

Конкурс по физике. Ответы и решения. Черновик — версия 15.10.2006

В скобках после номера задачи указаны классы, которым эта задача рекомендуется. Ученикам 7 класса и младше достаточно решить одну «свою» задачу, ученикам 8 класса и старше — две «своих» задачи. Решать остальные задачи тоже можно.

1. (6–8) Человек стоит на палубе корабля и видит на поверхности воды яркое пятно — отражение Солнца. Как изменится расстояние между этим пятном и кораблём, если человек подойдёт ближе к борту? Палуба корабля горизонтальна.

Решение. Лучи от Солнца падают на каждый участок поверхности Земли под определённым углом. Человек видит солнечный блик в том месте, где выполняется условие «угол падения равен углу отражения». Перемещение человека по палубе явно намного меньше, чем диаметр Солнца. Поэтому на новом месте солнечные лучи будут падать практически под теми же углами, поэтому и солнечный блик будет виден человеку на том же расстоянии. То есть, если человек подошёл к борту корабля, то блик на такое же расстояние отодвинется.

Заметим, однако, что такое перемещение наблюдателю не будет заметно, если блик первоначально находится далеко от наблюдателя — существенно дальше, чем само перемещение. Если же блик виден вообще на горизонте, то тут уже будет иметь значение кривизна поверхности Земли (воды), преломление отражённых лучей в атмосфере и т. п. А само перемещение при этом скорее всего всё равно окажется незаметным для наблюдателя.

2. (7–9) Как устроено приспособление велосипедного колеса, пропускающее воздух внутрь колеса во время накачки его насосом, но не выпускающее воздух обратно? Можете описать одну из известных конструкций или придумать свою. Обязательно объясните, как она работает.

Решение. В велосипедах часто используется такой вариант. Воздух в колесо подаётся через металлическую трубку. Конец трубки запаян, но недалеко от конца сбоку сделано отверстие. На металлическую трубку надевается резиновая трубочка, закрывающая это боковое отверстие.

При накачке колеса внутри металлической трубки создаётся большое давление воздуха, достаточное для того, чтобы оттянуть резиновую трубку от поверхности металлической (действуя против сил внутреннего давления в колесе и сил упругости резины). Воздух, оттянувший резиновую трубку, поступает в колесо.

Если давление в трубке меньше, чем в колесе, резиновая трубка плотно прилегает к поверхности металлической (за счёт собственной силы упругости и давления внутри колеса) и, таким образом, закрывает боковое отверстие.

Исторический комментарий. Такую конструкцию предложил шотландский ветеринар Джон Данлоп (1840-1921). Он получил патент

(23.07.1888) и смог наладить промышленное производство надувных колёс. Известно, что за год до этого Данлоп экспериментировал с велосипедом своего сына, изготовив надувные колёса из поливочного шланга. (К этому времени велосипеды уже были достаточно распространены, но вместо привычных нам надувных колёс использовались шины из сплошной резины, или вообще деревянные или металлические, что было очень неудобно).

Ранее (10.10.1845) аналогичный патент получил эдинбургский торговец Роберт Уильям Томсон (по роду своей деятельности он был связан с перевозками грузов на конных экипажах). Однако тогда дело дальше экспериментов не пошло (видимо, удачную для практического применения конструкцию Томсону создать так и не удалось).

3. (7–9) Улитки обычно передвигаются следующим образом. Животное присасывается к чему-нибудь специальной слизистой поверхностью. Перемещение происходит благодаря согласованным сокращениям отдельных участков этой поверхности. Если улитка ползёт по прозрачному предмету (например, стеклу), такие сокращения наблюдаются в виде «волн» (более тёмных участков слизистой поверхности), «бегущих» вдоль направления движения животного. А в каком направлении «бегут» эти «волны» — в ту же сторону, куда ползёт улитка, или в противоположную?

(Если вы интересуетесь биологией и знаете правильный ответ, его достаточно просто написать — объяснение всё равно нужно).

Решение. Часть поверхности тела улитки, соприкасающуюся с поверхностью, по которой улитка ползёт, будем условно называть «стойкой». Также рассмотрим условную координатную ось и направим её вдоль направления движения улитки.

Процесс ползания происходит примерно следующим образом.

1. Сокращается задний конец стопы. При этом координата самой задней части стопы увеличивается (например, на величину Δx).

2. Созданное сзади сокращение в виде волны прогоняется через всю стопу от заднего конца до переднего.

3. На переднем конце стопы сокращение разжимается, при этом передний конец также перемещается вперёд на величину, примерно равную Δx .

В результате оказалось, что вся улитка переместилась вперёд на величину Δx . Затем описанный процесс повторяется. Животное также может «запускать» следующую «волну», не дожидаясь полного прохождения предыдущей; тогда по стопе улитки перемещаются сразу несколько «волн» (друг за другом), в результате чего возрастает скорость ползания.

«Волны» могут распространяться по стопе улитки не только прямолинейно, но и более сложным образом. Таким способом улитка может менять направление своего перемещения.

4. (8–11) Иногда для питания электрических устройств используют несколько параллельно соединённых одинаковых гальванических элементов (батареек). Объясните, зачем это может быть нужно (на первый взгляд

кажется, что смысла в этом нет, так как несколько параллельно соединённых одинаковых батареек дают такое же напряжение, что и одна батарейка).

Замечание. Причин возможного использования параллельно соединённых батареек несколько — и эти причины могут быть разными в различных устройствах.

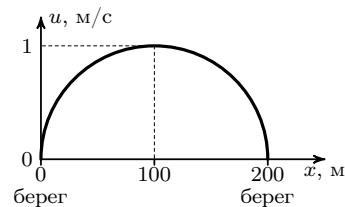
Решение. Основных причин две (но, тем не менее, внимательно читайте работы — возможно, школьники укажут что-нибудь интересное, про что мы не подумали).

1. Увеличивается срок службы устройства (до следующей смены батареек). Заметим, что для этой цели параллельное соединение батареек имеет смысл использовать только тогда, когда работа от одной батарейки приводит к исчерпанию ресурса батарейки раньше, чем истекает срок хранения этой батарейки (когда она испортится в любом случае, даже если вообще не использовалась). Пример такой ситуации: настенные электронные часы с большими декоративными стрелками (на вращение которых тратится много энергии). Небольшое увеличение веса таких часов проблем не создаёт, а вот часто залезать на стену, где они висят, для смены батареек — неудобно.

2. Уменьшение внутреннего сопротивления. Разумеется, если слов «внутреннее сопротивление» школьник не написал, а просто пишет о зависимости реального напряжения батарейки от тока (сопротивления нагрузки) — это тоже правильный ответ. Стабильное (то есть как можно меньше зависящее от нагрузки) напряжение питания необходимо для точных электроизмерительных приборов.

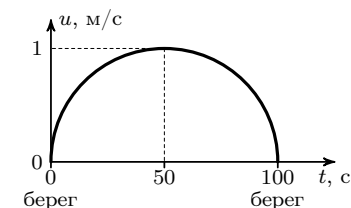
Комбинация первого и второго случаев — устройства с большим, но кратковременным энергопотреблением (например, фотовспышка). Батарейка от большой нагрузки «портится» со временем (но пока не «испортилась» — может выдавать большой ток), а затем восстанавливается. Если батареек несколько — сила тока делится на количество батареек, и каждая батарейка работает дольше. Во многих случаях для фотокорреспондента может оказаться более полезной возможность сделать больше снимков подряд, чем более лёгкий фотоаппарат (например, если съёмка ведётся со штатива, то дополнительный вес нескольких «лишних» батареек почти не создаёт дополнительных неудобств).

5. (8–11) Пловец может плыть с максимальной скоростью $v = 2$ м/с. Ему нужно переплыть реку шириной $h = 200$ м. Скорость течения в реке зависит от расстояния до берега так, что вблизи берегов скорость течения равна нулю. На середине реки она максимальна и равна $u = 1$ м/с. График зависимости скорости реки от расстояния до одного из берегов представляет собой половину окружности. Пловец за минимальное время переплыл с одного берега на другой. На какое расстояние «снесло» его течением вдоль берега?



Решение. Для переплыwania реки за минимальное время пловец должен грести перпендикулярно берегам со своей максимальной скоростью $v = 2$ м/с. В этом случае он переплывёт реку за 100 секунд.

Отметим на горизонтальной оси графика вместо координаты пловца время, когда он там был. Также заметим, что скорость сноса пловца вдоль берега пропорциональна как скорости реки в том месте, где его сносит, так и времени, в течении которого сам пловец находился в этом месте. То есть суммарное расстояние сноса L — это площадь под графиком зависимости $u(t)$.



Графиком этой зависимости в выбранном нами масштабе является полуокружность с радиусом, эквивалентным величине 50 с или 1 м/с. Найдём площадь этой полуокружности по формуле $S = \frac{\pi R^2}{2} = \frac{\pi \cdot R \cdot R}{2}$, один раз подставив вместо радиуса R его выражение через скорость и второй раз — его выражение через время. Получится

$$L = \frac{\pi \cdot 50 \text{ с} \cdot 1 \text{ м/с}}{2} = 25\pi \text{ м} \approx 80 \text{ м}.$$

6. (8–11) Нить лампочки накаливания обычно сворачивают в спираль, а затем получившуюся спираль — ещё раз в спираль. После первого сворачивания «внутри» остаётся примерно половина поверхности нити, а после второго «сворачивания» — половина оставшейся поверхности. То есть в результате более 75% поверхности нити попадает внутрь. Не пропадает ли зря свет, излучаемый этой «внутренней» поверхностью?

Решение. Энергия излучения, оказавшегося внутри спирали, разумеется, зря никуда не пропадает, а поглощается этой же спиралью.

Использовать это излучение более полезным образом, тоже, увы не получится. Если предположить, что мы каким-то способом сумели «вытащить» свет изнутри спирали (например, вообще не сворачивать нить в спираль, а сделать очень длинную лампочку с прямой нитью накаливания), то теплоотдача нити возрастёт (раньше часть излучения поглощалась, теперь — нет). Соответственно, уменьшится температура нити (при той же электрической мощности лампочки), уменьшится и яркость (температура нити в этой ситуации вообще может оказаться близкой к комнатной — тогда лампочка вообще светить не будет и превратится в обогреватель).

Спираль лампы должна работать при возможно более высокой температуре, чтобы возникло достаточно яркое свечение, и в то же время спираль должна выдерживать много циклов «включение–выключение» и достаточно долго проработать, светясь¹. Описанная форма спирали обеспечивает при

¹Нить за время работы лампочки может рваться много раз. Но из-за своей «запутанной» формы (спираль, закрученная в спираль) концы порвавшейся нити обычно цеп-

заданной мощности лампочки и напряжении в электрической сети определённую эквивалентную площадь излучающей горячей поверхности, а, следовательно, и определённую температуру излучающей поверхности. Если изготовить не спираль, а сплошной цилиндр с нужной площадью и с длиной, заданной размерами лампочки, то при заданной мощности излучения напряжение на его концах будет значительно меньше, чем напряжение в электрической сети (например нынешние 220 В или в прежние времена 127 В). Лампочки с прямыми спиралями (то есть нитью, закрученной в спираль только один раз) использовались в старых моделях мотоциклов и автомобилей (с аккумуляторами напряжением 6 В), и сейчас используются в карманных фонариках.

То есть спираль решает и проблему габаритов лампочки при заданном напряжении сети. Вторая проблема, которая решается описанной формой спирали, связана с тем, что в электрической сети используется переменное напряжение. Мощность, выделяющаяся в спирали при протекании по ней тока, пульсирует, изменяясь от нуля до некоторого максимального значения. Описанная форма спирали обеспечивает тепловую инерцию спирали лампочки. Её температура в течение каждого периода (0,02 секунды) изменяется при такой форме спирали всего на 10–15%, что мало заметно и не создаёт неудобств для зрения.

7. (9–11) Два одинаковых металлических (проводящих) шарика находятся на некотором расстоянии друг от друга (друг друга не касаются). На шарики помещены электрические заряды Q_1 и Q_2 ($0 < Q_1 < Q_2$). Оказалось, что сила электростатического взаимодействия между шариками равна нулю. Как такое может быть (почему шарики, имеющие заряды одного знака, не отталкиваются друг от друга)? Какой заряд q нужно добавить к заряду Q_1 , чтобы сила электростатического взаимодействия между шариками вновь оказалась равной нулю?

Решение. Рассмотрим какую-нибудь произвольную конфигурацию зарядов в пространстве. Между зарядами, разумеется, действуют как электростатические силы, так и иные (удерживающие заряды на своих местах).

Теперь увеличим все заряды в n раз. Тогда все электростатические силы в соответствии с законом Кулона возрастут в n^2 раз. В самом деле, в соответствии с этим законом

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Рассмотрим какой-нибудь заряд, для которого мы вычисляем действующую на него электростатическую силу. Сам этот заряд увеличился в n раз, все остальные заряды, с которыми этот заряд взаимодействует, также увеличиваются в n раз. В результате в числителе получается коэффициент n^2 .

В случае нашей системы из заряженных шариков все заряды расположены на поверхности шариков, все электростатические силы могут действовать на эти заряды только перпендикулярно поверхности шариков во внешнюю сторону (иначе, так как шарики изготовлены из проводящего материала, эти заряды, эти заряды не смогли бы оставаться неподвижными). Кроме того, сумма всех электростатических сил, действующих на заряды каждого шарика, должна быть равна нулю (так как шарики в целом друг с другом не взаимодействуют).

Разумеется, при умножении зарядов нашей системы (описанной в условии задачи) на любой коэффициент все эти условия сохраняются (перпендикулярность поверхности и нулевая сумма электростатических сил для каждого шарика), поэтому после такого умножения получившаяся конфигурация зарядов также будет равновесной.

В частности, при условии

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{Q_1 + q}{Q_2}$$

добавление заряда q эквивалентно умножению всех зарядов на коэффициент $n = (Q_1 + q)/Q_1$ и перестановке шариков местами (переставлять их можно, так как по условию задачи они одинаковые). Отсюда получается ответ задачи $q = \frac{Q_2^2}{Q_1} - Q_1$.

Теперь выясним, почему вообще между двумя металлическими шариками, имеющими заряды одного знака, может отсутствовать электростатическое взаимодействие. Как известно, два одинаковых металлических шарика, один из которых заряжен (заряд для определённости будем считать положительным), а другой — нет, притягиваются друг к другу. Это происходит из-за перераспределения зарядов (электронов) по поверхности шариков, в результате чего притягивающиеся заряды оказываются расположенными друг к другу ближе, чем отталкивающиеся.

Если рассмотреть ту же ситуацию, но на тот шарик, который раньше был нейтральным, поместить маленький заряд, то сила взаимодействия изменится тоже незначительно (то есть «маленький» заряд можно сделать таким, чтобы шарики по-прежнему притягивались друг к другу). Таким образом, получается, что два *одноимённо* зараженных тела могут даже *притягиваться* друг к другу.

Теперь будем постепенно увеличивать «маленький» заряд до величины заряда второго шарика. В тот момент, когда заряды окажутся равными, шарики будут отталкиваться. Значит, в какой-то момент в процессе увеличения заряда сила взаимодействия между шариками сменилась с притяжения на отталкивание и была в этот момент равной нулю.

Может возникнуть совершенно справедливый вопрос: а почему два одинаковых металлических шарика, имеющие одинаковые электрические

заряды, отталкиваются друг от друга? С точки зрения здравого смысла, эксперимента, школьной программы, а также на самом деле это действительно так. Но формально доказать этот факт очень непросто. Конечно, если по всей поверхности каждого шарика плотность заряда будет одного знака, то каждый участок поверхности будет отталкиваться от каждого участка поверхности другого шарика, и в результате они будут отталкиваться целиком друг от друга. Но, к сожалению для нас, в описанной ситуации шарик, имеющий в сумме положительный (например) заряд, из-за наводок со стороны другого такого же шарика может иметь на части своей поверхности отрицательную плотность заряда. И тогда такое простое рассуждение уже не годится.

8. (9–11) В сосуде с жёсткими не проводящими тепло стенками находится газ гелий при температуре 200 К. Сосуд движется со скоростью 1 км/с. Внезапно сосуд сталкивается с жёсткой массивной стенкой, и практически мгновенно останавливается, не изменив своей формы. Какой будет температура газа в сосуде после установления равновесия? Молярная масса гелия $M = 4$ г/моль, молярная теплоёмкость идеального одноатомного газа при постоянном объёме $c_V = \frac{3}{2}R$, универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/(моль · К).

Решение. До соударения газ имел кинетическую энергию (в системе отсчёта, связанной со стенкой; имеется ввиду кинетическая энергия не отдельных молекул, а газа в целом). После соударения эта энергия перешла во внутреннюю энергию газа²

Зная теплоёмкость газа для данных условий³, найдём величину изменения температуры.

$$\begin{aligned} \Delta E_{\text{кин}} &= \Delta U_{\text{внутр}} \\ \frac{mv^2}{2} &= c_V \nu \Delta T \\ \frac{\nu M v^2}{2} &= \frac{3}{2} R \nu \Delta T \\ M v^2 &= 3 R \Delta T \\ \Delta T &= \frac{M v^2}{3 R} = \frac{(4 \text{ г/моль}) \cdot (1 \text{ км/с})^2}{3 \cdot 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}} = \end{aligned}$$

²В случае одноатомного идеального газа, рассмотренного в данной задаче, это как раз и есть кинетическая энергия поступательного движения отдельных молекул. В более сложных случаях вклад во внутреннюю энергию также могут давать вращательные и колебательные движения молекул, взаимодействие молекул между собой и т. п.)

³Это важно! Если объём газа не будет сохраняться, то и величина теплоёмкости будет другой. На самом деле так оно и будет — процесс установления равновесия после удара в газе будет достаточно сложным, объёмы разных частей газа будут изменяться поразному. Мы же в решении задачи рассматриваем только начальное и конечное (установившееся) состояние газа, так как любой способ перехода газа между этими состояниями даст одинаковый результат.

$$= \frac{(4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}) \cdot (10^3 \text{ м/с})^2}{3 \cdot 8,31 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2)/(\text{моль} \cdot \text{К})} = \frac{10^3 \cdot 4}{3 \cdot 8,31} \text{ К} \approx 160,45 \text{ К}.$$

Окончательная температура газа составит $200 \text{ К} + \Delta T \approx 360,45 \text{ К}$.

9. (10–11) Будем рассматривать через увеличительное стекло (лупу), установленное перпендикулярно направлению наблюдения, расположенный вдалеке пейзаж. При этом напомним, какие именно предметы (точнее, их изображение) «попали в лупу» (то есть наблюдатель видит сформированные лупой изображения этих предметов). Теперь повернём лупу так, чтобы её оптическая ось составляла угол 45° с направлением наблюдения, и по прежнему располагалась горизонтально. Наблюдатель и лупа (её оптический центр) при этом остаются на своих местах. Больше или меньше предметов (то есть бóльший или меньший фрагмент пейзажа) увидит наблюдатель в лупе по сравнению с первоначальной ситуацией?

Решение. В повернутую лупу (по сравнению с установленной перпендикулярно направлению наблюдения) «попадёт» бóльший фрагмент пейзажа, причём как по вертикали, так и по горизонтали. «Сжатие» по вертикали будет меньше, чем по горизонтали (в этом легко убедиться, рассматривая не пейзаж, а, например, стену, выложенную квадратными плитками).

Приведём качественное описание наблюдаемого эффекта. (Точное решение в этой задаче и не предполагается — в условии не указаны точные параметры линзы, расстояния и т. п.).

Прежде всего напомним (уточним), что лупой обычно называется собирающая линза с фокусным расстоянием F примерно 10 см или меньше. В нашем случае (до того, как линзу повернули) наблюдаемый пейзаж находится от линзы на расстоянии $a \gg 2F$, поэтому будет наблюдаться действительное уменьшенное перевёрнутое изображение. Расстояние b от линзы до изображения связано с F и a формулой тонкой линзы

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

и равно

$$b = \frac{bF}{b-F} = F + \frac{F^2}{b-F} > F.$$

Как известно, свет от точки предмета до соответствующей ей точки изображения должен проходить по разным «лучам» за одно и то же время. В случае обычной выпуклой собирающей линзы лучи, проходящие через центр линзы, имеют меньшую длину, но зато проходят бóльший участок через материал линзы (её центральную «толстую» часть), скорость света в котором меньше⁴. Свет, проходящий через тонкие края линзы, затрачивает меньше времени на распространение по стеклу (с меньшей скоростью), но зато преодолевает бóльший путь по воздуху.

⁴Отношение скорости распространения света в вакууме к скорости света в веществе называется коэффициентом преломления вещества. Примерные значения коэффициента преломления для стекла 1,5, для воздуха 1,0003.

В принципе, аналогичными свойствами обладает не только «обычная» линза (стеклянное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями), но и другие оптические системы, в которых распределение оптически плотного (имеющего большой коэффициент преломления) вещества аналогично: какая-то прямая «главная оптическая ось» пересекает самую большúю «толщину» оптически плотного вещества, а прямые, параллельные ей — меньшую (причём тем меньше, чем дальше эта прямая от «главной оптической оси» и эта зависимость от расстояния аналогична такой зависимости «обычной» собирающей линзы). Такая «нестандартная» линза, например, будет фокусировать параллельный световой пучок в «точку» (область пространства, существенно меньшую по размерам, чем диаметр пучка и размеры самой оптической системы). Если поверхности нашей оптической системы достаточно гладкие и плавные и её фокусное расстояние больше её собственных размеров (по крайней мере, фокус лежит за пределами самой системы), то с её помощью также можно строить изображения (возможно, с некоторыми искажениями; одно из возможных искажений — непропорциональное «сжатие» изображения — как раз и рассматривается в данной задаче).

Пусть зависимость «толщины» нашей линзы от расстояния до главной оптической оси выражалась функцией $h(r)$. Угол поворота линзы 45° (заданный в условии задачи) для уменьшения путаницы обозначим через α (напомним, что $\sin 25^\circ = \cos 25^\circ = 1/\sqrt{2}$). В результате поворота все части линзы окажутся повёрнутыми боком к направлению наблюдения на угол α и их «толщина» умножится на коэффициент $1/\cos \alpha$. Кроме того, все точки линзы, кроме расположенных на оси поворота, из-за поворота стали располагаться ближе к оптической оси (то есть прямой, идущей в направлении наблюдения и проходящей через центр линзы). В результате после поворота зависимость «толщины» линзы от расстояния до оптической оси окажется равной $\frac{h(r)}{\cos \alpha}$ «по вертикали», $\frac{h(r \cos \alpha)}{\cos \alpha}$ «по горизонтали» и промежуточным — в остальных местах линзы.

При «сжатии» линзы в каком-то направлении, перпендикулярном оптической оси (а то, что описано выше, это фактически и есть сжатие; перемещения материала линзы вдоль оси наблюдения, как было отмечено ранее, в данном случае несущественны) вся картинка лучей также «сжимается» вместе с линзой. Даже чуть сильнее, так как луч, совпадающий с оптической осью, не претерпевает вообще никаких изменений, а длина, например, «боковых» лучей, также начинающихся и заканчивающихся на оптической, но проходящих не через центр линзы, из-за «пропорционального» сжатия уменьшается (в основном та часть, которая проходит по воздуху). И чтобы «скомпенсировать» время прохождения, таким лучам приходится «забираться» ещё ближе к центру линзы, на более толстый её участок. Соответственно, картинка лучей «сжимается» немного сильнее, чем мы «сжали» линзу, и поэтому в линзу (создаваемое ею изображение) «поместится» больший фрагмент наблюдаемого объекта (чем до «сжатия»). Вот мы и получили ответ на вопрос задания.

Разумеется, полученные изображения кроме искажений сжатия (различного по разным направлениям) будут иметь и другие искажения (скорее всего бóльшие, чем при «правильном» использовании линзы). Это будет хорошо заметно (расплывчатость) при фокусировании изображения на экран⁵. Если же изображение наблюдается глазом (или цифровым фотоаппаратом с автоматической фокусировкой⁶), то эти искажения частично устраняются (но при этом могут исказиться и размеры изображения).

Заметим, что попытка решить задачу с использованием «напрямую» модели тонкой линзы приведёт к качественно неверному результату. А именно, в этой модели считается, что параллельные световые пучки, направление которых не совпадает с направлением главной оптической оси линзы, линза фокусирует в побочных фокусах, которые все расположены дальше от оптического центра линзы, чем главные фокусы. Соответственно, «повёрнутую» на угол α линзу нужно было бы считать обычной, но с фокусным расстоянием $F/\cos \alpha$ (где F — «обычное» фокусное расстояние). Кроме того, в модели тонкой линзы увеличение изображения определяется только отношением расстояний от линзы до предмета и от линзы до изображения, что в нашем случае не соответствует действительности.

⁵Наблюдения лучше всего проводить в тёмной комнате. В качестве экрана годится белый лист бумаги. В качестве наблюдаемого объекта раньше в таких случаях использовали горящую свечку, сейчас же для этих целей лучше подойдёт компьютерный монитор (или ноутбук) — они ярче, безопаснее и удобнее свечки, имеют прямоугольную форму (удобную для наблюдения сжатия–растяжения изображения), ровные края (удобные для наблюдения расплывчатости), возможность отобразить любую удобную для экспериментатора картинку, квадратную сетку и т. п.

⁶Мобильный телефон с видеокамерой также вполне годится.