Конкурс по физике. Решения и ответы. Версия 14.10.2009.

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 чаинки 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 бегает 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 Кошку догонит Жучка.

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.)

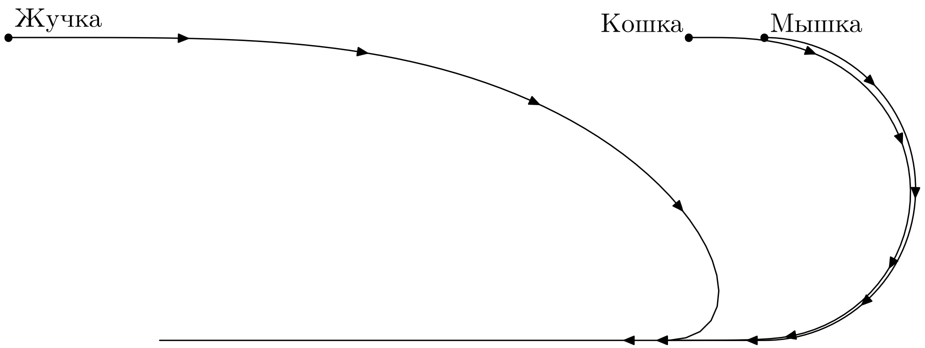
Теперь опишем нужный пример. Мышка начинает бежать в направлении от Кошки и тут же начинает разворот по окружности на 180 градусов. Радиус разворота должен быть намного больше чем расстояние Кошка—Мышка. Поэтому в результате разворота расстояние Кошка—Мышка будет не сильно меньше, чем в случае погони 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 убегать по прямой, Кошка поймает раньше, чем Жучка Кошку. Чтобы определить условное «время»

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

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

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

---

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. Шарики скреплены попарно тремя невесомыми и нерастяжимыми нитями одинаковой длины L. Система находится в покое. Неожиданно одна из нитей рвётся. С какими по величинам ускорениями начнут двигаться шарики сразу после обрыва нити?

Решение. При небольших (в сравнении с длиной целой нити L) смещениях от прежнего положения равновесия шарики, 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 шарики.

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:

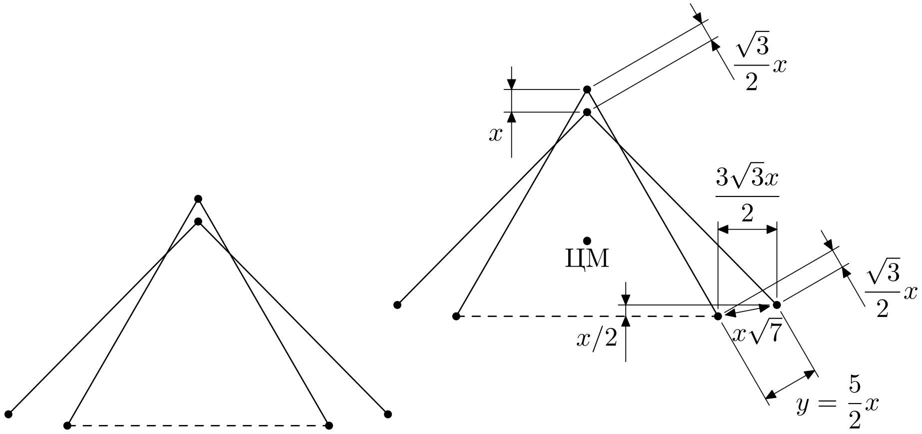
$$a = \frac{1}{2x}\cdot v^2 = \frac{1}{2x}\cdot\frac{2\sqrt{3}}{5}\cdot k\frac{q^2}{mL^2}x = \frac{\sqrt{3}}{5}\cdot k\frac{kq^2}{mL^2}$$

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

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

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 картинки 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 выполнено 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.

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?

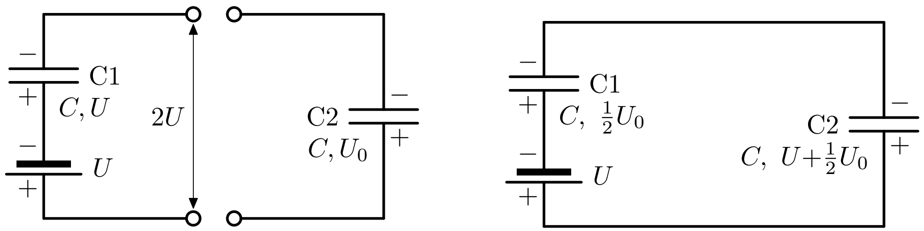
Решение. Основная идея понятна. Заряжаем один конденсатор от батарейки до напряжения U. Затем включаем заряженный конденсатор последовательно с батарейкой, получается «батарейка» с напряжением $2U$.

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 посчитаем 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:

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

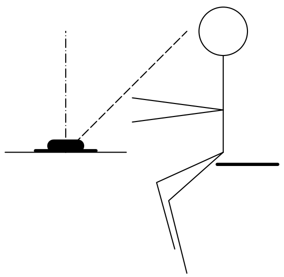
и т. д.

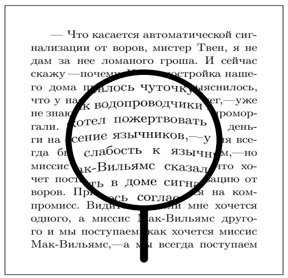
Нетрудно понять, что в конце концов (после бесконечного количества повторений описанной операции) конденсатор C2 окажется заряженным до напряжения $2U$.

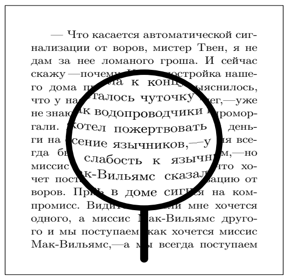
---

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

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

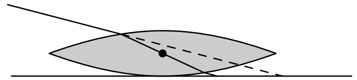






Человек видит, что изображение текста в лупе немного искажается и строчки «выгибаются вверх» (рисунок слева). Объясните, почему именно «вверх», а не «вниз» («неправильный» рисунок справа).

Объяснение. Рассмотрим луч, проходящий через центр лупы. Направление этого луча не меняется, что соответствует приближению тонкой линзы. Нот 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 К (температура кипения H_2), атмосферное давление
«орто»	75%	0,2%
«пара»	25%	99,8%

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

Перестройка молекул «орто» → «пара» идёт с выделением тепла, удельная теплота этого процесса составляет $q = 719$ кДж/кг, процесс протекает достаточно медленно. Считать, что удельная теплота испарения H_2 в этих условиях не зависит от состава смеси и равна $L = 447$ 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.