XXXVI Турнир имени М. В. Ломоносова 29 сентября 2013 года

Конкурс по физике. Ответы и решения. Критерии проверки.

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) Если в раковину вылить много горячей воды, держа сосуд с водой в руках, из раковины будет подниматься пар, который может обжечь руки. Придумайте простой способ — как вылить горячую воду в раковину и при этом не обжечься идущим оттуда паром.

Решение. Разберёмся, откуда берётся пар, которым можно обжечь руки.

Выливающаяся струя горячей воды течёт мимо рук (иначе руки обжигал бы не пар, а сама эта горячая вода). Пар от струи, поднимающийся вертикально вверх, поэтому также должен пройти в стороне от рук.

Также отметим, что на поверхности струи пара образуется не очень много, так как площадь поверхности струи небольшая. Также струя увлекает за собой окружающий воздух и образовавшийся пар вниз.

А вот от горячей воды, разлившейся по дну раковины, пара получается много, так как он образуется сразу на большой площади поверхности. Этот пар начинает подниматься вверх и вскоре добирается до рук.

Заодно в раковине прогревается и от этого расширяется воздух. Весь воздух, который в раковине был раньше, там уже не помещается и «вываливается» через края, заодно увлекая наверх и пар.

Чтобы не допустить такой ситуации, во время выливания горячей воды можно открыть кран с холодной водой. Тогда горячая вода будет сразу разбавляться холодной и смываться в канализацию, и слоя горячей воды на дне раковины не будет. (Горячую воду при этом нужно лить аккуратно. Иначе на дне раковины горячая вода может «разогнать» холодную в стороны, и тогда наличие холодной воды на образовании пара никак не скажется.)

Можно использовать и другие похожие способы. Например, поставить в раковину кастрюлю или миску с холодной водой и выливать горячую воду в сосуд с холодной водой.

В качестве верного решения можно признать и предложение закрыть чем-нибудь поверхность рук, например полотенцем или «варежками с рукавами». Такой способ, как и требуется в условии, простой и приводит к нужному результату.

Отметим, что тот «пар», который мы видим, состоит из маленьких капелек жидкой воды. В физике слово «пар» обычно используется для обозначения воды в газообразном состоянии. Такой (настоящий) пар является прозрачным и невидимым.

2. (5–9) На прямой линии находятся два зайца и между ними — волк: к одному зайцу он ближе, чем к другому. Животные могут бегать только вдоль этой линии с постоянными скоростями. Скорости зайцев одинаковы и меньше, чем у волка.

Зайцы убегают в разные стороны, а волк хочет поймать их, пробежав за всё время охоты как можно меньшее расстояние. Какого зайца и почему волку следует поймать в первую очередь — ближайшего или другого?

Решение. Волку в первую очередь выгоднее поймать ближайшего зайца, а потом уже оставшегося.

Предположим обратное — что сначала лучше ловить более дальнего зайца. Побежим за ним. В какой-то момент мы окажемся на одинаковом расстоянии от обоих зайцев. Зайцы одинаковые, поэтому в данный момент мы можем выбрать любого из них и бежать за ним. В любом случае расстояние, которое волк пробежит за время охоты, будет одним и тем же.

«Поменяем» зайца и теперь будем догонять того, который первоначально был ближе, то есть побежим в обратную сторону. В какой-то момент мы окажемся в том месте, где были в начале охоты. Очевидно, что «туда-обратно» мы бегали зря, пробежав лишнее расстояние, а зайцы за это время только ещё больше разбежались. И на самом деле нужно было сразу бежать за ближайшим зайцем.

Замечание. Угадать правильный ответ в этой задаче совсем просто. Предположим, что скорость зайцев равна 0 (то есть зайцы просто сидят и ждут, пока их поймают). Тогда волк должен со своего места добежать до одного зайца, вернуться обратно и добежать до второго. Ясно, что выгоднее меньшее расстояние пробежать 2 раза (туда и обратно), а большее — только 1 раз.

3. (7–10) Во время Второй мировой войны (1939–1945) в Германии разбомбили несколько плотин водохранилищ. Для точного попадания бомбы в плотину бомбардировщик должен был лететь точно на заранее рассчитанной высоте над поверхностью водохранилища. Как это можно было обеспечить имеющимися в то время техническими средствами? (Точность определения высоты по атмосферному давлению для этой цели была явно недостаточна.)

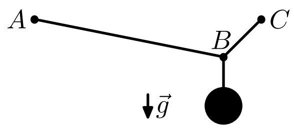
Решение. Бомбардировка осуществлялась ночью. Под крыльями самолёта устанавливались два прожектора, которые светили вниз на поверхность воды и чуть вперёд, чтобы освещённый участок воды было видно лётчику.

Лучи прожекторов пересекались как раз на нужном расстоянии от самолёта. Лётчику требовалось выбрать высоту полёта так, чтобы два светлых пятна от прожекторов на поверхности воды слились в одно наименьшего размера.

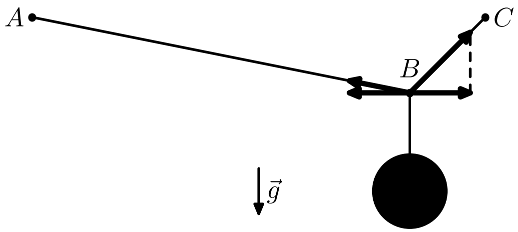
Высота составляла примерно 18–20 метров. Такая высота была выбрана в том числе и потому, что её легче всего было обеспечить имеющимися средствами.

В качестве правильных принимаются и любые другие разумные, внятно описанные и технически реализуемые предложения.

4. (8–9) Концы лёгкой (невесомой) верёвки закреплены на одной высоте в точках A и C. В точке B к этой верёвке подвешен груз. Какой участок верёвки сильнее натянут: AB или BC?

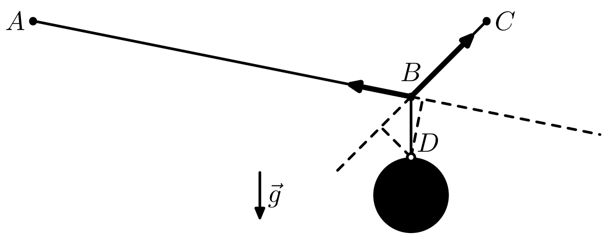


Решение. Чтобы точка B была неподвижной, требуется, чтобы горизонтальные проекции сил натяжения отрезков AB и BC были равными по величине и уравновешивали друг друга.



Из рисунка видно, что отрезок AB более пологий, чем BC. Поэтому при равных горизонтальных проекциях сил натяжения вертикальная проекция силы натяжения отрезка AB будет меньше, чем вертикальная проекция силы натяжения отрезка BC. Поэтому участок верёвки AB будет натянут слабее, а BC — сильнее.

Задачу могут решить и школьники, которые пока ничего не знают про вектора и их проекции, но знают правило рычага. Обозначим буквой D место прикрепления вертикального подвеса к грузу. Отрезок DB неподвижен. В частности, он не должен проворачиваться вокруг точки D. Для этого моменты сил натяжения участков верёвки AB или BC относительно точки D должны быть одинаковыми по величине и уравновешивать друг друга.

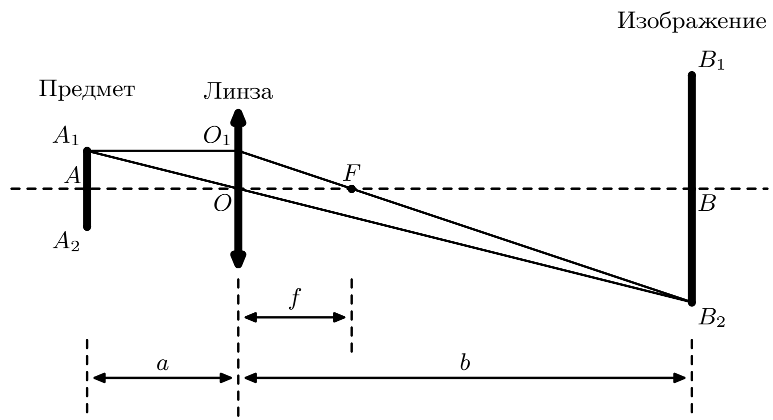


Прямая линия, содержащая отрезок AB, проходит дальше от точки D, чем прямая, содержащая отрезок BC. Поэтому, чтобы обеспечить равенство моментов сил, сила натяжения участка AB должна быть меньше, а участка BC — больше.

5. (9–11) Тонкая линза даёт чёткое изображение предмета на экране. Главная оптическая ось линзы проходит через предмет и перпендикулярна плоскости экрана, расстояние от предмета до экрана $L = 1$ м. Поперечные относительно этой оси размеры предмета в $n = 3$ раза меньше, чем соответствующие размеры изображения. Чему равно фокусное расстояние линзы f?

Решение. Построим чертёж: предмет A_1A_2, линза и изображение B_1B_2.

Отношения размеров предмета и изображения (в направлении, перпендикулярном главной оптической оси линзы) пропорциональны отношению расстояний от линзы до предмета и от линзы до изображения. Это следует из того, что соответствующие точки предмета и изображения соединяются прямыми линиями (лучами), проходящими через оптический центр линзы. Соответственно, отрезки любых двух таких лучей с одной и с другой стороны линзы являются сторонами подобных треугольников (по трём углам — вертикальные углы в точке пересечения лучей в оптическом центре линзы и внутренние накрестлежащие углы, образованные лучами с параллельными отрезками A_1A_2 и B_1B_2).



Увеличение можно рассчитать из подобия треугольников OAA_1 и OBB_2 ($OA = a$, $OB = b$, $L = a + b$):

$$n = \frac{|BB_2|}{|AA_1|} = \frac{b}{a}; \qquad b = na$$

Аналитический способ решения. В соответствии с формулой тонкой линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{a+b}{ab} = \frac{L}{a \cdot na} = \frac{L}{n}\left(\frac{1}{a}\right)^2 = \frac{L}{n}\left(\frac{n+1}{a(n+1)}\right)^2 =$$

$$= \frac{L}{n}\left(\frac{n+1}{na+a}\right)^2 = \frac{L}{n}\left(\frac{n+1}{b+a}\right)^2 = \frac{L}{n}\left(\frac{n+1}{L}\right)^2 = \frac{(n+1)^2}{nL}$$

Отсюда

$$f = \frac{nL}{(n+1)^2}$$

Геометрический способ решения. Используем свойство луча, падающего на линзу параллельно её главной оптической оси. Это даёт подобные треугольники FOO_1 и FBB_2, где $OO_1 = AA_1$. Отсюда

$$n = \frac{BB_2}{AA_1} = \frac{BB_2}{AA_1} = \frac{BB_2}{OO_1} = \frac{FB}{FO} = \frac{b-f}{f}$$

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

$$\frac{b}{f} = n+1$$

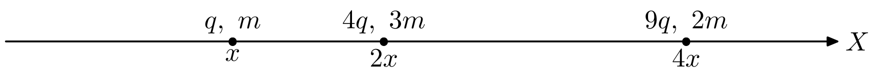
$$f = \frac{b}{n+1} = \frac{na}{n+1} = \frac{n \cdot a(n+1)}{(n+1)^2} = \frac{n(na+a)}{(n+1)^2} = \frac{n(b+a)}{(n+1)^2} = \frac{nL}{(n+1)^2}$$

Окончательно получаем:

$$f = \frac{n}{(n+1)^2}L = \frac{3}{(3+1)^2} \cdot 1\ \text{м} = \frac{3}{16}\ \text{м} = 0{,}1875\ \text{м}$$

Замечание. Указание о том, что рассматриваются размеры предмета и изображения, перпендикулярные главной оптической оси линзы, важно. Для размеров в других направлениях соотношения будут другими. В частности, продольное увеличение линзы равно квадрату поперечного увеличения для тех же предмета и изображения.

6. (9–11) Три маленьких шарика расположены вдоль оси координат X в космосе. Вокруг больше ничего нет, гравитационными силами можно пренебречь по сравнению с электрическими. Скорости всех шариков в начальный момент равны 0; координаты x, $2x$, $4x$; заряды q, $4q$, $9q$; массы m, $3m$, $2m$ соответственно. Какими будут скорости шариков через очень большое (бесконечное) время?



Справка для тех, кто ещё не изучал это в школе: если заряды Q_1 и Q_2 находятся на расстоянии r друг от друга, то сила их взаимодействия $F = k\dfrac{Q_1Q_2}{r^2}$ (закон Кулона), а энергия их взаимодействия $W = k\dfrac{Q_1Q_2}{r}$. Коэффициент $k \approx 8{,}987 \cdot 10^9$ Н $\cdot$ м^2/Кл^2 считать известным.

Решение. Решение задачи путём нахождения зависимости скоростей шариков от времени и вычисление предела этих зависимостей при времени, стремящимся к бесконечности, выходит за рамки школьной программы.

Вместо этого можно воспользоваться законами сохранения энергии и импульса с учётом приведённой в условии формулы для энергии электростатического взаимодействия зарядов.

Однако законы сохранения энергии и импульса — это 2 уравнения, а требуется найти 3 неизвестные величины (скорости трёх шариков).

Ещё одно необходимое уравнение можно получить следующим образом. Пронумеруем шарики индексами 1, 2, 3 по порядку слева направо (см. рисунок). Начальные расстояния от среднего шарика до двух крайних R_{12} и R_{23} относятся, как 1 к 2. А если найти ускорения шариков в начальный момент, то их разницы $(a_1 - a_2)$ и $(a_3 - a_2)$ тоже относятся, как 1 к 2. Это означает, что и в любой другой момент времени отношение этих расстояний будет таким же! Тогда такое же соотношение верно в любой момент времени и для скоростей: $2(v_1 - v_2) = (v_3 - v_2)$.

Это дополнительное кинематическое соотношение вместе с двумя уравнениями, полученными на основе законов сохранения, позволяет найти простое (школьное) решение задачи.

После изложения плана решения проведём все необходимые выкладки.

Определим силы, действующие на шарики 1, 2 и 3 (знаки сил выбраны в соответствии с направлением оси X, указанным на рисунке).

$$F_1 = -k\frac{q \cdot 4q}{(2x-x)^2} - k\frac{q \cdot 9q}{(4x-x)^2} = -k\frac{4q^2}{x^2} - k\frac{9q^2}{9x^2} = -k\frac{4q^2}{x^2} - k\frac{q^2}{x^2} = -5k\frac{q^2}{x^2}$$

$$F_2 = k\frac{4q \cdot q}{(2x-x)^2} - k\frac{4q \cdot 9q}{(4x-2x)^2} = k\frac{4q^2}{x^2} - k\frac{36q^2}{4x^2} = k\frac{4q^2}{x^2} - k\frac{9q^2}{x^2} = -5k\frac{q^2}{x^2}$$

$$F_3 = k\frac{q \cdot 9q}{(4x-x)^2} + k\frac{4q \cdot 9q}{(4x-2x)^2} = k\frac{9q^2}{9x^2} + k\frac{36q^2}{4x^2} = k\frac{q^2}{x^2} + k\frac{9q^2}{x^2} = 10k\frac{q^2}{x^2}$$

Воспользовавшись вторым законом Ньютона, найдём ускорения шариков

$$a_1 = \frac{F_1}{m} = -5 \cdot k\frac{q^2}{mx^2}$$

$$a_2 = \frac{F_2}{3m} = -5k\frac{q^2}{3mx^2} = -\frac{5}{3} \cdot k\frac{q^2}{mx^2}$$

$$a_3 = \frac{F_3}{2m} = 10k\frac{q^2}{2mx^2} = 5 \cdot k\frac{q^2}{mx^2}$$

Найдём соотношение ускорений

$$\frac{a_2 - a_1}{a_3 - a_2} = \frac{-\frac{5}{3} \cdot k\frac{q^2}{mx^2} - \left(-5 \cdot k\frac{q^2}{mx^2}\right)}{5k\frac{q^2}{mx^2} - \left(-\frac{5}{3} \cdot k\frac{q^2}{mx^2}\right)} = \frac{-\frac{5}{3} + 5}{5 + \frac{5}{3}} = \frac{-5 + 3 \cdot 5}{3 \cdot 5 + 5} = \frac{10}{20} = \frac{1}{2}$$

Напомним, что в соответствии с условием в начальный момент времени для координат шариков верно аналогичное соотношение

$$\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_2} = \frac{2x - x}{4x - 2x} = \frac{x}{2x} = \frac{1}{2}$$

Заметим, что для приведённого в условии соотношения координат получается найденное соотношение ускорений (так получается для любого значения x, а не только для какого-то конкретного). В свою очередь, если шарики будут двигаться с таким соотношением ускорений, имевшееся в начале указанное соотношение координат будет сохраняться. То есть, для выполнения одного из них достаточно выполнения второго. Следовательно, оба этих соотношения будут выполняться в любой момент времени.

Для того, чтобы в любой момент времени было справедливо соотношение

$$\frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_2} = \frac{1}{2}$$

для координат необходимо выполнение в любой момент времени аналогичного соотношения для скоростей шариков:

$$\frac{v_2 - v_1}{v_3 - v_2} = \frac{1}{2}$$

Воспользовавшись приведённой в условии формулой, определим полную энергию электростатического взаимодействия зарядов в начальный момент:

$$W = k\frac{q \cdot 4q}{2x - x} + k\frac{4q \cdot 9q}{4x - 2x} + k\frac{q \cdot 9q}{4x - x} = k\frac{4q^2}{x} + k\frac{36q^2}{2x} + k\frac{9q^2}{3x} =$$

$$= k\frac{4q^2}{x} + k\frac{18q^2}{x} + k\frac{3q^2}{x} = 25k\frac{q^2}{x}$$

Понятно (в частности, из полученных соотношений для координат), что через бесконечно большое время расстояние между любыми двумя зарядами будет бесконечно большим, и, следовательно, энергия электростатического взаимодействия зарядов друг с другом будет равна 0.

Теперь мы можем записать и решить систему уравнений для скоростей шариков, которые они будут иметь через бесконечно большое время. Первое уравнение соответствует закону сохранения энергии, второе — закону сохранения импульса, третье представляет собой полученное дополнительное соотношение для скоростей.

$$\begin{cases} \dfrac{mv_1^2}{2} + \dfrac{3mv_2^2}{2} + \dfrac{2mv_3^2}{2} = W \\ mv_1 + 3mv_2 + 2mv_3 = 0 \\ \dfrac{v_2 - v_1}{v_3 - v_2} = \dfrac{1}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1^2 + 3v_2^2 + 2v_3^2 = \dfrac{2W}{m} \\ v_1 + 3v_2 + 2v_3 = 0 \\ 2v_1 - 3v_2 + v_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1^2 + 3v_2^2 + 2v_3^2 = \dfrac{2W}{m} \\ v_1 + 3v_2 + 2v_3 = 0 \\ 3v_1 + 3v_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1^2 + 3v_2^2 + 2v_3^2 = \dfrac{2W}{m} \\ v_3 = -v_1 \\ v_1 + 3v_2 - 2v_1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3v_1^2 + 9v_2^2 + 6v_3^2 = \dfrac{6W}{m} \\ v_3 = -v_1 \\ v_2 = \dfrac{v_1}{3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3v_1^2 + 9\left(\dfrac{v_1}{3}\right)^2 + 6(-v_1)^2 = \dfrac{6W}{m} \\ v_3 = -v_1 \\ v_2 = \dfrac{v_1}{3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3v_1^2 + v_1^2 + 6v_1^2 = \dfrac{6W}{m} \\ v_3 = -v_1 \\ v_2 = \dfrac{v_1}{3} \end{cases}$$

$$\begin{cases} v_1^2 = \dfrac{5}{3} \cdot \dfrac{W}{m} \\ v_3 = -v_1 \\ v_2 = \dfrac{v_1}{3} \end{cases}$$

Окончательно получаем:

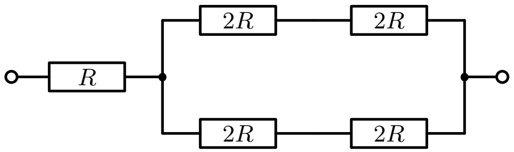
$$\begin{cases} v_1 = \sqrt{\dfrac{5}{3} \cdot \dfrac{W}{m}} = \sqrt{25k \cdot \dfrac{5}{3} \cdot \dfrac{q^2}{mx}} = 5q\sqrt{\dfrac{5k}{3mx}} \\ v_3 = -v_1 = -5q\sqrt{\dfrac{5k}{3mx}} \\ v_2 = \dfrac{v_1}{3} = \dfrac{5q}{3}\sqrt{\dfrac{5k}{3mx}} \end{cases}$$

7. (9–11) Между двумя контактами, подключёнными к источнику питания, собрана схема из нескольких резисторов. Один резистор схемы нужно заменить проводом, причём требуется выбрать этот резистор так, чтобы сопротивление получившейся новой схемы как можно меньше отличалось от сопротивления первоначальной схемы.

Студент, получивший такое задание, измерил напряжение на каждом резисторе и выбрал для замены тот резистор, напряжение на котором было меньше всего (решив, так он меньше всего повлияет на свойства схемы). Обязательно ли такой способ выполнения задания приведёт к правильному результату?

Решение. Нет, не обязательно.

В качестве контрпримера рассмотрим следующую схему.



Напряжение на всех резисторах этой схемы будет одинаково, сопротивление схемы равно $3R$.

Если «закоротить» резистор сопротивлением R, сопротивление получившейся схемы будет равно $2R$.

Если «закоротить» любой из резисторов сопротивлением $2R$, сопротивление получившейся схемы будет равно

$$R + \frac{2R \cdot 4R}{2R + 4R} = R + \frac{8}{6}R = \left(2 + \frac{1}{3}\right) R > 2R$$

В исходной схеме чуть-чуть уменьшим сопротивление резистора, имеющего сопротивление R. В результате напряжение на этом резисторе станет чуть-чуть меньше, чем на остальных резисторах схемы. Общее же сопротивление схемы чуть-чуть уменьшится, но останется близким к значению $3R$.

Студент, следуя своему способу выполнения задания, заменит проводом этот резистор и получит схему с общим сопротивлением, равным $2R$. А если бы он вместо этого заменил проводом один из резисторов сопротивлением $2R$, то получил бы схему с сопротивлением, близким к $\left(2 + \frac{1}{3}\right) R$, которое меньше отличается от исходного значения $3R$.

Таким образом, студент, применяя свой метод решения задачи к данной электрической схеме, не сможет получить правильный результат.

В качестве изменения величины сопротивления на «чуть-чуть» можно выбрать какое-нибудь конкретное значение. Например, у резистора сопротивлением R уменьшить сопротивление на 1%.

8. (9–11) На баллончике с гелием для надувания воздушных шариков размещена предупреждающая надпись: «Не использовать вблизи линий высокого напряжения и во время грозы!» Как известно, гелий не является проводником электричества. Тогда в чём же причина опасности?

Решение. При надувании шариков часть гелия, очевидно, попадёт не в шарик, а мимо. Плотность гелия в несколько раз меньше плотности воздуха (средняя относительная молекулярная масса воздуха равна 29, для гелия эта величина равна 4, то есть разница более чем в 7 раз). Поэтому гелий, оказавшийся в воздухе, тут же начнёт подниматься вверх. Получится что-то похожее на всплывающую «каплю» или, если утечка была продолжительной, «струйку». Это чем-то напоминает дым от костра, только струйка гелия невидимая и более быстрая и узкая (так как разница плотности с воздухом существенно больше, чем у дыма). Конечно, гелий частично перемешается с воздухом (как перемешивается и дым от костра), но плотность смеси всё равно будет меньше, и смесь всё равно будет струйкой подниматься вверх.

Грозовые электрические разряды (молнии) возникают в результате накопления электрических зарядов и последующего нарушения неустойчивого равновесия, в котором эти заряды находятся.

Сам по себе гелий не является проводником электричества (как и указано в условии). Однако место, где поднимается вверх струйка гелия, отличается от всего окружающего пространства, поэтому нарушения равновесия и пробоя электрического заряда с большей вероятностью можно ожидать именно в этом месте по самым разным причинам.

Можно указать и конкретные причины. Например, если влажность у поверхности земли больше, чем на высоте (так бывает часто, так как влажность воздуха меняется быстро, а земля после дождя или рядом с водоёмом может долго быть влажной), струя гелия увлечёт за собой часть влажного воздуха и в распределении влажности по высоте в этом месте получится выступающее вверх «остриё». Из-за лучшей электрической проводимости влажного воздуха по сравнению с сухим к такому «острию» будут притягиваться электрические заряды (получится своеобразный «громоотвод»).

Струя гелия может и сама по себе концентрировать влагу из воздуха. Дело в том, что масса атомов гелия меньше, чем молекул воды, что, в свою очередь, меньше, чем масса преобладающих в воздухе молекул азота и кислорода (соответствующие значения относительных молекулярных масс равны 4, 18, 28, 32). При одной и той же температуре средние кинетические энергии этих атомов и молекул одинаковы. Кинетическая энергия выражается через массу и скорость формулой $mv^2/2$. Поэтому у атомов гелия будут самые большие скорости теплового движения, у молекул воды — меньше, а у молекул азота и кислорода — ещё меньше. Это означает, что атомы гелия будут диффундировать из струи в окружающее пространство, а их место в результате диффузии в обратном направлении в первую очередь будут занимать молекулы воды — более «быстрые», чем молекулы азота и кислорода.

9. (10–11) Две ракеты, связанные натянутой нерастяжимой верёвкой, парят в космическом пространстве. В начальный момент они покоятся в лабораторной системе отсчёта. Затем они одновременно начинают разгоняться с одинаковым ускорением, направленным вдоль верёвки (одна ракета, таким образом, движется впереди другой).

Что произойдёт при этом с верёвкой?

С одной стороны — расстояние между ракетами (в лабораторной системе отсчёта) в любой момент времени равно начальному (они разгоняются совершенно синхронно). А длина верёвки уменьшается в результате лоренцева сокращения. Значит, «дотянуться» до ракет она не сможет и порвётся.

С другой стороны — скорости ракет в любой момент одинаковы, ракеты не движутся друг относительно друга и расстояние между ними в их системе отсчёта не меняется. Верёвка в этой системе отсчёта также покоится и сохраняет свою длину. Поэтому она не порвётся, а так и будет натянута между ракетами.

Так что же произойдет с верёвкой на самом деле?

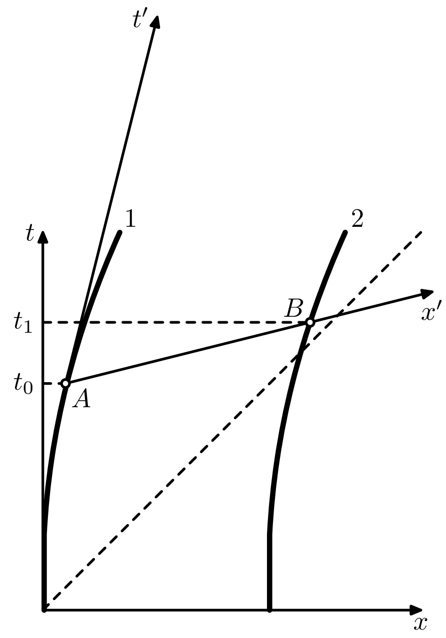
Решение. Верёвка, разумеется, порвётся. Рассмотрение ситуации в лабораторной системе отсчёта это показывает в явном виде. Разберемся, почему к такому же выводу должен прийти и наблюдатель, находящийся в ракете. Рассмотрение проведём в рамках специальной теории относительности (СТО).

«Систему отсчёта ракеты» мы при этом использовать не можем — она неинерциальна и поэтому недоступна для анализа средствами СТО. Будем рассматривать *мгновенно сопутствующих* наблюдателей, движущихся в данный момент со скоростью ракеты, но не ускоряющихся. На рисунке показаны мировые линии ракет в координатах лабораторной системы отсчёта (x, t).

Рассмотрим систему отсчёта, сопутствующую ракете № 1 в какой-то момент времени $t_0 > 0$ (точка A). Её ось времени t' направлена по касательной к мировой линии ракеты в этой точке, а ось x' (*линия одновременности событий* в этой системе отсчёта) ей лоренц-ортогональна[1]. Легко заметить, что эта линия одновременности пересекает мировую линию ракеты № 2 в точке B, соответствующей более позднему моменту времени $t_1 > t_0$ (по часам лабораторной системы отсчёта). Но в этот момент ракета 2 имеет скорость (в лабораторной системе отсчёта) бóльшую, чем ракета 1 в точке A (ракеты непрерывно ускоряются). Значит, капитан ракеты 1 (точнее, сопутствующий ему наблюдатель) обнаружит, что ракета 2 *удаляется* от него. И это будет верно для любого момента времени $t_0 > 0$. Значит, расстояние между этими ракетами с точки зрения сопутствующих наблюдателей монотонно увеличивается. А верёвка, если она привязана к ракете 1, в любой момент покоится в сопутствующей этой ракете системе отсчёта и сохраняет свою длину. Значит, верёвка порвётся.

[1] Как показывает СТО, преобразования Лоренца к координатам движущейся системы отсчёта приводят (при подходящем выборе масштаба координатных осей) к повороту координатных осей на плоскости (x, t). При этом ось времени движущейся системы t' и ось её координаты x' поворачиваются на одинаковые углы φ, но в противоположных направлениях (навстречу друг другу). Таким образом, они образуют равные углы с прямой, идущей под 45° к исходным осям x и t («световым конусом»).

Для справки: $\operatorname{tg}\varphi = v/c$, где v — скорость одной системы отсчёта относительно другой, c — скорость света.



Замечание. Описанная в задаче парадоксальная ситуация носит в том числе название «Парадокс Белла». См., например, в «Википедии» в статье http://ru.wikipedia.org/wiki/Парадокс_Белла

Также отметим, что термин «нерастяжимая верёвка» используется условно для наглядной демонстрации изменения расстояния. Буквально нерастяжимых верёвок не бывает, так как такая верёвка позволила бы передавать информацию с одного конца на другой мгновенно, в то время как СТО ограничивает скорость передачи информации скоростью света. В данном случае можно считать, что если до начала разгона ракет между ними можно было натянуть верёвку, то после окончания разгона этой же верёвки для натягивания между этими же ракетами уже не хватит по длине.

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 оценок[2]:

$$+! \quad + \quad +. \quad \pm \quad +/2 \quad \mp \quad -. \quad - \quad 0$$

(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.

[2] 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 «±» 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 ($\leqslant 7$ 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.

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 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.

- Любое решение, разумное с физической и хозяйственной точек зрения: $+$ (разумность определяется в том числе в зависимости от класса, в котором учится школьник).
- Решение, разумное с физической точки зрения, реализация которого в быту потребует явно неразумных затрат: $+/2$
- Защита рук от прямого контакта с паром (перчатки, пакеты, обматывание полотенцем): $+$
- Выливать горячую воду, поставив сосуд боком на край раковины и не держать руки над зоной испарения: $+$
- Предварительно намочить руки холодной водой: $+/2$ (в первый момент будет лучше, но потом всё равно обожжёт — у воды, которой намочили, теплоёмкость примерно такая же, как и у тканей рук).
- Построение различных излишне сложных приспособлений, теоретически решающих поставленную задачу (крышка с дыркой для раковины, сдувать пар вентилятором и т. п.): от $\pm$ до $+/2$ (в зависимости от разумности).
- Сначала остудить воду, а потом выливать: $-$ (так как в условии явно требуется предложить способ выливания *горячей* воды.)

Задача 2.

- Верный ответ «сначала следует поймать ближайшего зайца» без наличия правильного объяснения: $\mp$

- Решение для случая, когда скорость зайцев $= 0$ («выгоднее расстояние до ближнего зайца пройти туда-обратно, а до дальнего — только 1 раз»): $+/2$ (такая же оценка ставится за попытку полного решения, если вышеуказанная часть сделана правильно, а всё остальное — нет)
- Разумные, но не вполне внятные («детские») рассуждения школьников младших классов без формул и чётких формулировок, при наличии полученного верного ответа: $\pm$
- Решение с верной идеей и ошибкой в преобразованиях: $\pm$

Задача 3.

- Описание реально осуществлённого решения либо любого другого, разумно соответствующего условию задачи: $+$
- Физически разумное решение, не соответствующее обстановке (например, требуется проведение геодезических измерений или установка навигационных ориентиров на территории противника, что противник явно не даст сделать): $+/2$
- Физически разумная идея без описания реализации: $+/2$
- Радиолокация водной поверхности: $+/2$ (теоретически возможно в описываемое время, но сложно в реализации)
- Привязать груз на верёвке нужной длины: $+/2$ (непрактично, ненадёжно, «приспособление» скорее всего будет утрачено после первого же касания поверхности)
- Бросать камни с самолёта в воду и засекать время падения: $\mp$ (непрактично, низкая точность, невозможно за разумное время выйти на нужную высоту)
- Предложение, которое теоретически реализовать можно, но делать это в условиях задачи явно нецелесообразно: $\mp$

Задача 4.

- Верный ответ «сильнее натянут участок BC» без пояснения или с любым неверным пояснением: $\mp$

Задача 5.

- Верное решение в общем виде без получения численного результата: $+$.
- Верный численный результат $3/16$ м или $0{,}1875$ м без последовательного обоснования: $\pm$
- Результат получен путём измерений по примерно верному чертежу: $+/2$

Задача 6.

- Получено соотношение для скоростей $(v_2 - v_1)/(v_3 - v_2) = 1/2:$ $+/2$

Задача 7.

- Верный ответ «нет, не обязательно» без наличия правильного объяснения: $\mp$

Задача 8.

- Идея о наличии вертикального шлейфа от баллона с гелием без дальнейших верных разъяснений: $+/2$

Задача 9.

- Верный ответ «порвётся» без наличия правильного объяснения: $\mp$