве.

Если центр масс поворотного маятника окажется ниже его оси вращения, из-за наличия силы тяжести на маятник будет действовать дополнительная возвращающая сила (как у обычного маятника: поворотный маятник окажется как бы «подвешенным»). В результате наличия возвращающей силы период колебаний будет меньше и часы будут ходить быстрее.

Если, наоборот, часы положить так, что центр масс поворотного маятника окажется выше оси вращения, период колебаний будет больше (из-за дополнительной «отклоняющей» силы, обусловленной действием силы тяжести), скорость хода часов замедлится.

Очевидно, не очень хорошо, когда скорость хода часов зависит от того, на какой бок их положили.

Описанное в задаче решение как раз и устраняет этот недостаток. Секундная стрелка вместе со своей ведущей шестерёнкой делает один оборот в минуту. Если положение этой шестерёнки оказалось вертикальным или наклонным, вертикальная ориентация поворотного маятника будет также меняться раз в минуту. И работа часового механизма не будет зависеть от того, как именно расположены часы.

Описанная система носит название «турбийон». Турбийон впервые сконструировал и запатентовал в 1795–1801 годах французский часовщик швейцарского происхождения Абрахам-Луи Бреге (1747–1823). В современных

условиях детали часового механизма можно изготовить с достаточной точностью, не требующей компенсации с помощью турбийона или аналогичных механизмов. Но часы с турбийоном по-прежнему выпускаются — как дань традиции. Как и вообще механические часы, уступившие свои позиции электронным часам, мобильным телефонам, компьютерам и прочим электронным устройствам, показывающим время.

5. (9–11) В космосе вдали от других тел находятся три одинаковых маленьких шарика с массами m и зарядами q каждый. Шарiki скреплены попарно тремя невесомыми и нерастяжимыми нитями одинаковой длины L . Система находится в покое. Неожиданно одна из нитей рвётся. С какими по величине ускорениями начнут двигаться шарiki сразу после обрыва нити?

Решение. При небольших (в сравнении с длиной целой нити L) смещениях от прежнего положения равновесия шарiki, можно считать, движутся с постоянными ускорениями. При этом проекции скоростей пар шариков на нить, которая их соединяет, должны быть одинаковыми, так как нить нерастяжима. Если шарик, к которому прикреплены две оставшиеся целыми нити, сместился вдоль биссектрисы угла, образованного оставшимися целыми нитями, на небольшое расстояние $x \ll L$, то проекции смещений двух других шариков на соответствующие нити должны быть равны $x \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}x$.

Смещения же у этих крайних шариков в направлениях перпендикулярных соответствующим нитям должны быть такими, чтобы центр масс всей системы шариков остался на прежнем месте. Соответственно, на прежнем месте должна остаться и проекция центра масс на направление смещения центрального шарика. Отсюда получается связь:

$$mx + 2mx \cos^2 30^\circ - 2my \sin 30^\circ = 0$$

$$mx + 2mx \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 - 2my \frac{1}{2} = 0$$

$$mx + 2mx \frac{3}{4} - 2my \frac{1}{2} = 0$$

$$x + \frac{3}{2}x - y = 0$$

$$y = \frac{5}{2}x$$

Полное смещение крайних шариков складывается из двух: смещения вдоль первоначального направления нити и смещения поперёк этого направления:

$$\sqrt{(x \cos 30^\circ)^2 + y^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}x}{2}\right)^2 + \left(\frac{5x}{2}\right)^2} = x \sqrt{\frac{3}{4} + \frac{25}{4}} = x \sqrt{\frac{28}{4}} = x\sqrt{7}.$$

Таким образом, модули полных смещений крайних шариков в $\sqrt{7}$ раз больше модуля смещения среднего шарика. Во столько же раз отличаются и ускорения, с которыми сразу после разрыва нити движутся шарiki.

Увеличение расстояния между крайними шариками при этом равно:

$$\Delta L = 2(y \cdot \cos 30^\circ + (x \cos 30^\circ) \cdot \cos 60^\circ) =$$

$$\Delta L = 2\left(\frac{5}{2}x \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + x \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2}\right) = 5x \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} + x \frac{\sqrt{3}}{2} = 3\sqrt{3}x.$$

Потенциальная энергия системы уменьшилась примерно на:

$$\Delta E = F \cdot \Delta L = k \frac{q^2}{L^2} \cdot \Delta L = k \frac{q^2}{L^2} \cdot 3\sqrt{3}x$$

Обозначим скорость, приобретённую средним шариком к моменту, когда он сместился на x , символом v . Из закона сохранения энергии следует:

$$\frac{mv^2}{2} + 2 \frac{m(\sqrt{7}v)^2}{2} = \Delta E$$

$$\frac{mv^2}{2} + 2 \frac{7mv^2}{2} = k \frac{q^2}{L^2} \cdot 3\sqrt{3}x$$

$$\frac{15}{2} \cdot mv^2 = k \frac{q^2}{L^2} \cdot 3\sqrt{3}x$$

$$\frac{5}{2} \cdot mv^2 = \sqrt{3} \cdot k \frac{q^2}{L^2} x$$

$$v^2 = \frac{2\sqrt{3}}{5} \cdot k \frac{q^2}{mL^2} x$$

Известно, что скорость v , ускорение a и смещение x связаны соотношением:

$$v^2 = 2ax$$

Отсюда следует, что ускорение среднего шарика равно по величине:

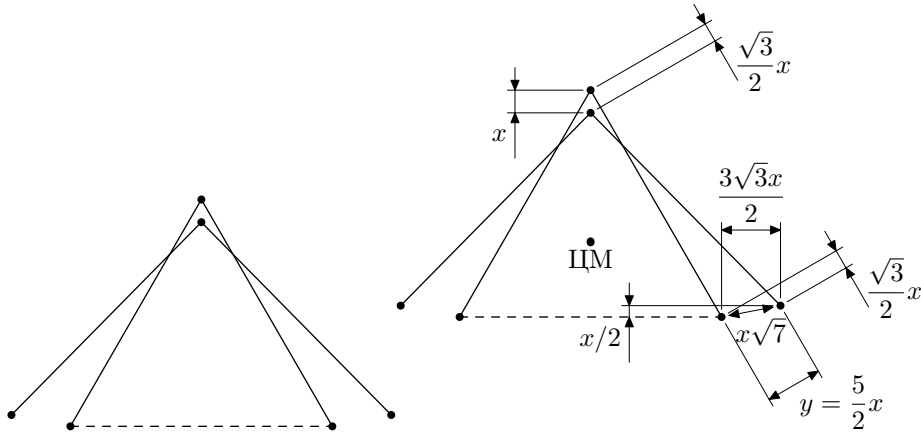
$$a = \frac{1}{2x} \cdot v^2 = \frac{1}{2x} \cdot \frac{2\sqrt{3}}{5} \cdot k \frac{q^2}{mL^2} x = \frac{\sqrt{3}}{5} \cdot k \frac{q^2}{mL^2}$$

Ускорения крайних шариков по модулю в $\sqrt{7}$ раз больше.

Ответ. Сразу после обрыва нити центральный шарик будет двигаться с ускорением, равным по величине $\frac{\sqrt{3}}{5} \cdot k \frac{q^2}{mL^2}$, а крайние шарiki — с ускорениями, равными по величине $\frac{\sqrt{21}}{5} \cdot k \frac{q^2}{mL^2}$.

Пояснение. На рисунке показаны описанные в решении задачи смещения шариков: наложены друг на друга исходная конфигурация и конфигурация после смещения центрального шарика на x .

Рисунок приведён в двух вариантах. Слева показаны только расположения шариков и нитей; этот рисунок для удобства восприятия геометрической картинке не содержит никаких пояснений. Справа — на таком же рисунке кроме того отмечены смещения шариков (и проекции этих смещений), которые упомянуты в решении и могут пригодиться для понимания и анализа решения.



Для наглядности на рисунке не выполнено соотношение $x \ll L$, в связи с чем картинка смещения шариков не полностью соответствует действительной: на рисунке выполнены условия равенства проекций смещений шариков на первоначальные направления нитей, в то время как на самом деле направления нитей меняются со временем и в каждый момент условие проекций определяется направлениями нитей в данный момент времени.

Другое решение. Задачу можно решить и «статическим» методом, не рассматривая малых перемещений. Для этого нужно аккуратно переформулировать данные условия в непривычной динамической ситуации.

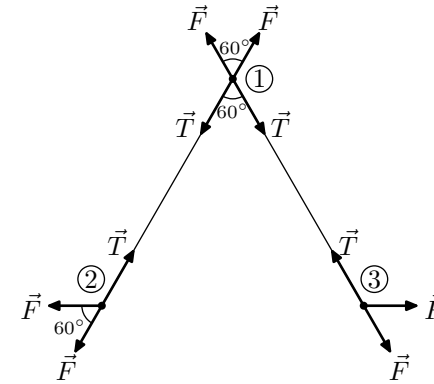
Например, нерастяжимость нити соответствует утверждению: «проекции ускорений концов нити на саму нить равны друг другу». В самом деле, если бы это было не так — у длины нити появилось бы «ускорение», равное разности ускорений концов, но длина нерастяжимой нити меняться не должна¹.

Рассмотрим участок нити в указанный условия задачи момент (разрыв нижнего участка нити произошёл, но положение шариков пока ещё не изменилось) между шариками, обозначенными на рисунке цифрами «1» и «2». Для его силы натяжения введём обозначение T .

Для силы попарного электростатического взаимодействия шариков (их заряды q , расстояние между ними L) введём обозначение $F = k \frac{q^2}{L^2}$.

¹Точнее, это условие неизменности длины проекции нити на направление нити в данный момент. Но, поскольку нить в первый момент неподвижна, этим же условием можно воспользоваться и для длины самой нити.

Мы допускаем ситуацию $T \neq F$. И по ходу решения именно так оно и окажется, хотя это и может показаться неожиданным.



Определим в соответствии со 2 законом Ньютона проекцию ускорения шарика «1» на направление «1»→«2» (напомним, это направление определяется по первоначальному положению шариков «1» и «2»):

$$(\vec{a}_1)_{12} = \frac{T - F + T \cos 60^\circ - F \cos 60^\circ}{m}$$

Определим проекцию ускорения шарика «2» на это же направление:

$$(\vec{a}_2)_{12} = \frac{F - T + F \cos 60^\circ}{m}$$

Эти проекции, как разъяснено выше, равны друг другу:

$$\frac{T - F + T \cos 60^\circ - F \cos 60^\circ}{m} = \frac{F - T + F \cos 60^\circ}{m}$$

$$T - F + T \cos 60^\circ - F \cos 60^\circ = F - T + F \cos 60^\circ$$

$$(2 + \cos 60^\circ)T = 2(1 + \cos 60^\circ)F$$

$$T = \frac{2(1 + \cos 60^\circ)}{2 + \cos 60^\circ} F = \frac{2 \left(1 + \frac{1}{2}\right)}{2 + \frac{1}{2}} F = \frac{3}{5/2} F = \frac{6}{5} F$$

Теперь, зная массу шариков и все действующие на них силы, мы можем найти требуемые в условии задачи ускорения (для векторного сложения сил применим теорему косинусов):

$$a_1 = \frac{\sqrt{(T - F)^2 + (T - F)^2 + 2(T - F)(T - F) \cos 60^\circ}}{m} =$$

$$= (T - F) \frac{\sqrt{2 - 2 \cos 60^\circ}}{m} = \left(\frac{6}{5} F - F\right) \frac{\sqrt{2 + 2(1/2)}}{m} = \frac{\sqrt{3}}{5} \cdot \frac{F}{m} = \frac{\sqrt{3}}{5} \cdot \frac{kq^2}{mL^2}$$

$$\begin{aligned}
a_2 &= \frac{\sqrt{(T-F)^2 + F^2 + 2F(T-F)\cos(180^\circ - 60^\circ)}}{m} = \\
&= \frac{F}{m} \sqrt{\left(\frac{T}{F} - 1\right)^2 + 1 + 2\left(\frac{T}{F} - 1\right)(-\cos 60^\circ)} = \\
&= \frac{F}{m} \sqrt{\left(\frac{6}{5} - 1\right)^2 + 1 - 2\left(\frac{6}{5} - 1\right)\frac{1}{2}} = \frac{F}{m} \sqrt{\frac{1}{5^2} + 1 - \frac{1}{5}} = \\
&= \frac{F}{5m} \sqrt{1 + 5^2 - 5} = \frac{\sqrt{21}}{5} \cdot \frac{F}{m} = \frac{\sqrt{21}}{5} \cdot \frac{kq^2}{mL^2}
\end{aligned}$$

Дополнение. Жюри не предполагало учёт в решении данной задачи гравитационного взаимодействия между шариками. Но довольно большое решавших задачу такое взаимодействие учитывали (возможно, их натолкнуло на эту мысль информация из условия о том, что дело происходит «в космосе»). В этом случае решение ничем принципиально не отличается. Поскольку и электростатические, и гравитационные силы имеют одинаковую зависимость $1/r^2$ от расстояния r , учёт гравитационных сил приведёт только к наличию дополнительного поправочного множителя в выражениях для силы взаимодействия между шариками. (А если силы гравитационного притяжения окажутся больше сил электростатического отталкивания, то этот множитель будет отрицательным, что несколько поменяет смысл задачи, не изменив при этом формальных вычислений.)

6. (10–11) Имеются два одинаковых незаряженных конденсатора и батарейка с ЭДС U . Из них разрешается собирать любые электрические схемы, и повторять сборку и разборку много раз. Как это не удивительно, с помощью последовательности таких действий можно зарядить один из конденсаторов до напряжения, сколь угодно мало отличающегося от $2U$. Как именно это нужно делать? Почему это приведёт к нужному результату?

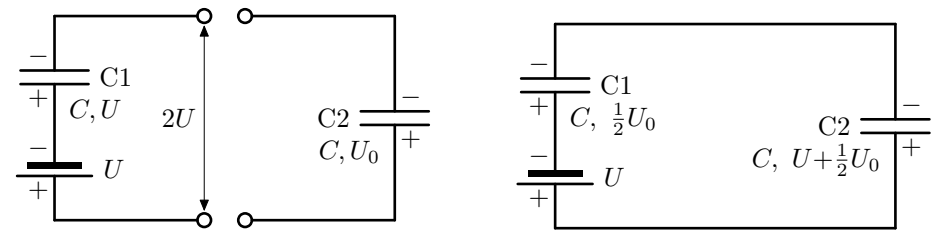
Решение. Основная идея понятна. Заряжаем один конденсатор от батарейки до напряжения U . Затем включаем заряженный конденсатор последовательно с батарейкой, получается «батарейка» с напряжением $2U$.

Теперь заряжаем от этой «батарейки» второй конденсатор. При этом, если ранее этот конденсатор был заряжен до напряжения менее $2U$, «батарейка» частично «разрядится» (за счёт разряда входящего в её состав конденсатора), её напряжение станет меньше $2U$. А напряжение на конденсаторе, наоборот, увеличится.

Теперь опять «сконструируем» батарейку с напряжением $2U$ и ещё подзарядим конденсатор.

Будем повторять описанный процесс многократно. После каждого раза напряжение на заряжаемом конденсаторе будет всё меньше и меньше отличаться от $2U$.

Теперь считаем всё аккуратно.



Имеется батарейка с ЭДС U и конденсатор $C1$ ёмкостью C , заряженный до напряжения U и подсоединённый к батарейке последовательно (с соблюдением полярности, то есть между свободными выводами батарейки и конденсатора напряжение $2U$).

Подсоединяем к этим свободным выводам конденсатор $C2$ ёмкости C , уже заряженный до напряжения $U_0 < 2U$ (полярность соединения обратная, такая, чтобы конденсатор дополнительно подзарядить).

Обозначим заряды, которые установятся на конденсаторах в собранной цепи после перераспределения и установления равновесия, q_1 и q_2 соответственно.

Первоначально конденсаторы имели заряды CU и CU_0 . Сумма этих зарядов сохранится, так как в схеме есть изолированный участок, содержащий обкладки двух конденсаторов с суммарным зарядом $CU + CU_0$. Отсюда получаем уравнение

$$q_2 + q_1 = CU + CU_0$$

Напряжения на конденсаторах выражаются через заряды: q_1/C и q_2/C . Разность этих напряжений должна компенсировать ЭДС батарейки U :

$$\frac{q_2}{C} - \frac{q_1}{C} = U$$

или

$$q_2 - q_1 = CU$$

Складываем полученные уравнения:

$$2q_2 = 2CU + CU_0$$

Отсюда

$$\frac{q_2}{C} = U + \frac{1}{2}U_0,$$

а это и есть установившееся напряжение на конденсаторе $C2$.

После повторения описанного действия ещё раз (с исходным напряжением $U + \frac{1}{2}U_0$ на конденсаторе $C2$) мы получим напряжение

$$U + \frac{1}{2} \left(U + \frac{1}{2}U_0 \right) = U + \frac{1}{2}U + \frac{1}{4}U_0$$

На следующей итерации:

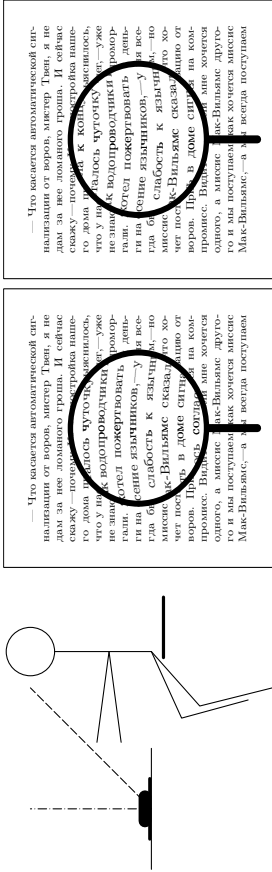
$$U + \frac{1}{2}U + \frac{1}{4}U + \frac{1}{8}U_0$$

и т. д.

Нетрудно понять, что в конце концов (после бесконечного количества повторений описанной операции) конденсатор C2 окажется заряженным до напряжения $2U$.

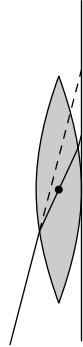
7. (10–11) На горизонтальном столе лежит лист бумаги с напечатанным текстом. На текст положили линзу (собирающую линзу).

За столом сидит человек и смотрит на текст через линзу. Поскольку линза лежит далеко от края стола, направление взгляда составляет с расположенной вертикально главной оптической осью линзы угол примерно 45° .



Человек видит, что изображение текста в лупе немного искажается и строчки «выгибаются вверх» (рисунок слева). Объясните, почему именно «вверх», а не «вниз» («неправильный» рисунок справа).

Объяснение. Рассмотрим луч, проходящий через центр лупы. Направление этого луча не меняется, что соответствует приближению тонкой линзы. Ног этот луч испытывает как бы «параллельный перенос» в пространстве. Участок изображения, которому этот луч соответствует, реально находится там, где этот луч пересекается с листом бумаги (горизонтальная линия). А наблюдателю кажется, что этот участок находится там, где лист бумаги пересекается пунктирной линией — продолжением части луча, идущей к наблюдателю.



Такой же эффект проявляется во всех других частях лупы (не только центральной), накладываясь на то изображение, которое должна была бы сформировать лупа в приближении тонкой линзы.

Чем меньше толщина участка линзы, формирующего какой-то участок изображения, тем меньше проявляются описанные искажения для этого

участка. В частности, края линзы (где толщина линзы минимальна) формируют свои участки изображения практически без отклонений (на тех же местах, где их должна была бы сформировать идеальная тонкая линза).

На рисунке некоторые геометрические параметры преувеличены по сравнению с реальными для большей наглядности.

8. (10–11) Молекула водорода может находиться в двух устойчивых состояниях, которые называются «орто» (спины ядер двух атомов в молекуле H_2 имеют одинаковое направление) и «пара» (спины имеют противоположное направление). Молекулы H_2 могут самопроизвольно обратимо перестраиваться, равновесное соотношение зависит от температуры:

| | | |
|-----------------------------|---|---|
| Конфигурация молекулы H_2 | Комнатная температура, атмосферное давление | 20,4 K (температура кипения H_2), атмосферное давление |
| «орто» | 75% | 0,2% |
| «пара» | 25% | 99,8% |

Газообразный водород комнатной температуры превратили в жидкий, охладив до $T_{\text{кипения}} = 20,4 \text{ K}$, и поместили в теплоизолированный сосуд со свободным удалением испаряющегося водорода при атмосферном давлении. Что произойдет с жидким водородом в сосуде: установится равновесная «орто»/«пара»-концентрация или водород полностью испарится?

Перестройка молекул «орто» \rightarrow «пара» идет с выделением тепла, удельная теплота этого процесса составляет $q = 719 \text{ кДж/кг}$, процесс протекает достаточно медленно. Считать, что удельная теплота испарения H_2 в этих условиях не зависит от состава смеси и равна $L = 447 \text{ кДж/кг}$, а различие молекул H_2 на процессе испарения никак не сказывается.

Решение. В случае преобразование какой-то части водорода из «орто»-конфигурации в «пара»-конфигурацию количество «орто»-водорода в сосуде, очевидно, уменьшится: часть «орто»-водорода превратилась в «пара»-водород, а потом ещё в результате выделения тепла часть «орто»-водорода испарилась.

А вот количество «пара»-водорода в сосуде в таком процессе может как уменьшиться, так и увеличиться. Это зависит от того, что будет больше: количество «пара»-водорода, образовавшегося в этом процессе, или количество «пара»-водорода, испарившегося в результате выделения теплоты в этом же процессе.

По условию различие молекул H_2 на процессе испарения никак не сказывается. Поэтому при выделении в сосуде какого-то количества теплоты количество испарившихся «орто»- и «пара»-молекул водорода будет пропорционально концентрации таких молекул.

Пусть в сосуде концентрация молекул параводорода среди всех молекул составляет α . Пусть в результате преобразование небольшого количества водорода из состояния «орто» в состояние «пара» выделилось количество теплоты Q . В этом случае образуется параводород в количестве Q/q и испарится параводород в количестве $\alpha Q/L$.

Найдём равновесную концентрацию, при которой параводорода испаряется столько же, сколько и образуется:

$$\frac{Q}{q} = \frac{\alpha Q}{L}$$

$$\alpha = \frac{L}{q} = \frac{447 \text{ кДж/кг}}{719 \text{ кДж/кг}} \approx 0,62$$

То есть мы выяснили, что пока концентрация параводорода не достигнет $L/q \approx 62\%$, весь водород испариться не сможет. Действительно, в начале у нас уже было 25% параводорода, и потом его количество только увеличивалось.

А когда концентрация параводорода $L/q \approx 62\%$ уже достигнута, запас теплоты преобразования, содержащийся в оставшемся ортоводороде (концентрация которого равна $1 - \alpha$) уже недостаточен, чтобы испарить весь имеющийся жидкий водород.

Действительно, если удельная теплота преобразования чистого ортоводорода равна q , то для смеси с концентрацией ортоводорода $(1 - \alpha)$ эта величина равна

$$q(1 - \alpha) = q \left(1 - \frac{L}{q}\right) = q - L$$

По данным условия

$$q - L = 719 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} - 447 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 272 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} < L = 447 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Ответ. В сосуде установится равновесная «орто»/«пара»-концентрация жидкого водорода, полного испарения водорода к этому моменту не произойдёт.

Комментарий. Более точный и аккуратный подсчёт показывает, что в сосуде должно остаться около 29% от первоначального количества жидкого водорода. (Ещё точнее подсчитывать бесполезно, т. к. в условии задачи учтены не все тонкости реального процесса.)

Водород достаточно широко используется в качестве ракетного топлива и сырья в химической промышленности. Описанное в задаче необычное поведение жидкого водорода при этом создаёт серьёзные проблемы. Ситуацию, когда примерно 70% произведённого жидкого водорода за первые дни хранения самопроизвольно испаряется (да ещё и создаёт взрывоопасную смесь с воздухом), нельзя признать удовлетворительной. Поэтому ортоводород обычно преобразуют в параводород с помощью катализаторов прямо в процессе производства жидкого водорода.

Критерии проверки

Напоминаем, что каждая задача проверяется отдельно. За каждую задачу в соответствующем столбце таблицы и в той строчке, которая вам досталась, нужно поставить одну из оценок (если таблицы по каким-то причинам нет — нарисуйте сами):

+! + +. ± +/2 ∓ - - 0

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.

Оценка ∓ ставится, если решение неверно, но сделан хотя бы один логический шаг в любом верном направлении.

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 -).

Одна 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 описки 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 \pm 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 $+/2$.

Разумеется, 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 \mp , 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 — ставьте +.

Алгоритм проверки

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

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 присылаются по e-mail 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. Тем, кто боится не справиться с этой работой, лучше вместо третьей проверки брать вторую. А опытным проверяющим, наоборот, рекомендуется активнее участвовать в третьей проверке, оставляя вторую для своих менее опытных коллег.

Алгоритм действий на третьей проверке следующий:

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

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

Во время третьей проверки проверяющий также наводит в пачке работ порядок!

Работы должны лежать по номерам (проставленным нумератором), табличками с оценками наверх, строчка верных оценок должна быть быть последней, а в ней — ровно восемь чётко написанных оценок.

На обложке пачки должно быть написано её происхождение (школа, вуз, город), количество работ по классам, фамилии всех трёх проверяющих, слово «ПРОВЕРЕНО» и дата окончания проверки. Если чего-то из этого отсутствует — по возможности выяснить и написать.