Б.Л. Дружинин

# Развивающие задачи по физике

## для школьников 5–9 классов


ИЛЕКСА

Б.Л. Дружинин

# Развивающие задачи по физике для школьников 5–9 классов

Москва
ИЛЕКСА
2013

УДК 373:53
ББК 74.200+22.3
Д76

**Дружинин Б.Л.**

Д76 Развивающие задачи по физике для школьников 5–9 классов. — М.: ИЛЕКСА, 2013. — 168 с., ил.

ISBN 978-5-89237-363-0

А вы сможете решить задачу, используя минимальный набор физических формул или вообще не прибегая к расчетам, сложнее обыкновенных арифметических действий? В этой книге автор предлагает текстовые задачи по физике, решаемые именно так с присущими ему легкостью и изяществом. Сюжеты задач привлекут внимание детей обилием сказочных и фантазийных сюжетов, шутливыми и юмористическими оттенками, участием персонажей русских народных сказок. Книга будет интересна как школьникам, уже начавшим изучать физику (7–9 классы), так и ребятам, только готовящимся к этому (5–6 классы). Тексты задач способствуют развитию образного мышления ребенка, поиску неожиданных ответов на вопросы, кажущиеся интуитивно ясными даже взрослому читателю. Материалы книги, кроме того, могут быть использованы учителями в работе на уроках, а также родителями для занятий с детьми дома.

УДК 373:53
ББК 74.200+22.3

**ISBN 978-5-89237-363-0**

# От автора

В книжке собраны задачи, которые не всегда встретишь в школьных учебниках. Для решения большинства этих задач совсем не требуются сложные вычисления, надо только немного подумать. Если что-то непонятно, не стесняйся заглянуть в ответ, где приводится правильное решение и часто рассказывается о том, как справлялись с этой задачкой детишки. На помощь родителей особенно не рассчитывай, своими вопросами ты можешь поставить их в неловкое положение, так как школьную физику они уже забыли.

Некоторые задачки уже прошли проверку и получили одобрение в журналах «Физика для школьников», «Математика для школьников» и «Потенциал».

Ещё в книжке есть три небольших рассказа, имеющих прямое отношение к ФИЗИКЕ. Удачи тебе!

# ЗАДАЧИ

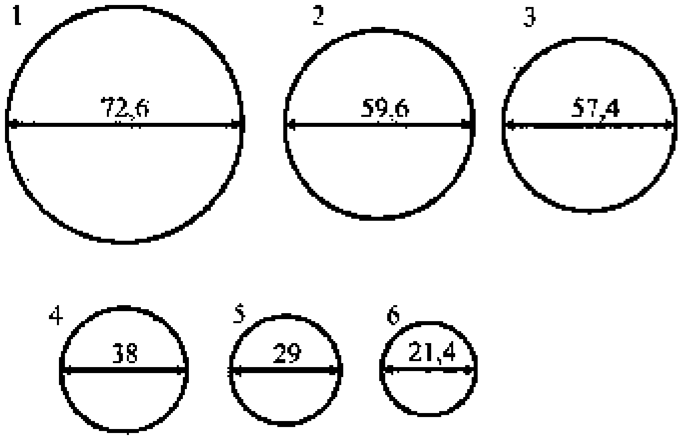
## СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

**1.** В жаркий летний полдень Знайка шёл по проспекту и почувствовал, что асфальт под ногами становится всё мягче и мягче.

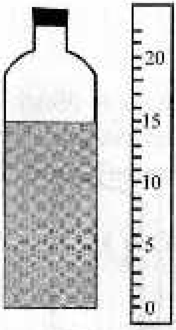
– Интересно, при какой температуре плавится асфальт? – подумал он.

В библиотеке Знайка взял много справочников, но ни в одном из них не нашёл температуры плавления асфальта. Почему?

**2.** Мастер-на-все-руки изготовил для выставки несколько шаров массой 100 кг каждый. При этом он утверждает, что шары изготовлены из золота, льда, воды, дерева, стекла и железа. На картинке указаны диаметры шаров в сантиметрах. Определи материал каждого шара. Что произойдёт с шарами в близком или далёком будущем?



**3.** Требуется узнать полный объём бутылки при помощи обыкновенной линейки. В бутылке сейчас 450 миллилитров подсолнечного масла. Но осталось ещё пустое место в узкой части и в горлышке. Как узнать, сколько масла туда войдёт, если налить его под самую пробку? Каким свойством жидкости следует воспользоваться?

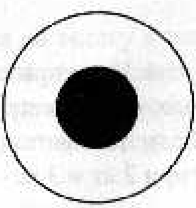



**4.** Незнайка захотел принять участие в конкурсе строителей фигур из мокрого песка. Чтобы не терять «строительный материал», он бочку объёмом $V = 0{,}2$ м$^3$ полностью засыпал песком, а потом принялся лить туда воду. Сколько воды удалось влить Незнайке в бочку? Какими свойствами вещества следует воспользоваться при решении задачи?

**5.** До изобретения надёжных электрических термометров обычно использовались ртутные и спиртовые, но не везде. Например, в Антарктиду брали в основном спиртовые термометры. Почему?

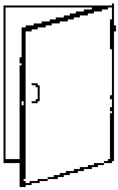
**6.** В пустой стакан положили лёд. Лёд постепенно тает, и стакан заполняется водой. Наконец на поверхности воды остаётся одна льдинка. Где вода холоднее, на дне или на поверхности?

**7.** Мастера Винтик и Шпунтик смастерили большой алюминиевый бак, вырезали сверху идеально круглое отверстие и выточили к нему плотную заглушку точно такого размера, как и само отверстие. Потом они налили полный бак воды и стали её кипятить. Когда вода вскипела, они попытались закрыть отверстие заглушкой. Подойдёт ли холодная заглушка к горячему отверстию? Если не подойдёт, то по какой причине?

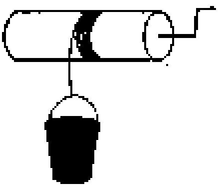


# СТАТИКА

*Dos moipu sto, kai tan gan kinaso.*
*Дайте мне точку опоры, и я поверну Землю.*
*/Архимед/*

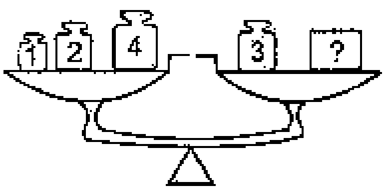


**1.** Почему ручки у дверей делают на стороне, противоположной петлям?

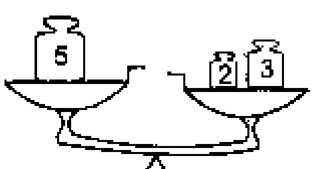


**2.** Попробуйте вывести «формулу ворота колодца».

**3.** Что определяют на рычажных весах?




**4.** Иван пришёл на базар купить 5 килограммов клюквы. Оказалось, что у продавца есть неправильные весы и любые правильные гири. Если поставить на одну чашечку весов гирю 5 кг, на другую поставить гири 2 кг и 3 кг – равновесия не получится.




Как можно правильно взвесить 5 кг клюквы на неправильных весах?

# КИНЕМАТИКА

**1.** Из деревни Гадюкино в Москву выходит дед Корней со скоростью 3 км/час. Из Москвы в Гадюкино выезжает его внук Иннокентий на самокате со скоростью 104 км/час. Кто из них будет ближе к Гадюкино в момент встречи, дед или внук?

По мотивам обсуждения решения этой задачи получился небольшой рассказ (стр. 30).

**2.** Между Москвой и Нижним Новгородом расстояние 425 км. Из Москвы в Нижний Новгород выезжает «Москвич» со скоростью 60 км/час. Через 2 часа навстречу ему из Нижнего Новгорода выезжает «Волга» со скоростью 90 км/час. Какое расстояние будет между «Москвичом» и «Волгой» за 1 минуту до встречи?

**3.** От дома до школы по прямой улице ровно 2 км. Вовочка вышел из дома в 7 часов 45 минут со скоростью 1 метр в секунду. Через 20 минут бабушка обнаружила, что он забыл дома портфель, и побежала за ним со скоростью 30 метров в секунду. Какое расстояние будет между ними за 2 секунды до того, как бабушка догонит Вовочку?

**4.** Пете и Маше предстояло добираться от железнодорожной станции в свою деревню. Маша пошла пешком с постоянной скоростью 4 км/час.

Петя пожаловался на тяжёлый рюкзак и устроился на телегу к знакомому фермеру. Правда, скорость, с которой лошадка тянула телегу, была всего 2 км/час. Ровно на половине пути Петя пересел в автобус, который ехал со скоростью 40 км/час.

Кто раньше оказался в деревне, Петя или Маша?

**5.** От дома Медвежонка до дома Лисёнка ровно 900 метров по прямой дороге. Медвежонок и Лисёнок сразу после завтрака одновременно покинули свои дома и отправились навстречу друг другу. Медвежонок шёл со скоростью 100 метров в минуту, Лисёнок бежал со скоростью 200 метров в минуту. Какое было между ними расстояние за 5 минут до встречи?

**6.** Иван Царевич выпустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 40$ м/с. Через какое время стрела окажется на высоте $h = 75$ м? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

## СКОРОСТЬ

**1.** По правилам соревнований модель самолёта должна пролететь от точки А до точки В и обратно. Модель «Колибри» пролетела от А до В за время $t_{AB} = 8$ секунд, а от В до А за время $t_{BA} = 10$ секунд. Между точками А и В расстояние $L = 120$ метров. Ветер дул строго от А к В.

Определите скорость ветра $v$. Определите скорость модели $V$ в отсутствии ветра (собственную скорость модели).

С какой средней скоростью $v_{СР}$ передвигалась модель?

**2.** На соревнованиях модель самолёта должна пролететь от точки А до точки В расстояние $L = 120$ метров. Собственная скорость (при полном отсутствии ветра) модели «Икар» $V = 12$ м/с, но ветер дует поперёк трассы со скоростью $v = 5$ м/с.

За какое время $T$ «Икар» пролетит от А до В?

**3.** Гоночные машины «Заяц» и «Волк» одновременно стартуют и мчатся по кольцевой трассе. Скорость «Зайца» $V_З = 40$ км/ч, скорость «Волка» $V_В = 50$ км/ч. Сколько кругов по трассе проедет «Волк», когда догонит «Зайца»?

**4.** Случилось так, что у организаторов соревнований моделей самолётов одновременно сломались секундомер и рулетка. Им на помощь пришёл сотрудник ГАИ, одолживший радар. Все модели пролетали от точки А до точки В и обратно. Расстояние между этими точками неизвестно, только радаром определяли скорость полёта моделей.

Модель «Ласточка» от А до В летела со скоростью $v_{AB} = 15$ м/с, а обратно со скоростью $v_{BA} = 9$ м/с. Определите среднюю скорость $v_{СР}$ полёта «Ласточки».

**5.** Для соревнований моделей кораблей выбрали прямой участок небольшой речушки с ровным течением. Из измерительных приборов в наличии имелся только секундомер. Модель катера «Быстрый» прошла от А до В за время $T_{AB} = 5$ минут, а от В до А за время $T_{BA} = 7$ минут. У модели яхты «Беда» на старте отказал двигатель, а паруса не могли ничем помочь из-за отсутствия ветра. За какое время «Беда» пройдёт по течению от А до В?

**6 (шутка).** К хвосту собаки кто-то привязал пустую консервную банку. С какой скоростью должна бежать собака, чтобы не слышать, как банка гремит по асфальту?

## ДИНАМИКА

**1.** Лошадь везёт телегу. Согласно 3-му закону Ньютона, телега действует на лошадь точно с такой же силой, с какой лошадь действует на телегу. Так почему телега едет вслед за лошадью, а не наоборот?

**2.** Два баскетболиста едут в поезде. Чтобы не терять времени, они соорудили два баскетбольных кольца в пустом товарном вагоне и тренируют штрафные броски. Один бросает мяч по ходу поезда, другой – против. Больше или меньше им следует вкладывать силы в бросок, чтобы мяч летел так же, как и в зале?

**3.** Заяц массой $M = 5$ кг бежал со скоростью 36 км/ч. Увидев вдалеке волка, он тут же упёрся лапами в землю, но до полной остановки скользил ещё $t = 2$ секунды. Определить силу $F$ трения заячьих лап о землю.

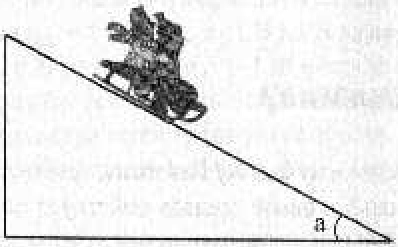
## РАБОТА. ЭНЕРГИЯ

**1.** Полено отнесли с первого этажа на второй. Его потенциальная энергия возросла на $\Delta E$. Потом полено сгорело в камине. Куда подевалась $\Delta E$?

**2.** Чаще всего историю открытия закона сохранения энергии рассказывают примерно так. В конце XVIII века английский физик Бенджамин Румфорд, исполнял обязанности директора завода, производящего пушки. В 1798 году он обратил внимание на сильный нагрев металла при сверлении пушечных стволов и предположил, что механическая энергия переходит в тепловую. Будучи настоящим физиком, Румфорд тут же поставил эксперимент. Он поместил пушечный ствол в бак с водой и принялся сверлить. В результате вода закипела.

Так физик доказал, что механическая работа превращается в тепло.

Всё ли логично в этой легенде?




**3.** Коэффициент трения санок о снег $K = 0.1$. Какой должен быть угол наклона горки $\alpha$, чтобы с неё можно было кататься на санках?

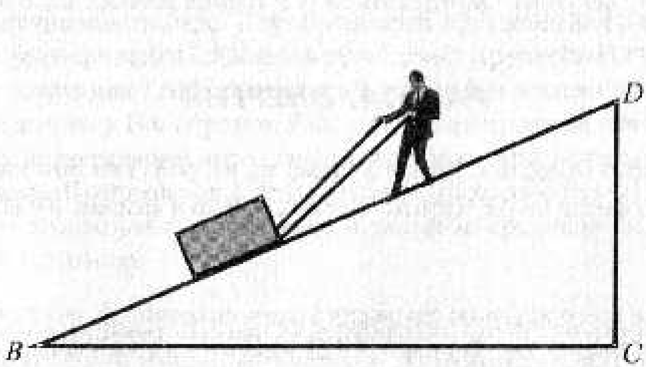
**4.** Пете надо доставить груз массы $m = 100$ кг из точки $B$ в точку $D$. Для этого есть два варианта.

1) Можно везти его по наклонной поверхности сразу из $B$ в $D$. $BD = 250$ м.

2) Можно сначала отвезти груз в точку $C$ по горизонтальной поверхности, а потом поднять его в точку $D$. $BC = 240$ м, $CD = 70$ м.

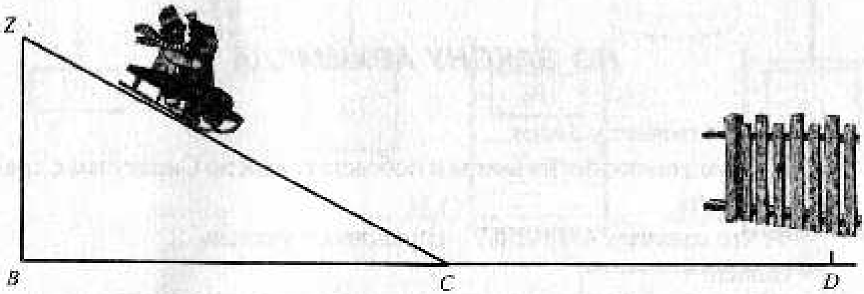
Коэффициент трения $K = 0{,}1$.

На какой путь потребуется затратить меньше работы?



**5.** Какой путь стоит выбрать Пете?

**6.** Маша и Саша собираются съехать с горки на санках, высота которой $ZB = 10$ м. В точке $D$ стоит забор, $BD = 50$ м. Коэффициент трения санок о снег $K = 0{,}2$. Доедут ли Маша и Саша до забора или остановятся раньше?




**7.** Механики Винтик и Шпунтик участвовали в авторалли. В горах Винтик не справился с управлением машины массой 800 кг и врезался в каменную стенку на скорости $\upsilon_В = 54$ км/ч. Шпунтик резко затормозил, его машина массой 700 кг остановилась на самом краю обрыва и упала на камни с высоты $Н_Ш = 15$ м. Обоих спасли подушки безопасности, но машины пострадали. Чья машина получила большие повреждения?

**8.** Карлсон завис над домом Малыша с огромным леденцом и случайно выронил его. Какое расстояние $L$ пролетит леденец, когда достигнет скорости $\upsilon = 30$ м/с? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

**9.** Иван Царевич выпустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $\upsilon_0 = 40$ м/с. На какой высоте Н окажется стрела, когда её скорость уменьшится до величины $\upsilon = 30$ м/с? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

**10.** Иван Царевич выпустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $\upsilon_0 = 40$ м/с. Мы уже знаем, что на высоте $h = 75$ м стрела окажется дважды, пролетая туда и обратно. Когда у стрелы будет больше величина скорости, при подъёме или при спуске? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

**11.** Карлсон уронил леденец с высоты $H = 100$ м, а Иван Царевич запустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 50$ м/с. На какой высоте $h$ леденец и стрела будут иметь одинаковые по величине скорости? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

## ПО ЗАКОНУ АРХИМЕДА

Ученик отвечает у доски.

– Архимед выскочил из ванны и побежал голый по Сиракузам с криком «эврика!»

– А что означает «эврика»? – спрашивает учитель.

– Нашёл!

– Прекрасно, – говорит учитель. – А что нашёл Архимед, когда сидел в ванне?

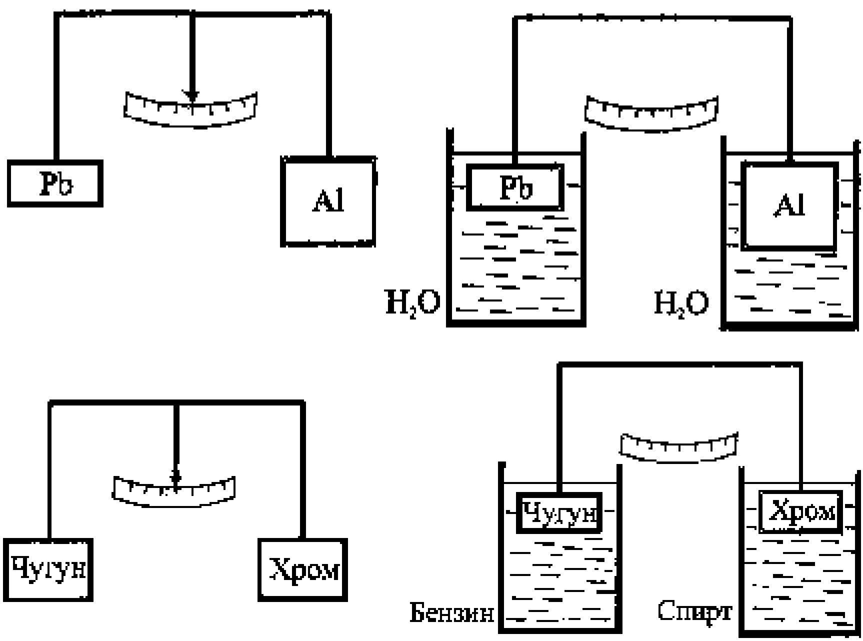
– Кажется, мыло.

**1.** В стакане с водой плавает кусочек льда. Как изменится уровень воды в стакане, после того как лёд растает?

**2.** В стакане с водой плавает кусочек льда. На этом кусочке лежит золотая гайка. Как изменится уровень воды в стакане, после того как лёд растает?

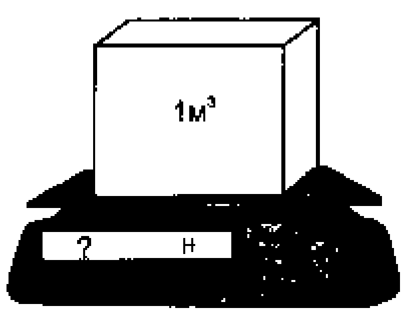
**3.** Освобождая Сестрицу Алёнушку из темницы, Иван Царевич получил жестокие раны. Чтобы оживить и вылечить Ивана Царевича, Сестрица Алёнушка отправилась на Сером Волке за «живой» и «мёртвой» водой. «Мёртвая» вода, как и положено, тяжелее «живой». Примчал Алёнушку Серый Волк к двум родникам. В одном «живая» вода, в другом – «мёртвая». И тут обнаружилось, что у Алёнушки только одна бутылка. Помогите Алёнушке. Как ей поступить, чтобы не возвращаться лишний раз к родникам?

**4.** К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в воду? спирт? Какой цилиндр перевесит? Нарисуй стрелку весов.

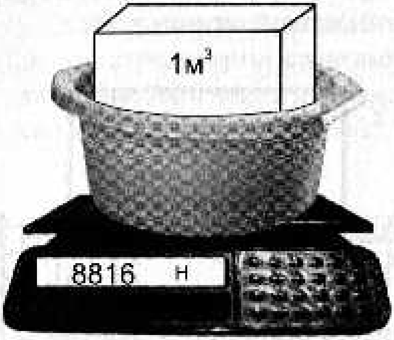



**5.** К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: чугунный и хромовый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в жидкость, хромовый – в спирт, а чугунный – в бензин? Какой цилиндр перевесит? Нарисуй стрелку весов.

**6.** В помещение внесли ровно 1 м$^3$ льда и поставили на очень точные весы. Что покажут весы?



**7.** В помещение внесли ровно 1 $м^3$ льда и поставили на очень точные весы. Что покажут весы, когда лёд растает? Вся вода остаётся на чашке весов.





**8.** В этом разделе просто невозможно обойтись без задачи, решённой самим Архимедом. Однажды Царь Гиерон попросил Архимеда определить, сделал ли ювелир корону из чистого золота или добавил туда серебра? Архимед справился с задачей, открыв при этом закон своего имени. В задаче используются современные единицы, хотя, признаться честно, Архимед про Ньютона ничего не знал, да и не мог знать, так как жил на две тысячи лет раньше.

Царская корона сделана из золота и серебра. Вес короны $P$ = 61,3 Н. Когда корону целиком опустили в воду, её вес оказался равным $P_1$ = 56,3 Н. Сколько в короне золота и сколько серебра?

**9.** Помните, Винни Пух очень хотел отведать мёда? Чтобы добраться до дупла, где жили пчёлы, он надул ртом воздушный шарик и полетел, но «неправильные» пчёлы ему помешали. Найдите ошибку.

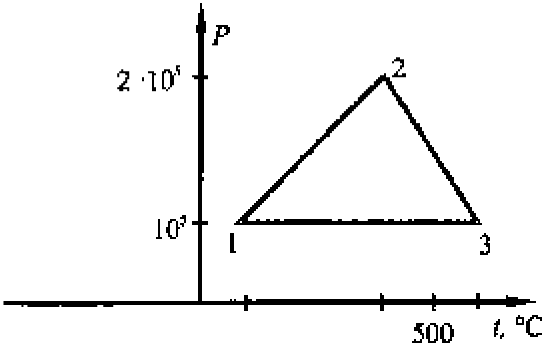
## ГАЗ

**1.** Оцените массу воздуха M в помещении, где вы сейчас находитесь.

**2.** Один кубический километр воздуха в нормальном состоянии охладили до твёрдого состояния и сжали так, что он уместился в шарик диаметром 5 см. Посчитайте плотность шарика.

**3.** Над идеальным газом совершают процесс 1–2–3. На диаграмме p – *t* это выглядит так.

Точка 1: $t_1 = 100$ °C, $P_1 = 10^5$ Па.

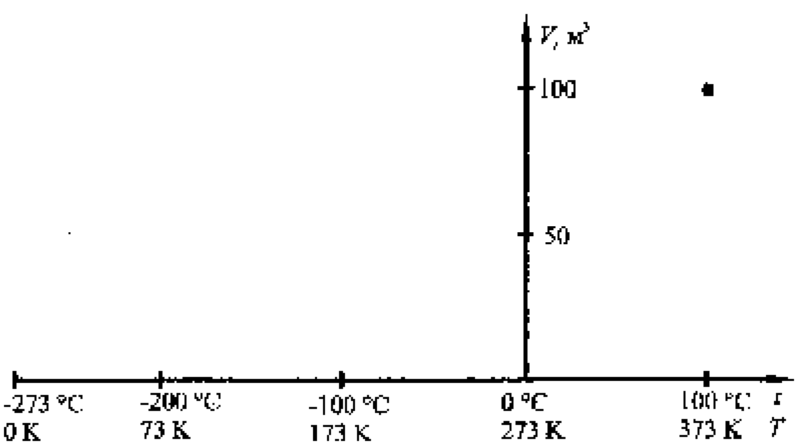



Точка 2: $t_2 = 400$ °C, $P_2 = 2{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Точка 3: $t_3 = 600$ °C, $P_3 = 10^5$ Па.

Найти отношение максимального $V_{max}$ и минимального $V_{min}$ объёмов газа.

**4.** Есть 100 м$^3$ воздуха при температуре T = 373 K и нормальном давлении. Воздух охлаждают при постоянном давлении (изобарный процесс). Постройте график зависимости объёма воздуха *V* от температуры *T*. Точкой на графике обозначено начальное состояние воздуха. Считать воздух идеальным газом.



## ДАВЛЕНИЕ

**1.** Петя встал на напольные весы, и они показали 40 кг. Сколько покажут весы, если Петя поднимет одну ногу?

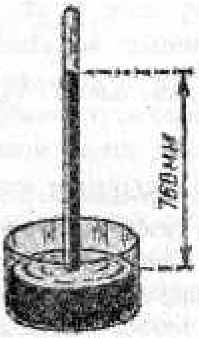
**2.** Незнайка сидел на скамейке и морщился от боли.

– Что случилось? – спросил Знайка.

– Вон та дама, – Незнайка показал на удаляющуюся женщину, – своим каблуком мне на ногу наступила. Больно.

– Хорошо, что не слон, – усмехнулся Знайка.

А кто, по-твоему, больнее наступит тебе на ногу, слон или женщина на каблуках?




**3.** Во всех школьных учебниках есть описание такого явления. Запаянная с одного конца метровая стеклянная трубка полностью заполняется ртутью. Открытый конец трубки зажимается пальцем, трубка переворачивается и погружается в сосуд с ртутью. Потом палец убирается, и уровень ртути в трубке понизится и остановится на высоте 760 мм над поверхностью ртути в сосуде.

Если взять достаточно длинную трубку, ртуть заменить водой и повторить опыт, то вода опустится до уровня 10260 мм или 10 м 26 см.

До какого уровня опустится спирт?

**4.** На земле у подножья башни Сен-Жак ртутный барометр показал как раз 760 мм, а на вершине – 755 мм. Какая высота башни?

Можно считать, что до высоты 500 м плотность воздуха постоянная.

## ВЛАЖНОСТЬ

**1.** Около кассы открытого катка двое беседовали с полицейским.

– Я бухгалтер этого парка, – объяснял человек в мохнатой шапке. – Пришёл в кассу забрать дневную выручку, а кассир жалуется, что у него украли все деньги.

– Да, – подтвердил гражданин в очках. – Сегодня выходной, прекрасный морозный денёк. Билетов продал много. Вдруг какой-то бандит засунул руку в окошко, схватил все деньги из кассы и скрылся.

– Вы хоть успели его рассмотреть? – спросил полицейский.

– Куда там! – вздохнул кассир. – Как только я выскочил на улицу, мои очки сразу запотели, и я даже не увидел, в какую сторону этот бандит побежал.

– Поищите деньги у кассира, – посоветовал полицейский бухгалтеру.

Почему он так решил?

**2.** Самоделкин сконструировал две одинаковые установки, «высасывающие» всю воду из воздуха. Каждая установка обрабатывала в минуту 100 м$^3$ воздуха. Одну установку Самоделкин отправил в пустыню, другую – полярникам.

В пустыне установку запустили при температуре $t_п = 40\ ^\circ C$ и относительной влажности $\varphi_п = 5\%$.

На льдине установку запустили при температуре $t_л = -10\ ^\circ C$ и относительной влажности $\varphi_л = 60\%$.

Где быстрее получат 1кг воды?

**3.** Знайка и Незнайка отправились в поход. Вечером из сообщений радио они узнали, что в районе их похода температура воздуха +20 °С и относительная влажность воздуха 54%. Утром Незнайка вылез из палатки и заявил, что очень сильно замёрз.

– Наверное, заморозки ночью были, – пробормотал он.

– Если ты считаешь, что +10 °С – это заморозки, то они были, улыбнулся Знайка. – Но ниже температура не опускалась.

Как Знайка определил ночную температуру? Ведь ночью он спал.

## ГРАВИТАЦИЯ

**1.** Можно ли ударить ракеткой по теннисному мячику так, чтобы он, пролетев некоторое расстояние, остановился и начал двигаться в обратном направлении? Дополнительное условие: мячик должен вернуться сам. Он ни обо что не ударяется и ни к чему не привязан.

**2.** Снаряд вылетает из пушки вертикально вверх с начальной скоростью $\upsilon_0 = 300$ м/с. Через сколько секунд он окажется на высоте $H = 4$ км? Размерами пушки и сопротивлением воздуха можно пренебречь. Считать $g = 10$ м/с$^2$.

**3.** Дом с плоской крышей имеет высоту $H = 40$ м. На расстоянии $L = 60$ м от дома установлена теннисная пушка. Пушка выстрелила мячиком под углом $\alpha = 37°$ к горизонту с начальной скоростью $\upsilon_0 = 50$ м/с. Через сколько секунд мячик упадёт на крышу дома? Сопротивлением воздуха и размерами пушки пренебречь. Считать $g = 10$ м/с$^2$, $\sin\alpha = 0{,}6$, $\cos\alpha = 0{,}8$.

**4.** Человек на космической станции находится в состоянии невесомости. Действует ли на него притяжение Земли?

**5.** Космическая станция движется около Земли по круговой орбите на высоте $h = 300$ км. Определите её скорость $\upsilon$, если на ней всё находится в состоянии невесомости.

**6.** Буратино в поисках нефти принялся бурить на Поле Чудес скважину диаметром 10 м и так постарался, что пробурил всю Землю насквозь точно через её центр. Нефти там не оказалось, но Буратино показалось, что с той стороны на него смотрит туземец и строит рожу. Естественно, Буратино бросил в скважину камень. Что будет с камнем?

**7.** Будем считать, что на поверхности Луны притяжение в 7 раз меньше, чем на поверхности Земли $g_Л = g_З/7$. Спортсмен в зале на Земле прыгает в высоту на $H_З = 2$ метра. Оцените высоту $H_Л$, которую он может преодолеть точно в таком же зале на Луне?

**8.** Когда на Земле биатлонист стреляет в мишень, пуля из винтовки вылетает со скоростью 300 м/с. С какой скоростью эта пуля вылетит из этой же винтовки на Луне? Будем считать, что на поверхности Луны притяжение в 7 раз меньше, чем на поверхности Земли.

**9.** Незнайка выиграл в лотерею билет на космическую станцию. Скоро он туда отправился и вернулся через неделю со сломанным пальцем, закованным в гипс, и синяком под глазом.

– Ты там что, с инопланетянами подрался? – рассмеялись его друзья.

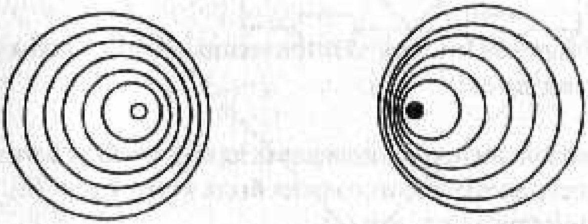
– Нет. Я на экскурсию в открытый космос выходил, – объяснил Незнайка. – А тут как раз сигнал поступил «обедать». Я от радости движок у скафандра чуть сильнее, чем надо, включил, ну и врезался в переходной отсек. Палец сломал и синяк получил.

– Ну, и здоров же ты сочинять! – ещё больше рассмеялся Знайка. – Ты же там ничего не весил, так что сломать ничего не мог.

Кто прав, Знайка или Незнайка?

## КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

**1.** Двое плывут по озеру. При каждом взмахе руки образуются волны. На рисунке кружочки – это волны, а точки – пловцы. Кто плывёт быстрее – пловец в белой шапочке ○ или пловец в чёрной шапочке ●?



**2.** Математический маятник длиной $L = 1.000$ м раскачивается в Лондоне с периодом $T = 2{,}006$ с. Какое в Лондоне ускорение свободного падения $g_Л$? Посчитайте с точностью до четвёртого знака.

**3.** Математический маятник длиной $L = 1.000$ м (из предыдущей задачи) в Лондоне висит неподвижно. Какой теперь его период колебания $T$?

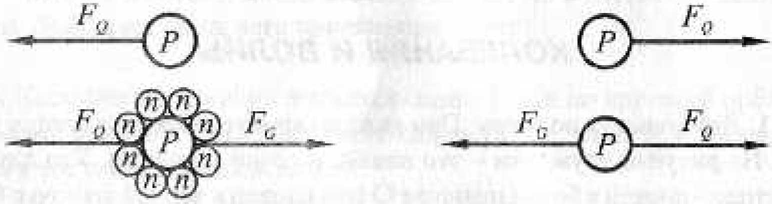
**4.** На Луне математический маятник совершает 6 колебаний в минуту. Сколько колебаний в минуту совершит этот маятник на Марсе?

# ЭЛЕКТРОСТАТИКА

**1.** Есть несколько одинаковых металлических шариков, один из них имеет заряд $1{,}6 \cdot 10^{-8}$ Кл. Как получить шарик с зарядом $2 \cdot 10^{-9}$ Кл?

**2.** Есть несколько одинаковых металлических шариков, один из них имеет заряд $1{,}6 \cdot 10^{-8}$ Кл. Как получить шарик с зарядом $5 \cdot 10^{-9}$ Кл?

**3.** Два протона, каждый с зарядом $q_p = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, отталкиваются с силой $F_Q$. Сколько потребуется нейтронов $N$, чтобы удержать протон на месте силой гравитации $F_G$? Массу нейтрона считать равной массе протона $m_n = m_p = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг.




**4.** Как расположить три электрических заряда, чтобы они оставались неподвижными?

**5.** Как расположить три одинаковых заряда, чтобы в заданной точке $O$ напряженность электрического поля была равна нулю ($E_0 = 0$)? Какой получится потенциал в точке $O$?

**6.** Как расположить $N$ одинаковых зарядов, чтобы в заданной точке $O$ напряженность электрического поля была равна нулю ($E_0 = 0$)? Какой получится потенциал в точке $O$?

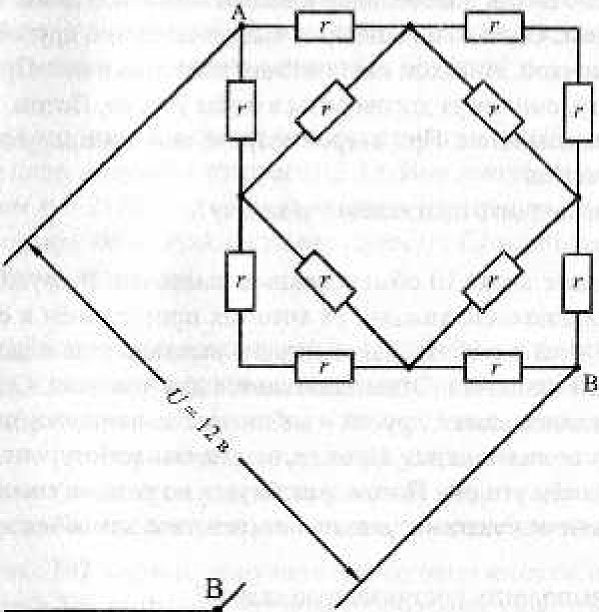
**7.** Как расположить четыре разных положительных заряда ($q_1$, $q_2$, $q_3$, $q_4$), чтобы в заданной точке $O$ напряженность электрического поля была равна нулю ($E_0 = 0$)?

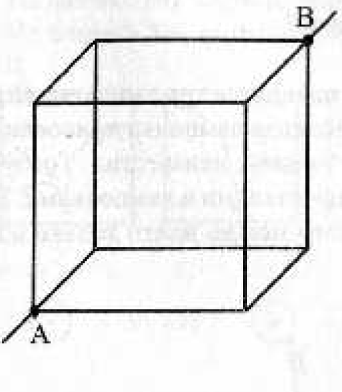
# ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

**1.** Мастеру Самоделкину срочно понадобилось сопротивление $R = 8$ ом, но у него в наличии оказались только четыре сопротивления по $r = 20$ ом каждый. Как Самоделкину поступить?

**2.** Мастер Самоделкин собрал такую схему. Все сопротивления в ней одинаковые $r = 15$ ом. Напряжение между точками А и В $U = 12$ в.

Какой общий ток $I$ в цепи?




**3.** Из проволоки сделан каркас кубика. Каждое ребро имеет сопротивление $r = 1$ ом. Рассчитайте полное сопротивление кубика $R$ между точками А и В.

**4.** Человек каждый день приходит в тёмный курятник собрать яички. Там есть лампочка, которая может светить только десять суток, потом перегорит. Её можно 10 раз включить и выключить, потом она тоже перегорит. Сколько дней человек сможет пользоваться этой лампочкой?

**5.** В комнате висит обыкновенная лампочка. Выключатель от неё находится в другой комнате. Но он там не один, в той комнате много одинаковых выключателей, например десять. Требуется выяснить, какой именно выключатель подсоединен к нашей лампочке. Этим занимаются два человека. Один из них щёлкает выключателями, другой – наблюдает за лампочкой. Никакой связи между комнатами нет. Прежде, чем начать работу, они могут договориться о чём угодно. Потом разойдутся по разным комнатам. При второй встрече они должны указать нужный выключатель.

Как им выполнить поставленную задачу?

**6.** В комнате висят 10 обыкновенных лампочек. В другой комнате есть 10 выключателей, каждый из которых присоединён к своей лампочке. Требуется выяснить, какой именно выключатель подсоединен к определённой лампочке. Этим занимаются два человека. Один из них щёлкает выключателями, другой – наблюдает за лампочками. Никакой связи между комнатами нет. Прежде, чем начать работу, они могут договориться о чём угодно. Потом разойдутся по разным комнатам. При второй встрече они должны указать соответствие лампочек и выключателей.

Как им выполнить поставленную задачу?

**7.** Есть две комнаты. В одной из них находятся три выключателя, в другой – три обыкновенные лампочки. Каждая лампочка присоединена к одному выключателю, но к какому именно, неизвестно. Требуется установить соответствие между выключателями и лампочками. Помощников нет, и в ту, и в другую комнату можно войти только один раз.

# МАГНЕТИЗМ

**1.** Отвечая у доски, Петя сказал, что между электрическими и магнитными явлениями нет ничего общего, и тут же получил двойку. Почему?

**2.** Вова учел неудачный ответ Пети и заявил, что между электрическими и магнитными явлениями нет никакой разницы, и тоже получил двойку. Почему?

**3.** Есть четыре одинаковых бруска размером 4 см × 5 см × 25 см, окрашенные чёрной краской. Бруски сделаны из золота, никеля, титана и меди. Как можно определить материалы брусков?

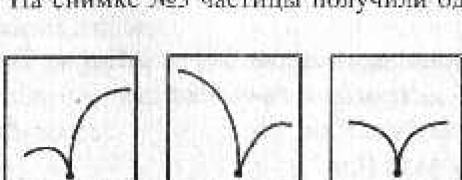
**4.** Ион углерода $^{12}_{6}C$ влетает со скоростью $\upsilon = 10^6$ м/с в однородное магнитное поле, индукция которого 0,3 Тл. Ион двигается по окружности радиусом $r = 21,25$ см, причем направление индукции магнитного поля перпендикулярно плоскости окружности. Сколько электронов не хватает в атоме углерода?

**5.** Учёный сделал несколько снимков в магнитном поле следов частиц, родившихся в результате столкновения налетающей и неподвижной частиц. Каждый раз рождались протон и $\pi^-$мезон. На всех снимках направление вектора магнитной индукции перпендикулярно плоскости снимков, а траектории частиц лежат в плоскости снимков. Известно следующее.

На снимке №1 частицы получили одинаковые скорости: $\upsilon_p = \upsilon_{\pi^-}$.

На снимке №2 частицы получили одинаковые импульсы: $P_p = P_{\pi^-}$.

На снимке №3 частицы получили одинаковые кинетические энергии: $E_p = E_{\pi^-}$.



? ? ?

⊙ — на нас ⊕ — от нас

Заряд $\pi^-$мезона равен заряду электрона, масса $M_{\pi^-} = 2,5 \cdot 10^{-28}$ кг.

Расставьте номера под соответствующими снимками и определите направление вектора $B$.

**6.** Когда Центральное телевидение в очередной раз покажет классическую комедию Л. Гайдая «Операция Ы...», внимательно посмотрите новеллу об экзамене и постарайтесь обнаружить там ошибку.

## ТЕПЛО

**1.** В комнате или классе прикоснитесь одной рукой к чему-нибудь деревянному, а другой рукой – к металлу (только не к тёплой батарее). И у дерева, и у металла комнатная температура, но металл кажется на ощупь холоднее. Почему?

**2.** Горит костёр. У вас есть металлический ломик и таких же размеров деревянная дубинка. В правой руке вы держите ломик, а в левой – дубинку. Свободные концы ломика и дубинки лежат в костре. Какую руку вы рискуете обжечь?

**3.**

| |
|---|
| Лучшие термосы в мире!<br>В нашем термосе 24 часа<br>горячее остается горячим!<br>Холодное остается холодным!<br>Купите наш термос,<br>не пожалеете! |

Японка Акто Иди поверила рекламе, купила термос, но уже через пятнадцать минут подала на фирму-производителя в суд за ложную информацию.

– Фирма даёт гарантию своим термосам на 24 часа. Как же Вы за 15 минут убедились в обмане? – спросил судья японку.

– Очень просто, – объяснила Акто Иди. – Я ...

Что же сделала с термосом Акто Иди?

**4.** Есть $m_1 = 1$ кг воды при температуре $T_1 = 20$ °С и $m_2 = 1$ кг воды при температуре $T_2 = 70$ °С. Воду перемешали. Какая получилась температура смеси $\theta$?

**5.** Есть $m_1 = 2$ кг воды с температурой $T_1 = 20$ °C и $m_2 = 3$ кг воды с температурой $T_2 = 60$ °C. Определите температуру смеси $\theta$.

**6.** В кастрюле находится 1 кг воды при температуре $T_{к1} = 20$ °C, в пакете находится 1 кг воды при температуре $T_{п1} = 70$ °C. Пакет с водой опустили на 1 минуту в кастрюлю, после чего температура воды в пакете опустилась до $T_{п2} = 63$ °C. Определите температуру воды в кастрюле $T_{к2}$. Теплоёмкость кастрюли и пакета учитывать не надо.

**7.** Будем различать воду по её начальной температуре. Ту воду, у которой начальная температура была ниже, будем до конца задачи называть водой «холодной», независимо от того, какая температура будет у неё получаться в процессе решения задачи. Ту воду, у которой начальная температура была выше, будем называть водой «горячей». После теплообмена их температуры изменяться. Температура «холодной» воды повысится, а «горячей» – понизится. Можно ли сделать так, чтобы конечная температура «холодной» воды после теплообмена стала выше конечной температуры «горячей» воды?

**8.** Требуется прокипятить 10 кг воды, чтобы убить в ней все микробы. Для этого надо нагреть всю воду с 20 °C до 100 °C, пар получать не обязательно. Однако топлива у вас хватит, чтобы прокипятить лишь 8 кг воды. Что делать?

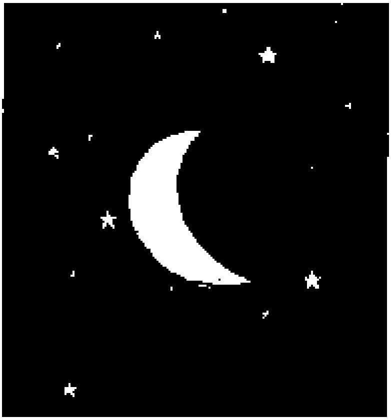
**9.** На экзамене профессор задал студенту такой вопрос: «На Вас вылился 1 кг кипящей воды, а на меня (профессора) попал 1 кг водяного пара, температура которого, как и воды, равна 100 °C. Кто из нас обожжется сильнее?»

– Профессор, я Вас заслоню своим телом! – ответил студент, и тут же получил заслуженную пятёрку. Как правильно ответить на вопрос профессора?

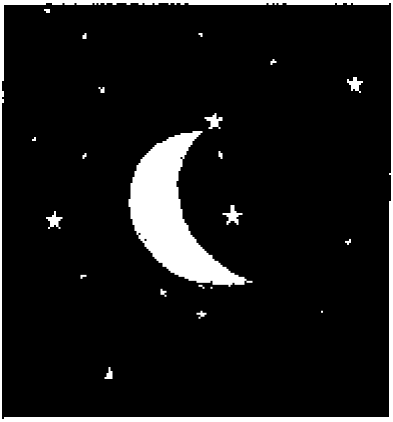
**10.** Почему на Южном Полюсе гораздо холоднее, чем на Северном Полюсе?

# ОПТИКА

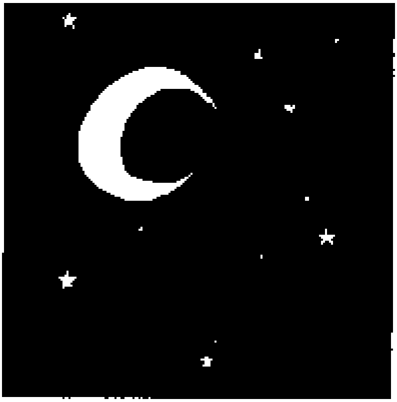
1. Это детские рисунки ночного неба. Попробуй определить, есть ли неточности на этих рисунках. Если есть, то чьи это рисунки и что за неточности?



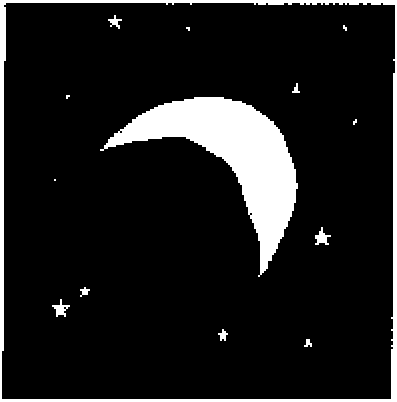
Маша Д.



Саша К.



Света А.



Миша В.

**2.** Две с половиной тысячи лет назад Фалес Милетский при помощи шеста определил высоту египетской пирамиды. Как ему это удалось, если на саму пирамиду он не поднимался? Каким физическим законом он воспользовался?

**3.** Видимый с Земли угловой размер Солнца $\beta = 0{,}5^\circ$. В данный момент Солнце «висит» над горизонтом под углом $\alpha = 15^\circ$. Какая длина $l$ тени столба, высота которого $H = 10$ метров и толщина $d = 25$ сантиметров?

**4.** На витрине лежало увеличительное стекло и сопровождалось таким текстом:

| Наша линза увеличивает всё в 2 раза! |
|---|

– Это неверно, – заявил Петя. – Готов поспорить, что эта линза не всё увеличивает в 2 раза.

– Докажи, – не поверил продавец.

– Пожалуйста, – улыбнулся Петя и положил на прилавок 1 рубль. – Что, Вы видите через линзу 2 рубля?

– А, ведь, правда, – согласился продавец, – придётся придумать другую надпись.

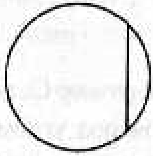
На следующий день надпись гласила:

| Всё, что вы начертите, наша линза увеличит в 2 раза! |
|---|

Петя заглянул в магазин, прочитал плакат и заявил, что в нём опять кроется ошибка. Так в чём же ошибка?

**5.** Если пропустить солнечные лучи через собирающую линзу и поместить в её фокус дощечку, то эта дощечка задымится и на её поверхности появится выжженная точка. Линза диаметром $d = 10$ см даёт при нормальном расположении 2-х кратное увеличение, а линза диаметром $d = 7$ см даёт 5-и кратное увеличение. При помощи какой линзы можно быстрее выжечь точку на дощечке?

**6.** Линза с фокусным расстоянием 25 см раскололась, как показано на рисунке. Чему равно фокусное расстояние у каждой из частей линзы?



**7.** Эта история случилась ещё во времена плёночных фотоаппаратов. Фотограф получил задание сделать фотографию зебры. Но, увы, в зоопарке города Санкт-Володбург зебра не проживала, зато имелась в наличии великолепная белая лошадь. Тогда фотограф наклеил на объектив фотоаппарата чёрные полоски и сфотографировал эту лошадь, надеясь таким образом «переделать» её в зебру. Что у него получилось?

**8.** 4 октября 1957 года в Советском Союзе был произведён запуск первого искусственного спутника Земли. Размер самого спутника 0,58 м, размер ракеты-носителя 30 м. И спутник, и ракета двигались по эллиптической орбите на высоте от 288 км до 947 км. Могли ли люди их наблюдать невооруженным глазом? Чтобы видеть предмет, необходимо, чтобы он наблюдался под углом не меньшим, чем одна угловая минута.

**9.** Анекдот: муха, севшая на объектив телескопа, даже не подозревала, что лишила астронома Кукушкина Нобелевской премии, так как не позволила ему открыть сверхновую, внезапно вспыхнувшую в туманности Андромеды. Оцените анекдот с точки зрения физики.

**10.** В одном из научно-фантастических романов Жюля Верна люди сделали линзу из стёкол, сняв их с часов и заполнив промежуток водой. В другом его романе герой сделал линзу изо льда и отполировал её поверхность ладошкой. Знаменитый капитан Врунгель для получения линзы просто обтесал льдину топором (действие происходит в книге). Во всех этих случаях самодельные линзы позволяли получить достаточно тепла, чтобы разжечь огонь и вскипятить воду. Возможно ли такое?

Коэффициент преломления воды и льда примерно $n = 1{,}3$.

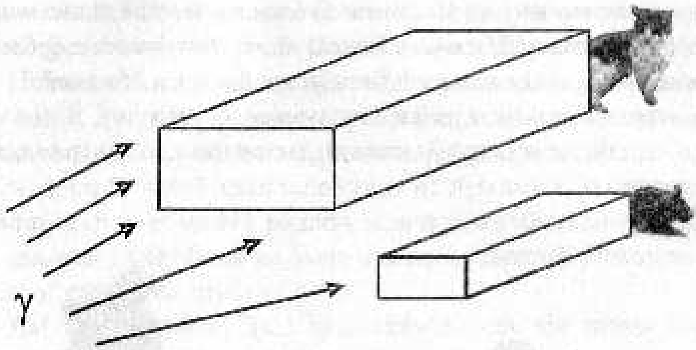
# РАДИОАКТИВНОСТЬ

**1.** Космический зонд обнаружил небольшой астероид массой 32768 кг, состоящий из 1 кг $^{235}U$ и 32767 кг продуктов его деления. Профессор Навлоб тут же предположил, что первоначально астероид состоял из чистого $^{235}U$ и подсчитал время его рождения. По расчетам профессора этот астероид образовался около 10,5 миллиардов лет назад.

Если предположение профессора Навлоба верно, то правильно ли он подсчитал возраст астероида?

**2.** Вам ничего не показалось странным в условии предыдущей задачи? Верно ли предположение профессора?

**3.** Мышка и кошка спрятались от сильного гамма-излучения за бетонными блоками. Кто из них надёжнее защищён? Длина блоков одинаковая.



# РАССКАЗЫ

## *ТРУДНАЯ ЗАДАЧА*

Папа купил мне развивающую книжку-раскраску для подготовки к школе. Больше всего мне, конечно, нравилось раскрашивать. А задачки решала только те, где картинки были интересными. Одна попалась очень занятная. По дорожке шёл бородатый дед, а навстречу ему летел внук на мотоцикле. Я попросила папу прочитать условие задачки. Папа прочитал:

*Из Бубликово в Москву вышел дед Матвей со скоростью 5 км/час. Через час навстречу ему из Москвы в Бубликово выехал на мотоцикле его внук со скоростью 107 км/час. Кто из них будет ближе к Бубликово в момент встречи, дед или внук? Кто будет ближе к Москве?*

Пока раскрашивала деда, всё время думала про задачку. Я уже умею считать до десяти, иногда получается до двенадцати, а один раз даже до

семнадцати досчитала, но в задачке числа были чересчур большие. Пришлось звать на помощь папу:

– Пап, а сто семь больше, чем семнадцать?

– Больше, – сразу ответил папа, вгляделся в условие задачки и задумался. – Ты себя не мучай, тут систему уравнений составлять требуется. Кто додумался такие задачки малышам предлагать?

Я докрасила внука и поинтересовалась:

– Так кто же будет ближе к Бубликово?

Папа взял листочек и долго что-то писал, потом зачеркивал, опять писал и опять зачеркивал. Через час он отложил ручку.

– Подзабыл я что-то, – виновато сказал он. – Ладно, сейчас всем спать, а завтра я на работе всё решу. У нас, всё-таки, инженеры с высшим техническим образованием. В случае чего – помогут.

На следующий день после обеда папа позвонил с работы.

– Напомни-ка условие задачки, – попросил он. – Тут у нас все уверены, что там что-то напутали.

Вечером папа пришёл с работы какой-то задумчивый. Обычно он первым делом моет руки и ужинает. Но сейчас он взял книжку, долго в неё смотрел и качал головой. Потом позвонил приятелю, дяде Мише.

– Понимаешь, мне кран в ванной чинить надо, а у дочки задачка не получается. Ты за пять минут справишься, – и папа продиктовал условие задачки. – Как решишь, перезвони. Договорились?

Конечно, никакой кран в починке не нуждался, но не мог же папа признаться, что не может решить задачку для дошкольников. Прошло часа два, а от дяди Миши не было никаких известий. Наконец, раздался звонок, и папа снял трубку.

– Да! Здравствуйте! Да… да… сейчас… да, это точно, я проверял. Хорошо. Будем Вам благодарны.

Папа положил трубку и радостно потёр руки.

– Считай, что твоя задачка решена! Это звонил профессор Бабин, товарищ Русанова, приятеля нашего дяди Миши. Он преподаёт математику в Университете. Пообещал, что завтра даст эту задачку своим студентам. Уж они-то наверняка решат.

Назавтра позвонил дядя Миша и передал извинения от профессора Бабина. Оказывается, этот профессор считает, что задача неполная, и в таком виде решения вовсе не имеет.

В комнату вошла мама и поинтересовалась, чего я такая грустная.

– Очень жалко, – пояснила я. – Задачку раскрасила, а она, оказывается какая-то худая.

– Не худая, а неполная, – поправил папа. – Её даже в Университете решить не смогли, ни студенты, ни профессора. Вот, посмотри сама, какие ужасные задачки детишкам предлагают.

Мама взглянула и рассмеялась.

– В момент встречи дед и внук будут на одинаковом расстоянии и от Москвы, и от Бубликово, и от чего угодно, даже от Северного Полюса.

Папа сразу кинулся к телефону и стал успокаивать всех, кто трудился над решением моей задачки. Она оказалась совсем простой.

А в школу я пошла через год.

## ЧАЙ ПО-АВСТРАЛИЙСКИ

«Ведро с водой равномерно вращается по окружности в вертикальной плоскости на верёвке, длина которой 1 метр. Какой должна быть минимальная угловая скорость вращения, чтобы вода не выливалась из ведра?»

Задача примерно такого содержания уже много лет кочует по школьным и вузовским задачникам. И все, не исключая автора, с энтузиазмом подсчитывают угловую скорость, при которой в верхней точке траектории центростремительное ускорение будет равно ускорению свободного падения.

Теперь, собственно, о чае. Чай, заваренный по-австралийски, нам как-то предложил попробовать Александр Никифоров, больше известный в туристских кругах по прозвищу «Война». Получив наше восторженное согласие, он засыпал во вскипевшую воду положенное количество чая, привязал к дужке котелка верёвку и принялся раскручивать это сооружение в вертикальной плоскости. Точь-в-точь, как в задаче. Котелок такого к себе отношения не выдержал, дужка отскочила, но мы все успели увернуться. Надо заметить, что чай выплеснулся только после приземления.

Мы сняли этот эпизод в кино, что спустя много лет мне пригодилось на уроке физики.

17 января.

– Бедный велосипедист, – вздохнул Дима.

– Почему же он бедный?

– Посмотрите. «Велосипедист едет с постоянной скоростью по выпуклому мосту», – начал зачитывать условие задачи Дима. – Так… детали пропускаем… вот. «Найти вес велосипедиста в верхней точке моста».

– Причём здесь велосипедист? Задача, как задача, – я так и не понял, куда клонит Дима.

– Пока велосипедист поднимается, чтобы сохранить постоянную скорость, он должен сильно педали крутить, всё-таки в гору едет, – пояснил Дима. – А потом под горку притормаживает, вместо того, чтобы катиться просто так. И это всё только для того, чтобы угодить авторам задачника. Вот я и жалею его.

– Или вот другая задача, где человек крутит на верёвке ведро с водой, – поддержала товарища Оля. – Он что, псих ненормальный или дурак сумасшедший?

Я сразу вспомнил чай по-австралийски и рассмеялся.

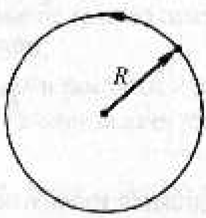
– На следующем занятии вы увидите эту задачу в действии.

20 января.

Принёс проектор и показал ребятам эпизод с заваркой чая.

– Нет… здесь на условие задачи что-то не похоже, – протянул Костя. – Ваш товарищ котелок неравномерно вращает, а в задаче сказано, что с постоянной скоростью.

Посмотрели кино ещё раз и согласились с Костей. Предлагаю ребятам нарисовать схему задачи. Почти у всех получается примерно такая картинка.




Что ж, подавляющее большинство учеников и авторов задачников подразумевают, что схема задачи выглядит именно так.

Из постоянства угловой скорости следует, что центростремительное ускорение $a_ц$ всегда направлено к центру окружности и величина его не меняется.

$$a_ц = \omega^2 \cdot r.$$

На тело постоянно действуют две силы: сила тяжести $mg$ и сила натяжения верёвки $F$, направление которой всё время меняется, поскольку она должна быть направлена строго к центру вращения. Так как тело вращается равномерно, величина его скорости не меняется. Это значит, что тангенциальное ускорение отсутствует и сумма этих сил определяет центростремительное ускорение по 2-му закону Ньютона:

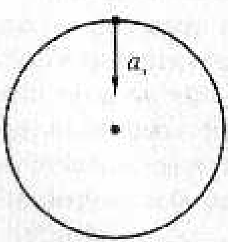
$$\vec{a}_ц = \frac{m\vec{g} + \vec{F}}{m}.$$

В верхней точке всё просто, обе силы направлены вниз.

– Вода выльется из ведра, если центростремительное ускорение будет меньше ускорения свободного падения, – заметил Саша. – Тогда силы тяжести воды хватит, чтобы и саму воду повернуть, и заставить её падать.

– А если центростремительное ускорение будет больше ускорения свободного падения, – продолжил Костя, – то ведро с водой будет натягивать верёвку и вода не выльется.

Отсюда следует вывод, что минимальная угловая скорость, при которой в верхней точке вода не будет выливаться из ведра, соответствует центростремительному ускорению, равному ускорению свободного падения:




$$a_ц = \omega^2 \cdot r = g,$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r}},$$

$$F_н = 0.$$

В нижней точке тоже всё ясно. Так как движение по окружности равномерное, то центростремительное ускорение продолжает оставаться по величине равным ускорению свободного падения и направлено вверх. По 2-му закону Ньютона:

$$\vec{a}_n = \frac{m\vec{g} + \vec{F}}{m} = -\vec{g}.$$

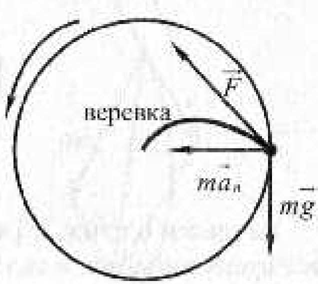
С учётом направления векторов получим:

$$a_n = g = \frac{F - mg}{m}.$$

Отсюда можно легко подсчитать величину силы натяжения верёвки:

$$F = 2mg.$$

Теперь оставалось посмотреть, что происходит в какой-нибудь промежуточной точке.




Ведро с водой по-прежнему движется по окружности с постоянной скоростью, это значит, что центростремительное ускорение и центростремительная сила всегда должны быть направлены к центру окружности. Для задачи, которую мы решаем, центростремительное ускорение $a_n = g$. Центростремительная сила получается в результате сложения силы тяжести и силы, действующей на тело со стороны верёвки. Мы знаем направление и величину силы тяжести и центростремительной силы. Найдём направление и величину силы $F$, с которой верёвка действует на ведро:

$$\vec{a}_n = \frac{\vec{F} + m\vec{g}}{m}; \qquad \vec{F} = m\vec{a}_n - m\vec{g}.$$

Чтобы сила $F$ действовала в этом направлении, верёвка должна «изогнуться», и расстояние от тела до центра вращения уже будет меньше заданной длины верёвки.

На все эти рассуждения и рисунки у нас ушло не менее получаса.

– Получается, что в условии задачи уже кроется ошибка? – спросил Миша.

– Точно, – согласилась Катя. – Ведро не может двигаться по окружности.

Вроде бы всё всем понятно.

– Но Ваш товарищ котелок вращает по окружности, – заметил Саша. – Это ясно в кино видно.

– Да, и верёвка совсем не изгибается, – поддержала его Катя.

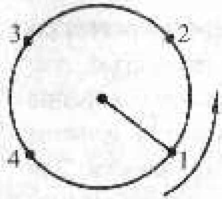
Посмотрели ещё раз фильм и договорились продолжить обсуждение на следующем занятии.

24 января.

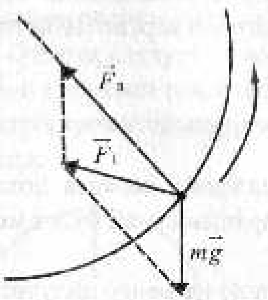
Сначала формулирую условие задачи.

**Тело вращается на верёвке по окружности в вертикальной плоскости. Как изменяется его скорость в процессе вращения?**

Предлагаю ребятам рассмотреть динамику вращения в нескольких точках.

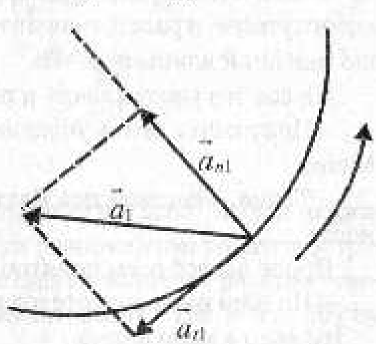



Начинаем с точки 1. Так как тело движется по окружности, верёвка всё время натянута, и сила её натяжения $F_н$ действует на тело точно в сторону центра вращения. Это относится и к другим точкам. В результате векторного сложения силы тяжести и $F_н$ имеем силу $F$. По второму закону Ньютона получаем ускорение, с которым движется тело:




$$\vec F_1 = \vec F_н + m\vec g,$$

$$\vec a_1 = \frac{\vec F}{m} = \frac{\vec F_н + m\vec g}{m}.$$

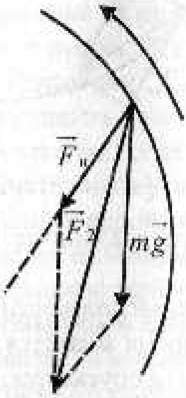


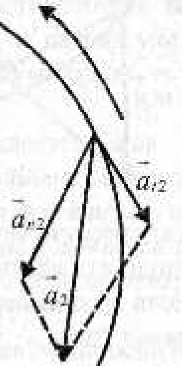

Ускорение $a_1$ надо разложить на нормальное $a_{n1}$ и тангенциальное $a_{t1}$. Нормальное ускорение направлено к центру вращения, а тангенциальное – по касательной к окружности.

Нормальное или центростремительное ускорение изменяет направление движения, а тангенциальное ускорение изменяет величину скорости. Из рисунка видно, что $a_{\tau 1}$ направлено в сторону, противоположную направлению вращения, значит, величина скорости будет уменьшаться.

Точно так же рассматриваем точки 2, 3 и 4. Формулы силы и ускорения в этих точках ничем не отличаются от соответствующих формул в точке 1. Зато отличаются рисунки.

Точка 2.

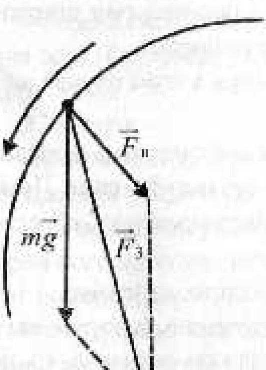


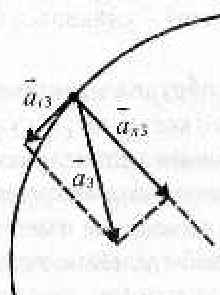




Из рисунка видно, что $a_{\tau 2}$ направлено в сторону, противоположную направлению вращения, значит, величина скорости будет уменьшаться.

Из рисунка видно, что $a_{\tau 3}$ направлено в сторону вращения, значит, величина скорости будет возрастать.

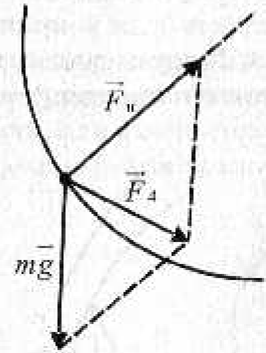
Точка 3.

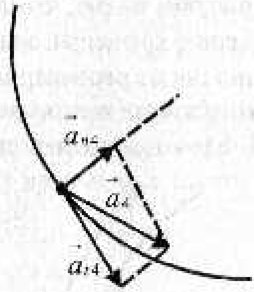


Из рисунка видно, что $a_д$ направлено в сторону вращения, значит, величина скорости будет возрастать.

Точка 4.





На эти рассуждения и рисунки у нас ушло почти всё занятие. Прошу ребят подвести итоги.

– Если тело на верёвке вращается в вертикальной плоскости, – первым начал Дима, – то величина скорости всё время меняется. Когда тело поднимается, то скорость уменьшается, а когда опускается, то увеличивается.

– Естественно, – добавил Саша, – было бы странно, если наоборот.

– А если мы захотим, чтобы угловая скорость вращения была постоянной, – вспомнила Катя, – то окружности не получится.

– Получится, – неожиданно заявил Костя, – если вместо верёвки ведро приделать к какой-нибудь палке или металлическому стержню. Тогда вращение будет и равномерное, и по окружности.

– И что? – удивилась Оля. – Наши рассуждения в этом случае не годятся?

Мы обсудили замену верёвки на металлический стержень и согласились, что все наши рассуждения и вычисления остаются в силе. Просто деформация металла настолько маленькая, что рассмотреть её невооружённым глазом невозможно.

– А почему мы изменили условие задачи? – спросил кто-то.

– Чтобы условие задачи соответствовало картинке, которую вы нарисовали в самом начале. Если конец верёвки зажать в кулаке, то, подрабатывая кистью или всей рукой, можно добиться, чтобы ведро вращалось в вертикальной плоскости, и по окружности, и с постоянной скоростью. Только тогда конец верёвки не будет находиться в центре окружности, а будет перемещаться вместе с рукой. Сделать это непросто, но в принципе можно.

– А задачка-то не такой простой оказалась, – замечает Дима. – Её ещё надо решать и решать.

– Это можно сказать практически про любую задачу. У вас в задачах на движение предлагается пренебрегать сопротивлением воздуха. Стреляет пушка. Без учёта сопротивления воздуха снаряд улетает на сорок километров. А если сопротивление воздуха учитывать, то снаряд упадёт существенно ближе. Такая вот разница.

– А чего же тогда нам голову морочат? – удивляется Саша.

– Никто никому ничего не морочит. Любая проблема сначала изучается в самом простом варианте. Потом добавляются всё новые и новые параметры, от которых зависит поведение системы. Случается так, что окончательное решение не имеет ничего общего с первым ответом. Но это нормально, всё надо делать постепенно.

– Значит, в условии задачи уже кроется ошибка? – спросил Миша.

– Точно, – согласилась Катя. – Или ведро движется не по окружности, или с переменной угловой скоростью.

– Что же получается, по окружности с постоянной скоростью вообще нельзя двигаться? – снова спросил Миша.

– В горизонтальной плоскости можно вращаться с постоянной скоростью, – ответила ему Катя. – Карусели, например.

– Тебе бы всё на каруселях кататься, – съехидничал Саша. – У нас задача есть. Там поезд на ходу поворачивает по окружности с постоянной скоростью.

27 января

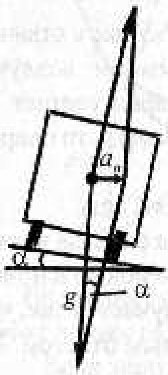
Начинаем с задачи про поезд, который движется по окружности с постоянной скоростью.

«На повороте, радиус которого 500 метров, угол наклона железнодорожного полотна составляет 4°. На какую скорость состава рассчитан этот поворот?»

– Что значит «на какую скорость?» – удивился Миша. – На любой скорости можно проехать. Даже остановиться можно, при таком угле наклона вагоны на бок не завалятся.

– Ты когда на велосипеде едешь, то непроизвольно в сторону поворота наклоняешься, – ответил ему Саша. – Так ты своим весом центростремительную силу создаешь.

– И чем больше скорость, тем сильнее наклоняешься, – поддержала Сашу Катя.




Дима нарисовал на доске картинку, после чего решение задачи уже не представляло труда.

$$a_n = g \cdot \text{tg}\alpha \approx 0{,}68 \text{ м/с}^2;$$

$$a_n = g \cdot \text{tg}\alpha = \frac{v^2}{R};\ v = \sqrt{R \cdot g \cdot \text{tg}\alpha};$$

$$v = \sqrt{500 \text{ м} \cdot 9{,}8 \text{ м/с}^2 \cdot 0{,}07} = 18{,}7 \text{ м/с} = 67 \text{ км/ч}.$$

$$F_n = a_n \cdot m = 0{,}68 \cdot m \text{ (н)}.$$

– Так что, по этому повороту только с такой скоростью можно ехать? – не унимается Миша.

Здесь мне повезло. Недавно прочитал интересную статью А. Жукова «Как закруглить железную дорогу?» и искал удобный повод, чтобы поговорить об этом с ребятами, а тут Миша задаёт прямой вопрос.

– Давайте рассмотрим, что произойдёт, если поезд поедет по этому повороту с другой скоростью.

Ребята задумались. Первым нарушил молчание Саша.

– Ничего не произойдёт. Если бы было хоть немного опасно, то таких поворотов и не делали бы.

– Логично, – приходится соглашаться. – Давайте посмотрим, какие силы будут поворачивать поезд при других скоростях? Например, при скорости 70 километров в час.

– Но мы не знаем массы поезда, – заметил кто-то.

– Посчитайте на один килограмм массы.

Расчёт занял совсем немного времени:

$$v = 70 \text{ км/ч} = 19{,}5 \text{ м/с}.$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{378 \text{ м}^2/\text{с}^2}{500 \text{ м}} = 0{,}75 \text{ м/с}^2.$$

$$F_n = a_n \cdot m = 0{,}75 \text{ м/с}^2 \cdot m \text{ кг} = 0{,}75 \text{ м (н)}.$$

Скорость всего на 3 километра в час превысила расчетную. При этой скорости на повороте на каждый килограмм действует центростремительная сила 0,75Н, из них 0,68Н создаёт наклон полотна железной дороги, а остальные 0,07Н приходится на взаимодействие колёс с рельсами.

– Так мало? – удивилась Оля.

– Во-первых, это не так уж и мало. Пусть масса вагона вместе с грузом 80 тонн. На каждое колесо приходится 10 тонн. Тогда при переходе с прямого участка на закругление по колесу будет бить «молоток» с силой 700 Н.

Во-вторых, каждое колесо ударит по стыку с такой же силой. А колёс в составе много. Рельсы очень быстро износятся.

В-третьих, если проходить поворот со скоростью 90 километров в час, то на каждый килограмм массы уже придётся удар в 0,57Н. На одно колесо это составит около 5500 Н.

– Но есть ещё и в-четвёртых, – стараюсь подвести разговор к главной идее. – Попробуйте в доску вдавить гвоздь. Прижмите молоток к шляпке и давите. Глубоко не вдавите. А если тем же молотком по гвоздю ударить, то результат будет существенно лучше.

– Так никто молотком по рельсам и колёсам не бьёт, – оправдывается Оля.

– Сейчас разберёмся. Пока поезд едет по прямой, боковых нагрузок не наблюдается. Но если прямая сразу переходит в окружность, то всё, что есть в вагонах, испытывает резкий толчок. Кстати, если скорость будет меньше расчётной, то толчок тоже будет. Это ведь скорость не может скачком меняться, а ускорение – сколько угодно.

– Как это? – сомневается Дима.

– Очень просто, – вместо меня отвечает Саша. – Вот, смотри. Держу ручку, ускорение ноль. Отпускаю, ускорение сразу $g$.

– Если прямой участок сразу переходит в дугу окружности, то все детали поезда, а с ними и пассажиры, получают резкий толчок, всё равно как несильный удар молотком. Пассажиры как-нибудь это переживут, а гайки, болты и другие детали имеют неплохой шанс отвинтиться или сломаться. Конечно, не сразу, но от этого не легче. Чтобы не было такой тряски, прямые и круговые участки соединяют переходными линиями с переменным радиусом кривизны. У такой кривой радиус кривизны обратно пропорционален длине дуги. Её формула:

$$R = \frac{k}{S},$$

где $S$ – расстояние от точки начала поворота; $R$ – радиус кривизны поворота в точке $S$; $k$ – коэффициент.

Коэффициент $k$ нужен, чтобы подогнать радиус кривизны этой кривой к радиусу основного поворота.

Само собой, название кривой не помню, поэтому приходится заглянуть в блокнот.

– В математике такая кривая называется *клофоидой* или *спиралью Корню*. Железнодорожники называют её *радиоидальной спиралью*. При расчетах можно пользоваться кубической параболой $y = k \cdot x^3$, радиус кривизны которой в окрестности начала координат примерно равен $R = k/x$.

– Получается, что задача неправильно составлена, – заключает Миша.

– Нет, всё правильно. Условие задачи относится к тому участку поворота, где поезд действительно движется по окружности. А в тех местах, где начинается и заканчивается поворот, форма путей немного другая. И задачу эту пришлось решать сразу, как только появились железные дороги. К этому времени математика уже научилась находить нужные кривые.

## ЗАКОН ЕСТЬ ЗАКОН

Альфред Нобель обидел математиков, отказав им в самой престижной научной премии своего имени. А ведь без математики не может обойтись ни одна наука, а про физику и говорить нечего. Посмотрим, какую роль сыграла математика в открытии одного из самых знаменитых законов физики – Закона Всемирного Тяготения.

### Математик жалуется

«Математики, которые всё открывают, всё устанавливают и всё доказывают, должны довольствоваться ролью сухих вычислителей и чернорабочих. Другой же, который ничего не может доказать, а только на всё претендует и всё хватает на лету, уносит всю славу как своих предшественников, так и своих последователей... И вот я должен признать теперь, что я всё получил от него, а что я сам всего только подсчитал, доказал и выполнил всю работу вьючного животного по изобретениям этого великого человека.»

Так жаловался один великий учёный другому великому учёному на третьего великого учёного. Первый, как не трудно догадаться, – математик. По крайней мере, он считал себя математиком. Второй – астроном. Третий, понятно, – физик.

После каких событий появилось это письмо, и кто эти трое? Пока будем их называть Математик, Астроном и Физик.

## Эллипсы!

Долгое время считалось, что орбиты планет и Солнца (при его вращении вокруг Земли в геоцентрической модели Мира) представляют собой идеальные окружности. Небольшие отклонения списывали на погрешности наблюдений. В начале 17-го века прекрасный математик и астроном Иоганн Кеплер долго и тщательно изучал труды своего учителя Тихо Браге и других астрономов. В результате он пришёл к выводу, что траектория движения Марса представляет собой не круг, а эллипс, в одном из фокусов которого находится Солнце. К 1618 году Кеплер сформулировал три закона движения планет, но объяснить их не смог.

Конечно же, Кеплер, как истинный учёный, попытался понять причину, из-за которой планеты ведут себя так, а не иначе. Он предположил, что Солнце притягивает планету с силой, обратно пропорциональной расстоянию между ними, но только предположил. Построить на этом предположении аккуратную теорию ему не удалось.

## Попытки, попытки...

В 1645 году астроном француз Исмаэль Буллиальд выдвинул идею, что Солнце и любая планета взаимодействуют между собой по закону обратных квадратов, то есть сила, с которой Солнце и планета взаимодействуют между собой, убывает обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Но как-то странно они у него взаимодействовали. Он соглашался с Кеплером, что планеты движутся по эллипсам, но настаивал, что в афелии (в самой дальней точке от Солнца) Солнце притягивает планеты, а в перигелии (самая ближняя точка) – отталкивает. Другими словами – когда планета приближается к перигелию, Солнце начинает её отталкивать, поэтому она на него не падает, а продолжает свой бег, в афелии же планета удаляется от Солнца, а оно её притягивает, не даёт скрыться.

Математики, конечно же, идею Буллиальда поставили под сомнение. Если функция меняет знак, то в какой-то точке она должна быть равна нулю. Радиус в знаменателе, значит, чтобы обратить функцию в нуль, в этой точке он обязан стремиться к бесконечности. На эллипсе такой точки нет и быть не может.

Попытался объяснить законы Кеплера ученик самого Галилея Джованни Борелли. В книге «Теория Медичийских планет» (так называли тогда спутники Юпитера) он сделал исключительно важный вывод, что для них, как и для других планет Солнечной системы, выполняются законы Кеплера. В этой же книге он одним из первых предположил, что «притяжение Солнца уравновешивается центробежной силой».

Как бы там ни было, а первые шаги были сделаны. А через каких-нибудь два десятка лет произойдут события, по поводу которых нет единого мнения и по сей день.

## Начало конфликта

В те далёкие времена учёные вели нешуточные споры относительно природы света. Иногда свет проявлял себя как волна, в других случаях – как поток частиц. Единого мнения на этот счёт не было, и каждый старался доказать свою точку зрения.

Однажды Физик обнаружил, что если положить линзу на стекло и осветить её сверху, то можно наблюдать кольца равной освещённости. Физик наблюдал кольца, а Математик объяснил их происхождение и при их помощи измерил длину световой волны.

Самое удивительное, что Математик, которому физика была не безразлична, считал свет потоком частиц. Считать-то считал, но сам же на основании результатов эксперимента рассчитал длину волны света! Чтобы выпутаться из этого весьма щекотливого положения, он заявил, что частицы света летят не равномерно, а испытывают во время движения периодические приступы (*fits*), и что он измерил расстояние между этими приступами. Вполне в духе современной квантовой механики.

Эти кольца получили имя Математика. Физик же, открывший эти кольца, нигде не упоминается. Ему, естественно, неприятно. Так начался конфликт Физика с Математиком.

## Гравитация

В 1670 году Физик в одной из лекций сообщил, что гравитация свойственна всем телам, и что сила их взаимного притяжения убывает с расстоянием. Скоро он пришел к выводу, что сила гравитации обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами.

Математик, живший в уединении, известий о работах Физика не получал.

## Примирение?

24 ноября 1679 года Физик отправил Математику примирительное письмо с предложением совместно обсуждать и экспериментально проверять всевозможные идеи и гипотезы. Одна из гипотез – предполагаемый закон обратных квадратов.

Математик ответил быстро, на пятый день. Он посетовал на свой почтенный возраст (это 37 лет – почтенный возраст?!) и сообщил, что давно занимается другими делами, и поэтому ничего не слышал о гипотезах Физика относительно движения планет.

## Второе письмо

6 января 1680 года Физик отправил Математику ещё одно письмо. В нём он сообщил, что нашёл приближённые решения уравнений движения тел для закона обратных квадратов. Приближённые потому, что

он нарисовал полученные орбиты планет, но не смог доказать их эллиптичность, и поэтому назвал их форму «эллиптоиды». Физик сам(!) предложил Математику доказать это, так как был уверен, что тот с его превосходными математическими методами легко справится с задачей и докажет, что эллиптическая форма орбит планет следует из закона обратных квадратов.

Математик на это письмо вообще не ответил, но предложенную Физиком задачу решил. Для этого ему пришлось привести в порядок и грамотно оформить всё что было к тому времени известно о механике и создать то, что сейчас называется механикой классической.

## Знаменитая рукопись

Астроном убедил Математика ознакомить научную общественность с результатами его работы, и тот в 1686 году представил Лондонскому Королевскому Обществу подробную рукопись. Но имя Физика в ней не упоминалось. Астроному, который дружил с обоими, это показалось не вполне справедливым, и он предложил Математику исправить недоразумение. И тот исправил. Он написал, что третий закон Кеплера следует из закона обратных квадратов, «как независимо утверждали Рен, Астроном и Физик».

Все они, как и другие члены Королевского Общества, принимали активное участие в дискуссиях по вопросам движения планет, так что ссылка на них не удивительна. Но Физик стал настаивать на своём приоритете в открытии Закона Всемирного Тяготения, на что Математик заявил, что он эту зависимость знает давно, и в своё время рассказал о ней в письме Гюйгенсу.

## Кто есть кто

Надеюсь, читатели догадались, что Математик – великий Исаак Ньютон. Кто два других, тоже можно догадаться, но лучше их представить: Астроном – Эдмунд Галлей, Физик – Роберт Гук.

## Комета Галлея

В математике утверждение становится законом, если оно строго доказано. В физике утверждение остаётся законом, пока не обнаруживается противоречие. А лучшим подтверждением закона служит выполнение его предсказаний.

В 1681-82 годах Галлей, как и все земляне, наблюдал яркую комету. Позднее, используя недавно сформулированный Закон Всемирного Тяготения, он рассчитал параметры орбиты этой кометы и предсказал её новое появление в 1758 году. И комета, получившая имя Галлея, не подвела. Увы, сам Галлей немного не дожил до своего триумфа.

Так математика способствовала утверждению физического закона. И это не единичный случай.

В 1843 году Джон Адамс и независимо от него Урбен Леверье для объяснения отклонений в орбите Урана предположили, что эти отклонения – результат влияния ещё более далёкой планеты, и вычислили её предполагаемую орбиту. Через 3 года Нептун обнаружили именно там, куда указывали результаты вычислений.

Точно также, «на кончике пера», Персиваль Лоуэлл предсказал существование Плутона. Плутон «нашли» только через 14 лет после смерти Лоуэлла в 1930 году.

## Неожиданное решение

Не следует думать, что математика помогает только астрономам.

Поль Дирак ещё студентом, а может, ещё школьником, участвовал в математической олимпиаде. Попалась примерно такая задача.

*Три рыбака наловили много рыбы и улеглись спать. Один проснулся, разделил рыбу на три равные части, при этом, чтобы делёжка оказалась справедливой, пришлось одну рыбу выкинуть, забрал свою долю и ушёл. Второй проснулся, и, не зная про делёжку первого, тоже разделил рыбу на три равные части, для чего одну рыбу пришлось тоже выкинуть, забрал свою долю и ушёл. Третий рыбак проснулся и проделал с оставшейся рыбой то же самое. Какое наименьшее количество рыбы могло быть у рыбаков?*

Так вот, Дирак предложил неожиданное решение: рыб было (–2). Действительно, первый рыбак выкинул одну рыбу, и рыб стало (–2) –1 = –3. Он забрал одну и оставил после себя (–3) – (–1) = –2 рыбы. Второй и третий рыбаки поступили точно также.

Эта история имеет любопытное продолжение. В 1927 году, разрабатывая квантовую механику, Дирак получил уравнение, из решения которого следовало, что элементарные частицы должны иметь состояния с отрицательной энергией (помните – отрицательное число рыбок?). И что же? Отрицательное значение Дирак не отбросил, а придал ему физический смысл. Эти «дырки» есть не что иное, как античастицы. В 1933 году Дираку совместно со Шрёдингером была присуждена Нобелевская премия по физике «за открытие новых форм квантовой теории». Вот как полезно придумывать в школе неожиданные ответы на математические задачки.

## Артиллеристы, Сталин дал приказ

А вот случай времён Великой Отечественной Войны. Математика помогала воевать не только числом, но и знанием.

Николая Иосифовича Селезнёва призвали со второго курса Педагогического института в артиллерию. По слабости зрения он годился только в подносчики снарядов. Однажды пришёл приказ за одни сутки разбить мост. Командир полка выдвинул три батареи как можно ближе к цели. Несколько часов били пушки, но наблюдатели докладывали, что мост стоит целёхонький.

Николай Иосифович пришёл к командиру и заявил, что стреляют неправильно. Несмотря на крайне напряжённую ситуацию, офицеры в штабе заулыбались. Какой-то подносчик снарядов, очкарик, будет их учить стрелять! Тогда Николай Иосифович подошёл к карте и указал место, откуда, по его мнению, лучше вести огонь.

– Но оттуда до моста гораздо дальше, – усомнился кто-то.

Но терять было нечего, и командир приказал одной батарее стрелять с указанного солдатом места. Мост накрыли с первого же залпа, а рядового наградили медалью «За отвагу».

– Это за то, что я отважился дать совет, – пошутил Николай Иосифович на уроке математики в нашем классе, а потом объяснил, в чём дело.

Оказывается, согласно Теории Вероятностей (есть такая математическая наука), при стрельбе из пушки недолёты или перелёты по величине значительно больше, чем отклонения в сторону. С первой позиции стреляли поперёк моста, а вот со второй – вдоль. Если со второй позиции целиться в середину моста, то перелёт или недолёт всё равно придётся в мост, а именно это и требовалось.

Так математика помогла выполнить приказ.

## Так кто же первый?

Бесспорно, Гук первым опубликовал закон обратных квадратов применительно к силе тяготения. Но в те времена частная переписка часто служила доказательством приоритета. Значит, Ньютон? Судить трудно, особенно три века спустя.

Гук источал идеи, но редко какое дело доводил до конца. Ньютон же, в отличие от Гука, доводил до конца всё, за что брался, за исключением, быть может, получения золота по рецептам древних алхимиков. Ньютон собирал воедино разрозненные, на первый взгляд, факты и гипотезы других учёных, и делал из них стройную науку. Здесь уже говорилось о «кольцах Ньютона», так появились «три закона Ньютона», и таких примеров можно набрать много.

В математике есть «формула Ньютона-Лейбница». Эти великие учёные тоже оспаривали приоритет изобретения математического анализа. История рассудила по справедливости. Есть «неравенство Коши-Буняковского». В физике со школы мы знаем закон Бойля-Мариотта, есть формула Клейна-Нишины-Тамма и даже формула Лоренца-Лорентца (Lorenz-Lorentz).

Так, может, и Закон Всемирного Тяготения стоит именовать «законом Ньютона-Гука»?

Потом пришёл Эйнштейн и сказал, что всё относительно.

## Правильная теория

К 1915 году Альберт Эйнштейн разработал новую теорию гравитации. Согласно его Общей Теории Относительности, около всех тел искривляется четырёхмерное пространство (три привычные нам пространственные координаты и четвёртая, зависящая от времени), вследствие чего тела испытывают взаимное притяжение.

Общая Теория Относительности помогла объяснить некоторые явления, не поддающиеся прежней теории гравитации, и позволила заглянуть далеко вперёд. Как и любая правильная теория, она не перечеркнула всего, что было сделано до неё. По крайней мере, формулы Закона Всемирного Тяготения Ньютона-Гука продолжают прекрасно работать в околоземном пространстве. Их вполне хватает, чтобы запустить искусственный спутник или слетать на Луну.

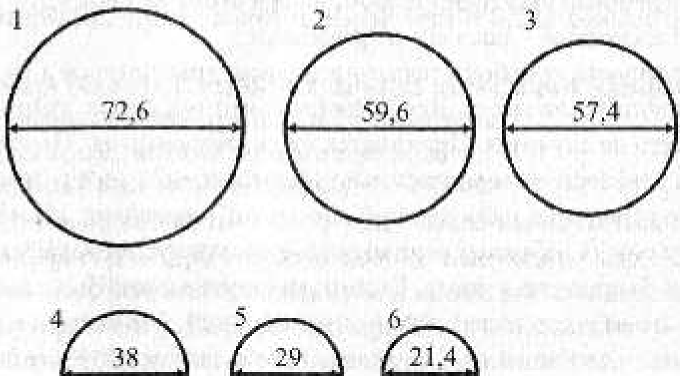
# ОТВЕТЫ

## СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВА

**1.** Ни в одном справочнике нет температуры плавления асфальта. Почему?

Постоянная температура плавления – это свойство веществ с кристаллической структурой. Асфальт к таким веществам не относится, он – вещество аморфное, и фиксированной температуры плавления у него нет.

**2.** Мастер-на-все-руки изготовил для выставки несколько шаров массой 100 кг каждый. При этом он утверждает, что шары изготовлены из золота, льда, воды, дерева, стекла и железа. На картинке указаны диаметры шаров в сантиметрах. Определи материал каждого шара. Что произойдёт с шарами в близком или далёком будущем?



Что может произойти с шарами массой 100 кг каждый, сделанными из золота, льда, воды, дерева, стекла, железа, воздуха, «сухого льда», урана?

Первое занятие по физике. Предлагаю порассуждать, что может произойти с шаром массой 100 кг.

– Если шар золотой, – сразу реагирует Костя, – то он просуществует, пока не украдут.

Все дружно смеются. В каждом классе найдётся ученик, способный что угодно превратить в шутку.

– Направление поисков ответа Костя определил правильно, воспользуемся этим, – от неожиданности Костя застыл с открытым ртом. Продолжаю. – Золотой шар останется шаром, даже если его украдут. Его форма не изменится.

– Если ледяной шар внести в тёплую комнату, то он быстро растает, – предлагает свой вариант Оля.

– А водяной шар от холода в лёд превратится, – подхватывает идею Дима.

– Как же ты водяной шар сделаешь? – спрашивает кто-то.

– Очень просто, – Дима ни секунды не задумывается. – На космической станции любая жидкость в свободном состоянии принимает форму шара.

Несколько минут дети молчат, подыскивая подходящие примеры.

– Деревянный шар будет шаром, пока в огонь не попадёт.

– А стеклянный – пока его не разобьют.

Интересуюсь судьбой стеклянного шара, хранящегося в недоступном для хулиганов месте. Все убеждены, что раз стекло твёрдое, то с ним ничего не случится. Приходится их разочаровывать. Почти полвека назад довелось экспериментально убедиться, что стекло – аморфное. Далеко на Севере, в заброшенной поморской деревушке, кое-где в полуразрушенных избушках сохранились в окошках стёкла. Стёкла, как и избушки, были очень старые. Так вот, на ощупь можно было легко убедиться, что нижняя часть стёкол толще верхней. Для этого достаточно было зажать стекло между пальцами. Много десятилетий стекло потихонечку стекало вниз.

– Может, его таким сделали? – сомневается Саша.

– У всех доступных нам стёкол наблюдалась такая же закономерность. С тех пор прошло много лет, была возможность проверить толщину старых стёкол, в основном в заброшенных, как и та, деревушках. И везде нижняя часть стекла была толще верхней и никогда наоборот. У «молодых» стёкол найти пальцами разницу в толщине не удавалось.

– Значит, за тысячу лет стеклянный шар просто растечётся? – спрашивает Лена.

– Однозначно утверждать не берусь. Возможно, текучесть зависит от сорта стекла, но, скорее всего, свою форму массивный стеклянный шар утратит.

Дети опять задумываются. Предлагаю проследить судьбу железного шара.

– Он весь проржавеет, как Железный Дровосек после дождя, – после некоторого раздумья говорит Оля. – У нас дедушка каждый год машину красит, чтобы она не ржавела.

– Тогда и деревянный шар может не сгореть, а просто сгнить, – замечает Александра.

– Воздушный шарик может запросто улететь, и хозяина с собой захватить, – в очередной раз шутит Костя, – а когда лопнет, то и шариком перестанет быть.

Напоминаю, что ещё надо определить материал каждого шара.

– Который тяжелее, тот золотой, – сразу отвечает Оля.

– У них всех масса сотня килограмм, – возражает Костя.

– Я неправильно выразилась, – оправдывается Оля. – Золото тяжелее, например, дерева, поэтому шар из золота будет меньше шара из дерева.

Ребята быстро расставляют шары по размерам от большего к меньшему, используя таблицу плотности вещества.

Дерево, лёд, вода, стекло, железо, золото.

Подвожу итог этому разговору.

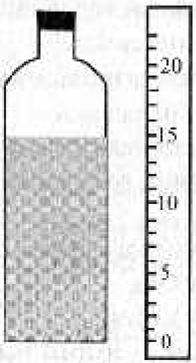
– Для математики шар – это тело. Скоро вы научитесь вычислять объём шара и площадь его поверхности, зная радиус шара. Сейчас вы легко можете вычислить объём куба и площадь его поверхности, зная длину ребра этого куба. Вы будете прибегать к помощи математики, решая задачи по физике, но условия задач определяет, всё-таки, физика. Вы сами придумали множество примеров, где судьба шара определялась его физическими и химическими свойствами. На уроках химии вам продемонстрируют свойства металла лития. Шар из лития, брошенный в воду, быстро сгорит.

– А шар из «сухого льда» просто испарится, – подсказывает кто-то, – «сухим льдом» мороженое охлаждают.

– Да, углекислый газ при нормальных условиях превращается изо льда сразу в газ, минуя жидкую фазу.

Чем больше плотность вещества, из которого сделан шар, тем меньше его диаметр. 1 – дерево, 2 – лёд, 3 – вода, 4 – стекло, 5 – железо, 6 – золото.

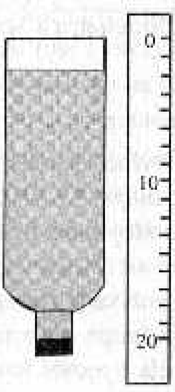
**3.** Требуется узнать полный объём бутылки при помощи обыкновенной линейки. В бутылке сейчас 450 миллилитров подсолнечного масла. Но осталось ещё пустое место в узкой части и в горлышке. Как узнать, сколько масла туда войдёт, если налить его под самую пробку? Каким свойством жидкости следует воспользоваться?




Надо воспользоваться свойством жидких тел сохранять свой объём и принимать форму сосуда.

В этой бутылке 450 миллилитров масла занимают по высоте ровно 15 сантиметров.

Как нетрудно подсчитать, 30 миллилитров масла занимают по высоте 1 сантиметр. Надо поставить на место пробку, перевернуть бутылку и измерить той же линейкой высоту пустого пространства между дном, оказавшимся сверху, и поверхностью масла. Теперь достаточно значение высоты умножить на 30 и узнать, сколько масла поместится вдобавок к тем 450 миллилитрам, что уже находятся в бутылке.




Например, если высота пустого пространства составит 2 сантиметра, то в бутылку может дополнительно войти 60 миллилитров масла. Полный объём бутылки в этом случае будет 510 миллилитров.

**4.** Бочку объёмом $V_Б = 0{,}20$ м$^3$ полностью засыпали песком, а потом налили туда воду. Сколько воды влили в бочку? Какими свойствами вещества следует воспользоваться?

Условие задачи вызывает у ребят удивление. Как так, бочка заполнена полностью, а в неё ещё и воду наливают? Сомнения понятны: физику мы только начали изучать. Меняю масштаб.

– Увеличим размеры бочки и накидаем в неё кирпичей. Можно в неё налить воду?

– Конечно, можно, – отвечают сразу несколько человек. – Между кирпичами много пустоты.

– Прекрасно! Песчинка отличается от кирпича только размерами. Уложить песок плотно, песчинка к песчинке, невозможно. Поэтому плотность песка отличается от плотности кремния, из которого и состоит песок и имеет название «насыпная плотность».

Дальнейшее в особых объяснениях не нуждается. Для начала определим массу песка $m_П$ в бочке, при этом объём песка $V_П = V_Б$.

$$m_П = \rho_П \cdot V_П = 2000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0{,}20 \text{ м}^3 = 400 \text{ кг}.$$

Теперь посчитаем, какой объём занимают 400 кг кремния.

$$V_к = \frac{m_к}{\rho_к} = \frac{400 \text{ кг}}{2330 \text{ кг/м}^3} = 0{,}17 \text{ м}^3.$$

Остаётся только узнать, какой объём остаётся между песчинками для того, чтобы туда могла залиться вода.

$$V_В = V_Б - V_К = 0{,}20 \text{ м}^3 - 0{,}17 \text{ м}^3 = 0{,}03 \text{ м}^3.$$

Итак, в бочку, заполненную песком, можно залить 30 литров воды или 3 ведра.

При решении задачи использовалось свойство твёрдых тел сохранять свои форму и объём и свойство жидкости сохранять объём и менять форму.

**5.** В Антарктиду брали в основном спиртовые термометры, а не ртутные. Почему?

Ртуть замерзает при температуре –39 °С. Поэтому ртутным термометром бессмысленно пользоваться при температурах ниже этой. А спирт замерзает при температуре –117 °С, а такой низкой температуры на Земле пока не наблюдалось. В лабораторных условиях получают температуру и пониже, но это не в счёт.

**6.** В пустой стакан положили лёд. Лёд постепенно тает, и стакан заполняется водой. Наконец на поверхности воды остаётся одна льдинка. Где вода холоднее, на дне или на поверхности?

Лет пять назад, когда детишки учились ещё во втором классе, Оля принесла на развивающие занятия толстую книжку с занимательными задачками. В числе прочих встретилась и эта. Тогда, естественно, решать её не стали, а сейчас пригодилась.

Надеялся на интересное обсуждение, но его не получилось. Ни у кого не вызвало сомнения вот такое решение.

Лёд нагревается до 0 °С, потом плавится и превращается в воду. Температура этой воды тоже 0 °С. Поэтому, пока лёд тает, вокруг него будет поддерживаться температура 0 °С. А ещё вода обладает замечательным свойством: при нагревании от 0 °С до +4 °С она сжимается, а потом, от +4 °С и до 100 °С она расширяется. А это значит, что при температуре +4 °С вода имеет наибольшую плотность и, как следствие, будет собираться на дне. А на поверхности температура воды 0 °С, потому что она только что получилась изо льда.

На поверхности вода будет холоднее, чем на дне.

Ответ в книжке нас несколько удивил. «Тёплая вода легче холодной, поэтому на поверхности вода теплее, чем на дне». Название книжки и её автора называть не стану, поскольку книга в целом интересная, а разного рода накладки могут быть у каждого.

**7.** В алюминиевой плите сделали отверстие. Плиту нагрели. Как изменился диаметр отверстия?

Многие, даже имеющие техническое образование, почему-то уверены, что диаметр отверстия уменьшится. Объясняют это тем, что металл при нагревании расширяется, причём расширяется во все стороны, в том числе и в сторону отверстия.

Впрочем, однажды симпатичная девчушка, имеющая о физике весьма отдалённое представление, не задумываясь, ответила, что заглушка в отверстие провалится.

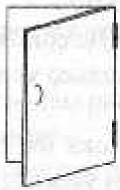
– При нагревании алюминий сжимается, – уверенно заявила она, – значит, отверстие увеличится.

Две ошибки приводят к правильному результату! Какую отметку надо ставить за такой ответ?

Но мои ребята справляются с задачей легко. Самое удачное объяснение, на мой взгляд, у Кати.

– Прежде, чем вырезать отверстие, нарисуем на плите его контур. Нагреем плиту. Её размеры увеличатся, увеличатся и размеры контура. Из нагретой плиты вырежем по контуру отверстие, а вырезанную часть охладим. Эта часть при охлаждении в размерах уменьшится и провалится в отверстие на нагретой плите. Или наоборот. Сначала вырезать отверстие, а потом нагреть и плиту, и вырезанную часть. И опять всё должно совпасть. Так что отверстие обязательно увеличится.

## СТАТИКА

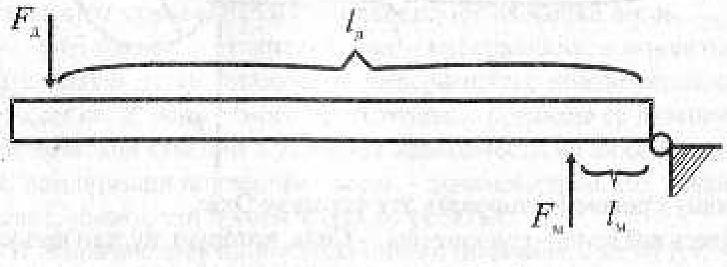


**1.** Почему ручки у дверей делают на стороне, противоположной петлям?

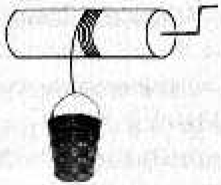
Ответ прозвучал раньше, чем вопрос был сформулирован до конца.

– Очень просто, – заторопился Миша. – Если ручку приделать у петель, то дверь будет трудно открывать и закрывать.

Это утверждение мы легко проверили экспериментально. Катя, самая хрупкая их девочек, держала дверь за ручку, а все мальчики по очереди упирались в дверь с другой стороны, пытаясь эту дверь сдвинуть. Естественно, у них ничего не получилось. Потом провели теоретические исследования. На картинке вид сверху.




$$F_д \cdot l_д = F_м \cdot l_м; \qquad F_д = \frac{F_м \cdot l_м}{l_д}.$$



$F_д$ – сила, с которой девочка держит дверь. Недюжинную силу $F_м$ предстоит приложить мальчику, чтобы дверь хоть немного повернуть.

**2.** Попробуйте вывести «формулу ворота колодца».

Интересуюсь, доставал ли кто-нибудь воду из колодца или наблюдал за этим процессом? Доставали многие, а видели все, по крайней мере, в мультфильме «Ну погоди!».

– Тогда постарайтесь вывести «формулу ворота колодца».

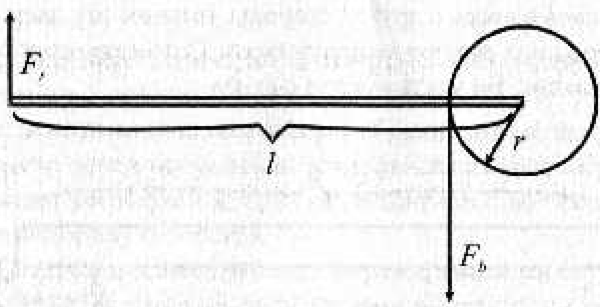
– А как это? – спрашивает Валя. – Сколько воды из колодца можно достать?

– Не совсем так. Надо вывести формулу, из которой будет понятно, насколько устройство колодца облегчает подъём тяжёлого ведра с водой.

Пока мы выясняли на словах смысл «формулы ворота колодца», Саша успел нарисовать на доске схему подъёмного механизма колодца и вывел саму формулу:

$$F_b \cdot r = F_r \cdot l;$$

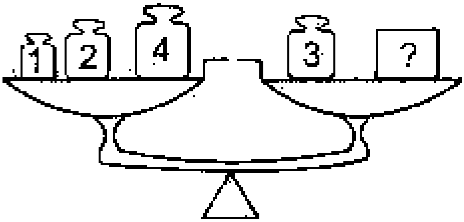
$$\frac{F_r}{F_b} = \frac{r}{l}.$$




Прошу прокомментировать эту формулу Олю.

– Здесь всё ясно, – говорит она. – Сила, которую должен приложить человек, во столько раз меньше веса ведра с водой, во сколько раз радиус вот этой круглой штуки (ворота – подсказывает кто-то) меньше длины ручки.

**3.** Что определяют на рычажных весах?




– Дядя Боря, почему весы называются «весы», а не «массы»? – спрашивает Оля. У неё книжка Г. Остера про физику, где он объясняет, что на весах измеряется масса тела.

– Так у нас и в учебнике написано, что на весах измеряется масса, – опережает меня с ответом Дима.

Смотрим учебник «А.В. Пёрышкин. Физика. 7 класс», там написано: «На практике массу тела можно узнать с помощью весов».

Прежде, чем приступать к обсуждению, предлагаю посмотреть, что написано в том же учебнике про вес тела. «Вес тела – это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес». Немного дальше: «Однако следует помнить, что сила тяжести приложена к телу, а вес приложен к опоре или подвесу».

Обращаю внимание детей на последнее замечание.

– На одну чашку весов поставим груз, на другую – гири, уравновешивающие этот груз. Что мы сравниваем?

– Похоже, что веса, – первым решается высказать своё мнение Миша.

– Конечно, веса, – уже смелее говорит Лена. – Точнее, мы сравниваем силы, с которыми груз и гири действуют на чашки весов.

– А ещё точнее, – уточняет Саша, – мы сравниваем моменты сил.

Предлагаю детям придумать эксперименты, подтверждающие это утверждение. У меня самого приготовлены примеры со взвешиванием на космической станции в условиях невесомости на любых весах, и на Луне, при помощи пружинных весов – динамометров. Но, намного интереснее, узнать, что придёт в голову ребятам.

– В оборвавшемся лифте весы ничего показывать не будут, – почти сразу предлагает свой вариант Дима и поясняет, – в падающем лифте человек на пол совсем не давит. Значит, и груз на весы давить не будет.

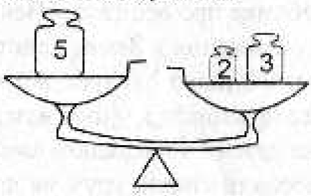
– На одну чашку весов могу поставить свой груз, а на другую – любые гири, – продолжает пример Димы Саша, – и в падающем лифте я буду наблюдать, что равновесие не нарушается.

– Только рассказать об этом удивительном явлении никому не успеешь, – успокаивает его Александра.

– Под водой пружинные весы неправильно показывать будут, – говорит Валя. – Под водой сила Архимеда действует.

Остаётся добавить, что Пёрышкин не погрешил против истины. Мы действительно в повседневной жизни с помощью весов узнаём массу тела, поскольку живём на поверхности Земли, а в падающем лифте нам будет как-то не до взвешивания чего-либо. А вот Остер погорячился, категорически утверждая, что на весах измеряется не вес, а масса тела.

**4.** Иван пришёл на базар купить 5 килограммов клюквы. Оказалось, что у продавца есть неправильные весы и любые правильные гири. Если поставить на одну чашечку весов гирю 5 кг, на другую поставить гири 2 кг и 3 кг – равновесия не получится.




Как можно правильно взвесить 5 кг клюквы на неправильных весах?

Надо положить на одну чашечку гирю 5 кг, а на другую поставить ведро, и осторожно наливать туда воду. Наливать до тех пор, пока весы не уравновесятся. Затем снять с первой чашки весов гирю 5 кг и вместо неё насыпать клюкву, пока весы не окажутся в равновесии. Вес гири 5 кг и вес клюквы будут одинаковыми.

Вместо ведра с водой можно использовать что-нибудь другое. Главное – уравновесить гирю 5 кг.

## КИНЕМАТИКА

**1.** Из деревни Гадюкино в Москву выходит дед со скоростью 3 км/час. Из Москвы в Гадюкино выезжает его внук со скоростью

104 км/час. Кто из них будет ближе к Гадюкино в момент встречи, дед или внук?

В момент встречи дед и внук будут на одинаковом расстоянии от Гадюкино. Они будут на одинаковом расстоянии от любого населённого пункта.

**2.** Между Москвой и Нижним Новгородом расстояние 425 км. Из Москвы в Нижний Новгород выезжает «Москвич» со скоростью 60 км/час. Через 2 часа навстречу ему из Нижнего Новгорода выезжает «Волга» со скоростью 90 км/час. Какое расстояние будет между «Москвичом» и «Волгой» за 1 минуту до встречи?

За последнюю до встречи минуту «Москвич» проедёт 1 км, а «Волга» проедет 1,5 км. Значит, за 1 минуту до встречи расстояние между ними будет 2,5 км.

**3.** От дома до школы по прямой улице ровно 2 км. Вовочка вышел из дома в 7 часов 45 минут со скоростью 1 метр в секунду. Через 20 минут бабушка обнаружила, что он забыл дома портфель, и побежала за ним со скоростью 30 метров в секунду. Какое расстояние будет между ними за 2 секунды до того, как бабушка догонит Вовочку?

За последние 2 секунды до встречи бабушка пробежит 60 метров, а Вовочка пройдёт 2 метра. Значит, за 2 секунды до встречи расстояние между ними будет 58 метров.

**4.** Петя и Маша добирались со станции в деревню. Маша пошла пешком с постоянной скоростью 4 км/час. Петя ехал на попутной телеге со скоростью 2 км/час. Ровно на половине пути он пересел в автобус, который ехал со скоростью 40 км/час. Кто раньше оказался в деревне, Петя или Маша?

Первую половину пути Петя передвигался на телеге со скоростью, меньшей скорости Маши ровно в 2 раза. Это значит, что на половину пути он потратил точно столько времени, сколько Маша на весь путь. Когда Петя садился в автобус, Маша вошла в деревню. С какой бы скоростью не мчался автобус, Петя будет в деревне позже Маши.

**5.** От дома Медвежонка до дома Лисёнка ровно 900 метров по прямой дороге. Медвежонок и Лисёнок одновременно покинули свои дома и отправились навстречу друг другу. Медвежонок шёл со скоростью 100 метров в минуту, Лисёнок бежал со скоростью 200 метров в минуту. Какое было между ними расстояние за 5 минут до встречи?

Друзья встретятся, как нетрудно посчитать, ровно через 3 минуты после выхода. А это значит, что за 5 минут до встречи они находились каждый в своём доме и расстояние между ними было 900 метров.

**6.** Иван Царевич выпустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 40$ м/с. Через какое время $t$ стрела окажется на высоте $h = 75$ м? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

Воспользуемся формулой перемещения равноускоренного движения:

$$h = h_0 + v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}.$$

Здесь $h_0 = 0$ и $a = -g$. Получается уравнение:

$$h = v_0 t - \frac{g \cdot t^2}{2}.$$

Подставим в уравнение начальные данные и получим:

$$75 = 40 \cdot t - 5 \cdot t^2 \text{ или } t^2 - 8 \cdot t + 15 = 0.$$

После решения этого квадратного уравнения получаем ответ:

$$t_1 = 3 \text{ с и } t_2 = 5 \text{ с}.$$

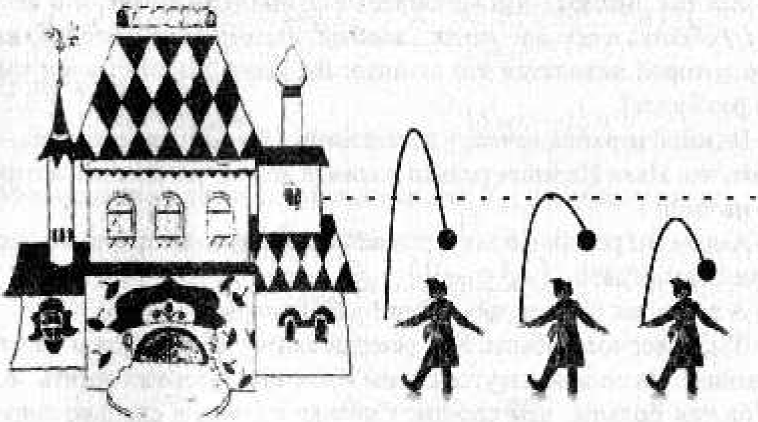
Очень любопытно проходило обсуждение этого ответа с детишками второго класса.

Высоко в тереме сидит Царевна Несмеяна. Иван Царевич снизу кидает ей яблоко. Царевна может поймать это яблоко или через 3 секунды, или через 5 секунд. Почему бросок один, а два значения времени?

Вот как проходило обсуждение этой задачи на развивающих занятиях с детишками 2-го класса.

– Дядя Боря, в прошлый раз Вы говорили, что математика может сама решения подсказывать, – напоминает Катя. – Как это, расскажите.

– Задачу, в которой математика подсказывает решение, мы с вами сейчас обсудим. Движение различных тел изучает Физика. Этот предмет будет у вас в старших классах. А задача такая. Высоко в тереме сидит у окошка Царевна Несмеяна, а Иван Царевич снизу ей яблоко кидает. Надо узнать, сколько времени яблоко летит к Царевне? Как решать



такую задачу вы узнаете потом, а сейчас мы обсудим ответ: 3 секунды и 5 секунд. Что думаете про два ответа?

– Так нечестно! – Косте не нравится вопрос. – Вы же нам ничего про задачу не сказали, только ответ. Откуда мы знаем, сколько на самом деле яблоко должно лететь?

– Нет, нет, Костя! Дело не в числах, не в трёх или пяти секундах. Важно, что получилось два числа. Что они означают? Вспомните, как мы задачи рисовали.

Рисовать дети любят, и скоро на доске вырастает целый город, украшенный портретами Царевны Несмеяны и Ивана Царевича.

– Теперь нарисуйте путь, по которому яблоко к Царевне летит.

Все проводят линии от Царевича к Царевне.

– А что будет, если Несмеяна яблоко не поймает? Покажите на своих картинках, как полетит яблоко дальше. Вспомните про теннисный мячик.

Дети продолжают рисовать и сразу находят правильный ответ.

– Яблоко сначала вверх полетит, а потом вниз.

– И около окошка два раза окажется.

– У Царевны Несмеяны две попытки будет, через три секунды и через пять секунд.

– А если в ответе получается только одно число, что это значит? Как этот случай выглядит на картинке?

– Значит, что Царевна Несмеяна поймала яблоко сразу, – Лене очень хочется, чтобы эта история закончилась благополучно.

Все так думают? Для математики не имеет значения, кто именно сидит у окошка и есть ли окошко вообще. Имеет значение только высота, на которой находится это окошко. На какой высоте мячик только один раз будет?

– В самой верхней точке, – догадывается Саша и продолжает. – Это значит, что Иван Царевич только докинул яблоко до окошка, а перекинуть не смог.

– А если мы решали задачу, решали и не получили ни одного числа в ответе. Что тогда?..

– А разве так бывает, дядя Боря? – Удивляется Тамара.

– Ты, наверное, забыла. Мы решали задачу про слонов и жирафов, вспомните. На поляне пасутся слоны и жирафы, всего их десять. Жирафов на три больше, чем слонов. Сколько слонов и сколько жирафов пасётся на поляне? Задача есть, а решения нет. Вспомнили?

При чём здесь слоны, – отмахивается Саша. – Яблоко просто не долетело.

– Иван Царевич каши мало ел, вот и не добросил, – соглашается с Сашей Оля и на своём рисунке показывает путь яблока, которое так и не долетает до окошка.

## СКОРОСТЬ

**1.** Модель «Колибри» пролетела от А до В за время $t_{AB} = 8$ с, а от В до А за время $t_{BA} = 10$ с. Между точками А и В расстояние $L = 120$ м. Ветер дул строго от А к В.

Определите скорость ветра $v$.

Определите скорость модели $V$ в отсутствии ветра (собственную скорость модели).

С какой средней скоростью $v_{ср}$ передвигалась модель?

Обозначим $v_{AB}$ – скорость полёта модели от А к В; $v_{BA}$ – скорость полёта модели от В к А.

Понятно, что $v_{AB} = V - v$ и $v_{BA} = V - v$.

Отсюда

$$V = \frac{v_{AB} + v_{BA}}{2} \quad \text{и} \quad v = \frac{v_{AB} - v_{BA}}{2};$$

$$v_{AB} = \frac{L}{t_{AB}} = \frac{120\ \text{м}}{8\ \text{с}} = 15\ \text{м/с}; \qquad v_{BA} = \frac{L}{t_{BA}} = \frac{120\ \text{м}}{10\ \text{с}} = 12\ \text{м/с}.$$

Получается:

$$V = \frac{15\ \text{м/с} + 12\ \text{м/с}}{2} = 13{,}5\ \text{м/с}; \qquad v = \frac{15\ \text{м/с} - 12\ \text{м/с}}{2} = 1{,}5\ \text{м/с}.$$

Можно легко получить выражения для $V$ и $v$ в общем виде:

$$V = \frac{\frac{L}{t_{AB}} + \frac{L}{t_{BA}}}{2} = \frac{L(t_{BA} + t_{AB})}{2 \cdot t_{AB} \cdot t_{BA}};$$

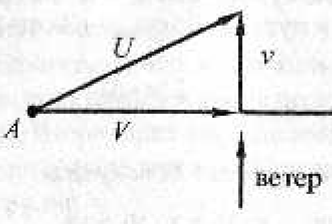
$$v = \frac{\frac{L}{t_{AB}} - \frac{L}{t_{BA}}}{2} = \frac{L(t_{BA} - t_{AB})}{2 \cdot t_{AB} \cdot t_{BA}},$$

но они не так наглядны и менее удобны для вычислений.

Средняя скорость определяется как отношение всего пройденного пути ко времени, за который этот путь пройден:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2L}{t_{AB} + t_{BA}} = \frac{2 \cdot 120\ \text{м}}{8\ \text{с} + 10\ \text{с}} = 13{,}3\ \text{м/с}.$$

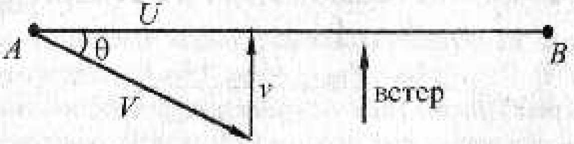
**2.** Модель самолёта должна пролететь от точки А до точки В расстояние $L = 120$ м. Собственная скорость (при полном отсутствии ветра) модели «Икар» $V = 12$ м/с, но ветер дует поперёк трассы со скоростью $v = 5$ м/с.




За какое время $t$ «Икар» пролетит от А до В?

На первый взгляд кажется, что поперечный ветер никак не скажется на времени прохождения трассы, но это только на первый взгляд. Если модель в точке А направить строго в сторону точки В, то её снесёт поперечным ветром и она пролетит мимо.

Чтобы не пролететь мимо точки В, модель должна лететь с отклонением в сторону ветра, поэтому скорость перемещения по прямой АВ окажется меньше собственной скорости $V$.




Угол отклонения θ должен быть таким, чтобы $V\sin\theta = v$. Из рисунка следует, что «Икар» будет перемещаться вдоль прямой АВ со скоростью $U = V\cos\theta$ или

$$U = \sqrt{V^2 - v^2} = \sqrt{144\,\text{м}^2/\text{с}^2 - 25\,\text{м}^2/\text{с}^2} = 10{,}9\,\text{м/с}.$$

Отсюда следует, что расстояние $L = 120$ м «Икар» преодолеет за время:

$$t = \frac{L}{U} = \frac{120\ \text{м}}{10{,}9\,\text{м/с}} = 11\ \text{с}.$$

**3.** Две модели гоночных машин, «Заяц» и «Волк», одновременно стартуют и мчатся по кольцевой трассе. Скорость «Зайца» $v_З = 40$ км/ч, скорость «Волка» $v_В = 50$ км/ч. Сколько кругов по трассе проедет «Волк», когда догонит «Зайца»?

Обозначим $L$ – длину круга, а $x$ – количество кругов, которое проедет «Волк», когда догонит «Зайца». «Заяц» к этому моменту проедет $x - 1$ круг. И, что очень важно, в пути и «Волк», и «Заяц» будут находиться одинаковое время $T$.

Для «Волка» $T = \dfrac{L \cdot x}{v_В}$, для «Зайца» $T = \dfrac{L(x-1)}{v_З}$.

Приравняем эти выражения и, сократив $L$, получим:

$$\frac{x}{v_В} = \frac{x-1}{v_З} \qquad \text{или} \qquad x \cdot v_З = x \cdot v_В - v_В.$$

Решая это уравнение относительно $x$, получим:

$$x = \frac{v_В}{v_В - v_З} = \frac{50\text{км/ч}}{50\text{км/ч} - 40\text{км/ч}} = 5.$$

«Волк» догонит «Зайца» после того, как проедет 5 кругов. «Заяц» к этому времени проедет 4 круга.

Вот как справились с подобной задачей ученики на развивающих занятиях.

Две гоночные машины одновременно стартуют и мчатся по кольцевой трассе. Скорость первой машины – 40 км/ч, скорость второй машины – 50 км/ч. Сколько кругов по трассе проедет вторая машина, когда догонит первую?

– Ничего себе, Формула 1, – усмехается Дима. – У гоночных машин скорости до 300 км/ч доходят, а тут...

– Так, может, они по нашим дорогам едут, – в тон ему отвечает Лена. – У нас особенно не разгонишься.

Ребята начинают обдумывать решение задачи, и почти у всех сразу возникает один и тот же вопрос:

– Какая длина этой кольцевой трассы?

Предлагаю каждому выбрать длину трассы такую, какую он считает нужной и решить задачу для этой длины. Потом сравним ответы и посмотрим, у кого что получится.

Очень интересно наблюдать за процессом решения задачи, когда детей не сковывает необходимость получать отметку и не подстёгивает время. Большинство углубилось в арифметические вычисления. Лена и Оля тихо спорят у доски, рисуют круги, стирают их и снова рисуют. Саша что-то быстро пишет, зачёркивает, пишет, зачёркивает. Валя и Тамара, как всегда, поделили задачу пополам и считают каждая своё. Катя сидит, задумавшись, и к листочку бумаги, лежащему перед ней, ещё не прикасалась. Она первой и решает задачу. Постепенно свои ответы сообщают остальные.

– Я предположила, что длина кольцевой трассы 40 км, – говорит Катя. – Тогда, пока первая машина проедет эти 40 км, вторая проедет на 10 км больше. Вторая машина выиграет у первой 40 км за то время, за которое первая машина проедет 4 круга. Вторая машина проедет за это же время 5 кругов.

– А мы считали так, – рассказывает Тамара. – Один круг приняли за 200 км. Чтобы вторая машина обогнала первую на 200 км, ей потребуется 20 часов, ведь каждый час она проезжает на 10 км больше. За 20 часов первая машина проедет 800 км, что составляет 4 круга. Вторая машина за эти же 20 часов проедет 1000 км, что составляет 5 кругов. Всё.

Почти у всех ответы получились такие же, хотя длину трассы все выбирали разную. Только Саша успел попробовать пять вариантов длины кольца: 200 м, 1 км, 20 км, 45 км и 100 км, но ни разу не довёл свои вычисления до конца. Наиболее грамотное решение было у Димы:

$v_1$ – скорость первой машины;

$v_2$ – скорость второй машины;

$\Delta_l$ – длина одного кольца трассы;

– К тому моменту, когда вторая машина догонит первую, она пройдёт на один круг больше первой, – объясняет Дима.

$n \cdot \Delta_l$ – путь первой машины;

$(n+1) \cdot \Delta_l$ – путь второй машины, она прошла на один круг больше, чем первая машина.

– В пути обе машины находятся одно и то же время, – продолжает Дима. – Так и запишем. Потом решим уравнение относительно $n$:

$$\frac{n \cdot \Delta l}{v_1} = \frac{(n+1) \cdot \Delta l}{v_2}; \quad n = \frac{v_1}{v_2 - v_1}.$$

$$n = \frac{40\text{км/ч}}{50\text{км/ч} - 40\text{км/ч}} = 4; \quad n+1 = 5.$$

– Так вот почему у всех одинаковые ответы получились, – говорит Валя, – от длины круга ничего не зависит.

– Просто на маленьком круге эта встреча раньше произойдёт, – продолжает Саша.

Хочется проверить, насколько дети поняли идею задачи, задаю дополнительный вопрос.

– В каком случае длину круга знать необходимо? Ведь, если трасса не будет замкнутой, то вторая машина никогда не догонит первую, она от той просто уедет.

Дети молчат. Даю ещё одну подсказку.

– Обратите внимание, каждый брал свою длину круга, а Дима, вообще, обошёлся без неё, но ответ у всех получился одинаковый: 4 и 5 кругов. А что получалось разное в ходе решения задачи?

– Время, – сразу отвечает Костя. – У всех получилось разное время, через которое вторая машина догонит первую.

– Точно, – поддерживает его Александра. – Если круг маленький, то вторая машина быстро догонит первую, а если круг большой, то ей долго гнаться придётся.

**4.** Модель самолёта «Ласточка» от А до В летела со скоростью $v_{AB} = 15$ м/с, а обратно со скоростью $v_{BA} = 9$ м/с. Определите среднюю скорость $v_{СР}$ полёта «Ласточки».

Средняя скорость определяется как отношение всего пройденного пути ко времени, за который этот путь пройден.

Обозначим: $L$ – расстояние между точками А и В;

$t_{AB}$ – время полёта от А к В;

$t_{BA}$ – время полёта от В к А.

Тогда $v_{СР} = \dfrac{2L}{t_{AB} + t_{BA}}$; $\quad t_{AB} = \dfrac{L}{v_{AB}}$; $\quad t_{BA} = \dfrac{L}{v_{BA}}$,

отсюда $v_{СР} = \dfrac{2L}{\dfrac{L}{v_{AB}} + \dfrac{L}{v_{BA}}} = \dfrac{2 \cdot v_{AB} \cdot v_{BA}}{v_{AB} + v_{BA}}$;

$$v_{СР} = \frac{2 \cdot 15\,\text{м/с} \cdot 9\,\text{м/с}}{15\,\text{м/с} + 9\,\text{м/с}} = 11{,}25\,\text{м/с}.$$

Вот как справились с подобной задачей ученики на развивающих занятиях.

Из пункта А в пункт В автомобиль ехал со скоростью 50 км/ч, а обратно он ехал со скоростью 30 км/ч. Определите среднюю скорость автомобиля.

– Какое расстояние между этими пунктами? – спрашивает Костя.

– В условии задачи про это ничего не сказано, попробуйте решить так.

– А мы в задаче про догонялки тоже обошлись без длины круга, – вспоминает Лена. – Может, и здесь так получится?

В обычном классе большинство учеников сразу, не задумываясь, отвечает на вопрос этой задачи: 40 км/ч. Мои ребята за время наших занятий уже привыкли, что самый напрашивающийся ответ не всегда правильный. К сожалению, иногда из-за этого они усложняют простые задачи...

Сейчас ребята применяют «свой метод» – дают расстоянию между пунктами конкретное значение и вычисляют среднюю скорость. Ответы, несмотря на разные расстояния, получаются одинаковые: 37,5 км/ч.

– Я предположила, что расстояние между пунктами A и B 150 км, – рассказывает Оля. – Тогда из A в B автомобиль ехал 3 часа, а обратно – 5 часов. За эти 8 часов он проехал 300 км. Получается, что средняя скорость 300 км : 8 ч = 37,5 км/ч.

– Почему ты считаешь, что при другом расстоянии между городами получится тот же ответ?

– Очень просто, – вместо Оли отвечает Саша. – Увеличим в два раза расстояние, и в два раза время поездки увеличится, и туда, и обратно.

К этому времени Дима заканчивает решение в общем виде. По моей просьбе он сообщает то, что известно о средней скорости из учебника.

«Чтобы определить среднюю скорость тела при неравномерном движении, надо весь пройденный путь разделить на всё время движения» (А.В. Пёрышкин. Физика. 7 класс).

Теперь решение:

$v_1$ – скорость автомобиля из пункта A в пункт B;

$v_2$ – скорость автомобиля из пункта B в пункт A;

$L$ – расстояние от пункта A до пункта B;

$t_1$ – время движения автомобиля из пункта A в пункт B;

$t_2$ – время движения автомобиля из пункта B в пункт A.

По определению средней скорости:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2L}{t_1 + t_2}; \quad t_1 = \frac{L}{v_1}; \quad t_2 = \frac{L}{v_2};$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{2L}{\dfrac{L}{v_1} + \dfrac{L}{v_2}} = \frac{2 \cdot v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}.$$

Остаётся только подставить численные значения скоростей и получить окончательный ответ: 37,5 км/ч. Получив формулу, ребята ещё раз убеждаются, что для этой задачи расстояние между пунктами не имеет значения.

**5.** Модель катера «Быстрый» прошла от A до B за время $t_{\text{AB}} = 5$ минут, а от B до A за время $t_{\text{BA}} = 7$ минут. У модели яхты «Беда» на старте отказал двигатель, а паруса не могли ничем помочь из-за отсутствия ветра. За какое время $t$ «Беда» пройдёт по течению от А до В?

Обозначим $L$ – расстояние между точками А и В. Нам требуется узнать, за какое время течение реки покроет расстояние $L$.

Это время $t = \frac{L}{v}$, где $v$ – скорость течения реки.

По течению «Быстрый» шёл со скоростью $v_{АВ} = \frac{L}{t_{АВ}}$.

Против течения «Быстрый» шёл со скоростью $v_{ВА} = \frac{L}{t_{ВА}}$.

Мы уже знаем, что скорость течения (в задаче 1 – это скорость ветра):

$$v = \frac{v_{АВ} - v_{ВА}}{2} = \frac{\frac{L}{t_{АВ}} - \frac{L}{t_{ВА}}}{2};$$

$$t = \frac{L}{v} = \frac{2L}{\frac{L}{t_{АВ}} - \frac{L}{t_{ВА}}} = \frac{2 \cdot t_{ВА} \cdot t_{АВ}}{t_{ВА} - t_{АВ}}.$$

Подставим численные значения $t_{АВ} = 5$ мин и $t_{ВА} = 7$ мин и получим искомое значение:

$$t = \frac{2 \cdot 7\text{мин} \cdot 5\text{мин}}{7\text{мин} - 5\text{мин}} = 35 \text{ мин.}$$

Вот как справились с этой задачей ученики на развивающих занятиях.

– Есть река, и по ней идёт кораблик. Что вы можете сказать про его скорость?

Вниз по реке он пойдёт быстрее, ему река помогает, – это понятно всем, – а вверх по реке течение будет ему мешать.

– А с какой скоростью плот идёт по реке?

– Дядя Боря, помните, мы решали задачи про то, как капитан Врунгель на рыбалку ходил, тогда мы всё это разбирали, – вспоминает Лена и, всё-таки добавляет, – плот со скоростью течения реки двигаться будет.

Когда-то рассказал детям о моём увлечении: сплаве на плотах по горным таёжным рекам, и с тех пор они никогда не скажут про корабль, лодку или плот «плывёт», – идёт, мчится, передвигается, чем доставляют мне огромное удовольствие. Предлагаю задачу.

– Из пункта А в пункт В вниз по реке корабль идёт 5 часов, из пункта В в пункт А тот же корабль идёт 7 часов. Сколько часов из пункта А в пункт В будет идти плот?

– Семью пять – тридцать пять, – не то в шутку, не то всерьёз говорит Миша, – 35 часов плот идти будет.

– Если семь часов умножить на пять часов, то 35 часов в квадрате получится, – возражаю Мише и обращаюсь ко всем. – Подбирать расстояние и скорости так, чтобы всё совпало с условием задачи, дело весьма хлопотное, попробуйте сразу решать в общем виде.

– А мы уже подобрали, – сообщает Тамара. – Пусть между А и В расстояние 35 км. Тогда по течению скорость корабля 7 км/ч, а против течения – 5 км/ч. Скорость корабля в озере получается 6 км/ч, а скорость течения будет в этом случае 1 км/ч. И 35 км плот пройдёт действительно за 35 часов.

– А если расстояние не 35 км, а 70, что тогда? – пытаюсь запутать подруг.

– Тогда все скорости будут в 2 раза больше, – отвечает Валя, – а плот всё равно 35 часов идти будет. Миша так и предсказывал.

Оставлять без внимания последнюю фразу просто нельзя.

– То, что способ решения этой задачи, предложенный Мишей, дал правильный ответ – простая случайность, – стараюсь говорить как можно убедительнее. – Что же, если вниз корабль будет идти 6 часов, а вверх – 8 часов, то в ответе 48 часов получится?

– Да, 48 часов получается, – отвечают сразу несколько человек, быстро подсчитав ответ методом Вали и Тамары.

Вот это сюрприз! Похоже, ребята правы. Может опять совпадение? Предлагаю просчитать ещё один вариант.

– Туда – 11 часов, обратно – 13 часов, – предлагаю, и с ужасом ожидаю ответа 143 часа.

Так и есть! Чтобы разобраться в таком совпадении, надо решить задачу в общем виде. Решение на доске, для собственной уверенности, выполняю сам, ожидая от ребят только подтверждения правильности действий.

Решение такое:

$\upsilon_к$ – скорость корабля в стоячей воде;

$\upsilon_р$ – скорость течения реки, она же скорость плота;

$L$ – расстояние от пункта А до пункта В;

$t_1$ – время движения корабля из пункта A в пункт B;

$t_2$ – время движения корабля из пункта B в пункт A;

$t_p$ – время движения плота из пункта A в пункт B.

Время движения плота $t_{\Pi} = \dfrac{L}{v_{\Pi}}$ можно найти, решив систему уравнений:

$$t_1 = \frac{L}{v_K + v_\Pi}; \quad t_2 = \frac{L}{v_K - v_\Pi}.$$

Система из двух уравнений с тремя неизвестными. Но, совсем не обязательно определять значения всех трёх неизвестных, для решения задачи надо найти отношение $L$ к $v_p$. Поэтому немного преобразуем уравнения:

$$\frac{1}{t_1} = \frac{v_K}{L} + \frac{v_\Pi}{L}; \quad \frac{1}{t_2} = \frac{v_K}{L} - \frac{v_\Pi}{L}.$$

Решая эту систему, легко найти выражение для $t_\Pi$:

$$t_\Pi = \frac{L}{v_\Pi} = \frac{2 \cdot t_2 \cdot t_1}{t_2 - t_1}.$$

Теперь всё встаёт на свои места: если $t_2 - t_1 = 2$, то время движения плота действительно численно совпадает с произведением заданных времён (естественно, что все времена указаны в одинаковых единицах измерения).

**6.** Классический ответ: собака должна бежать с нулевой скоростью.

Мои детишки на развивающих занятиях нашли более подходящее решение.

В очередной раз Оля предлагает свою задачу.

**– К хвосту собаки кто-то привязал пустую консервную банку. С какой скоростью должна бежать собака, чтобы не слышать, как банка гремит по асфальту?**

– Хвост ей надо задрать повыше, – смеётся Дима, – тогда банка в воздухе болтаться будет.

– Нет, верёвка длинная, – Оля готова к этому замечанию, – банка обязательно о землю бьётся.

– Тогда скорость собаки должна превышать скорость звука, – уже серьёзнее предлагает Саша.

– Нет, это неправильно, – Оля смотрит в мою сторону, ожидая поддержки.

– Лётчик слышит звук работающего двигателя, даже если скорость самолёта превышает скорость распространения звука в воздухе. Звук распространяется и достигает лётчика по корпусу самолёта. Да собака и не сможет бежать с такой скоростью.

– Если собака побежит по воде, – предлагает своё решение Лена, – то банка греметь не будет, и она ничего не услышит.

– Или по газону, – говорит Миша. – От травы тоже звука не будет.

– Я же вам сказала, – по асфальту или по камням. Так в книжке написано, – протестует Оля. – Это задача известного учёного, только забыла его фамилию. Что, сдаётесь?

Все молчат. Выдержав паузу, Оля сообщает:

**– Собака должна бежать с нулевой скоростью!**

– Правильно! Она на месте сидит, – радостно подхватывают Валя с Тамарой, – банка тоже не двигается и совсем не тарахтит.

– Нет! Не согласен, – возражает Саша. – Нельзя бежать с нулевой скоростью. Бежать – это значит... это значит... бежать, а не сидеть.

– А как же бег на месте? – поддевает его Александра.

– А он так и называется – «бег на месте», – Саша уверен в себе. – Этот учёный неправильно задачу придумал. Собака бежит, значит, передвигается и банка вслед за ней.

Возникает спор, как правильно понимать слова «бежать», «бежать на месте», «скорость бега», «сидеть», «передвигаться». Спор неожиданно прекращает Катя.

**– Собака может бежать с любой скоростью. Если она будет бегать вокруг банки, то та на месте останется и греметь не будет.**

## ДИНАМИКА

**1.** Лошадь везёт телегу. Согласно 3-му закону Ньютона, телега действует на лошадь точно с такой же силой, с какой лошадь действует на телегу. Так почему телега едет вслед за лошадью, а не наоборот?

Ребята только приступили к изучению физики, поэтому вопрос вызвал у них растерянность. Впрочем, от этого вопроса теряется и большинство взрослых, уже давно закончивших изучение физики.

– Телега легче, вот она и едет за лошадью, – заявляет Оля.

– Тепловоз везёт состав, который намного тяжелее его, – возражает Костя.

Задаю наводящий вопрос.

– Телега движется с постоянной скоростью. Что можно сказать о действующих на неё силах?

– Сила, с которой лошадь движет телегу вперёд, – первым выступает Саша, – по величине равна силе трения в телеге, точнее, силе сопротивления, мешающей движению.

– Точно, – соглашается Костя. – Тепловоз развивает такую силу, чтобы преодолеть сопротивление вагонов и своё собственное.

Всё правильно. По 3-му закону Ньютона действие равно противодействию. Эти силы приложены к разным телам. На телегу действует сила со стороны лошади и заставляет её преодолевать силу сопротивления. А лошадь развивает тягу, которая тянет телегу и позволяет самой лошади передвигаться.

**2.** Два баскетболиста едут в поезде. Чтобы не терять времени, они соорудили два баскетбольных кольца в пустом товарном вагоне и тренируют штрафные броски. Один бросает мяч по ходу поезда, другой – против. Больше или меньше им следует вкладывать силы в бросок, чтобы мяч летел так же, как и в зале?

Если поезд идёт равномерно, то никакой разницы где бросать мяч, в вагоне или зале, нет. Поэтому баскетболистам надо кидать мяч с той же силой, что и в зале.

**3.** Заяц массой $m = 5$ кг бежал со скоростью $\upsilon_0 = 36$ км/ч. Увидев вдалеке волка, он тут же уперся лапами в землю, но до полной остановки скользил ещё $t = 2$ с. Определить силу $F$ трения заячьих лап о землю.

Согласно 2-му закону Ньютона, ускорение $\alpha$ определяется отношением силы $F$, действующей на тело, к массе $m$ этого тела:

$$\alpha = \frac{F}{m}.$$

Отсюда сила выражается через массу тела и ускорение.

$$F = m \cdot \alpha.$$

Ускорение $\alpha$ определяется отношением разности конечной $\upsilon$ и начальной $\upsilon_0$ скоростей ко времени $t$, за которое изменилась скорость:

$$\alpha = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t} = -\frac{10\,\text{м/с}}{2\text{с}} = -5\,\text{м/с}^2.$$

Подставляем значения массы и ускорения в формулу силы и получаем:

$$F = m \cdot \alpha = 5\,\text{кг} \cdot (-5\,\text{м/с}^2) = -25\,\text{Н}.$$

Минус означает, что сила тормозила движение.

# РАБОТА. ЭНЕРГИЯ

**1.** Полено отнесли с первого этажа на второй. Его потенциальная энергия возросла на $\Delta E$. Потом полено сгорело в камине. Куда подевалась $\Delta E$?

Для каждой частицы дыма или пепла закон сохранения энергии выполняется так же, как и для целого полена. Поэтому $\Delta E$ сохранилась, только в маленьких порциях.

**2.** Чаще всего историю открытия закона сохранения энергии рассказывают примерно так. В конце XVIII века английский физик Бенджамин Румфорд исполнял обязанности директора завода, производящего пушки. В 1798 году он обратил внимание на сильный нагрев металла при сверлении пушечных стволов и предположил, что механическая энергия переходит в тепловую. Будучи настоящим физиком, Румфорд тут же поставил эксперимент. Он поместил пушечный ствол в бак с водой и принялся сверлить. В результате вода закипела.

Так физик доказал, что механическая работа превращается в тепло.

Всё ли логично в этой легенде?

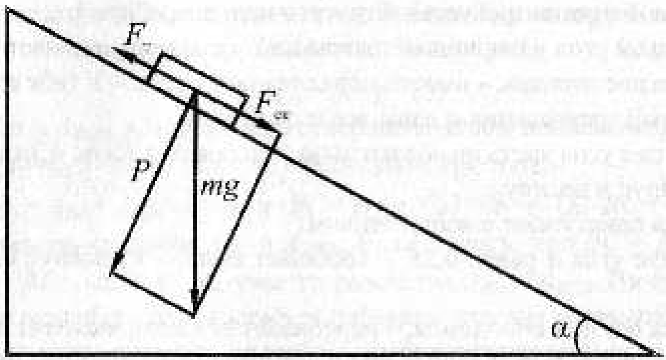
То, что ещё в Каменном веке люди примерно таким способом добывали огонь, Румфорд и авторы легенды, наверное, просто забыли. Или они этого не знали, потому что плохо учились в школе. А вот наши далёкие предки точно знали – чем интенсивнее будешь вращать палочку, тем быстрее и надёжнее она загорится. Правда, они так и не сумели посчитать механический эквивалент теплоты. Но, во-первых, они считать-то как следует не умели, в лучшем случае до трёх. А, во-вторых, им это было без надобности.

Сформулировать закон сохранения энергии и определить величину механического эквивалента теплоты учёным удалось только в середине 19-го века.

**3.** Коэффициент трения санок о снег $K = 0{,}1$. Какой должен быть угол наклона горки $\alpha$, чтобы с неё можно было кататься на санках?

Чтобы санки съезжали с горки, скатывающая сила $F_{СК}$ должна быть по величине больше или равна силе трения скольжения $F_{Т}$.

$$F_{СК} = m \cdot g \cdot \sin\alpha; \qquad F_{Т} = P = K \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha.$$




В предельном случае $F_{СК} = F_{Т}$ по величине и противоположна ей по направлению:

$$m \cdot g \cdot \sin\alpha = K \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha.$$

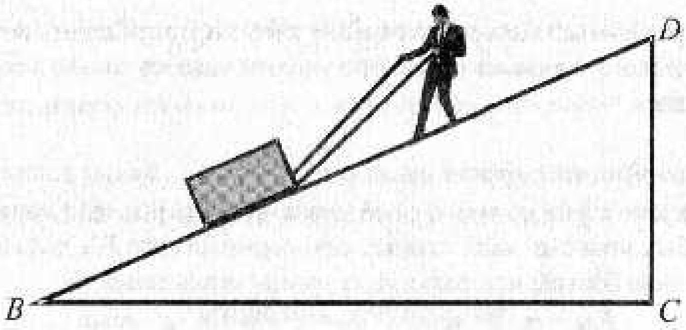
Отсюда $K = \dfrac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \mathrm{tg}\alpha$. При $K = 0{,}1$ $\alpha = 6°$. При этом угле наклона горки санки будут стоять на месте или ехать равномерно, если их подтолкнуть, а при большем угле наклона – ехать с ускорением.

**4.** Пете надо доставить груз массы $m = 100$ кг из точки $B$ в точку $D$. Для этого есть два варианта.

1) Можно везти его по наклонной поверхности сразу из $B$ в $D$. $BD = 250$ м.

2) Можно сначала отвезти груз в точку $C$ по горизонтальной поверхности, а потом поднять его в точку $D$. $BC = 240$ м, $CD = 70$ м.

Коэффициент трения $K = 0{,}1$.




На какой путь потребуется затратить меньше работы?

– А какой угол у наклонной плоскости? – сразу спрашивает Оля.

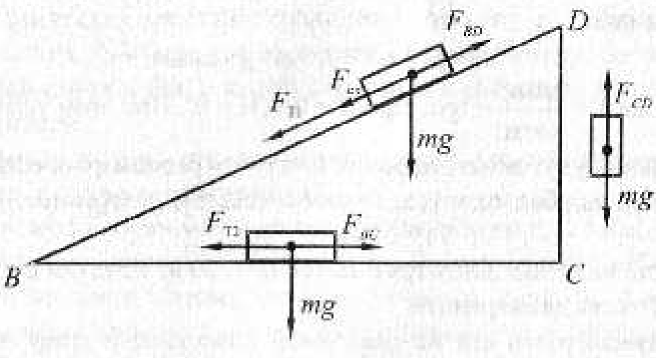
– Сама посчитаешь, – вместо меня отвечает Саша. – У тебя есть прямоугольный треугольник и даны все его стороны.

– Так сам угол знать не обязательно, – добавляет Катя. – Здесь нужны его синус и косинус.

Ребята приступают к вычислениям.

– Синус угла *A* равен 0,28, – сообщает Валя, – а косинус 0,96, так что…

– Пока без них обойдёмся, – перебивает её Саша, выходит к доске, рисует на ней схему задачи и начинает выводить формулы, попутно объясняя ход решения.




– Сначала рассмотрим наклонную плоскость. Чтобы везти по ней тело равномерно, надо приложить силу $F_{BD}$, равную по величине сумме силы трения $F_{T1}$ и скатывающей силы $F_{CK}$.

$$F_{BD} = F_{T1} + F_{CK}; \quad F_{T1} = K \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha; \quad F_{CK} = m \cdot g \cdot \sin\alpha.$$

$$F_{BD} = m \cdot g \cdot (K \cdot \cos\alpha + \sin\alpha).$$

Работа $A_{BD}$, которую совершает сила $F_{BD}$ на пути $BD$, равна:

$$A_{BD} = (F_{T1} + F_{CK}) \cdot BD = m \cdot g \cdot (K \cdot \cos\alpha - \sin\alpha) \cdot BD.$$

Теперь рассмотрим второй путь от $B$ к $D$ через точку $C$. На отрезке $BC$ сила $F_{BC}$ должна быть равна по величине силе трения $F_{T2}$:

$$F_{BC} = K \cdot m \cdot g.$$

Работа $A_{BC}$, которую совершает сила $F_{BC}$ на пути $BC$, равна:

$$A_{BC} = F_{BC} \cdot BC = K \cdot m \cdot g \cdot BC.$$

На отрезке $CD$ сила $F_{CD} = m \cdot g$. Работа $A_{CD}$, которую надо совершить, чтобы доставить груз из точки $C$ в точку $D$:

$$A_{CD} = m \cdot g \cdot CD.$$

Работа $A_{BCD}$, которую надо совершить, чтобы доставить груз из точки $B$ в точку $D$ по пути $BCD$, равна сумме $A_{BC}$ и $A_{CD}$.

$$A_{BCD} = A_{BC} + A_{CD} = K \cdot m \cdot g \cdot BC + m \cdot g \cdot CD = m \cdot g \cdot (K \cdot BC + CD).$$

А теперь сравним $A_{BC}$ и $A_{BCD}$. Если учесть, что $BC = BD \cdot \cos\alpha$, а $CD = BD \cdot \sin\alpha$, то получается равенство $A_{BD} = A_{BCD}$. Ничего вычислять не потребовалось. Остаётся добавить, что для перемещения груза из одной точки в другую по любому пути в поле тяготения придётся совершить одну и ту же работу.

**5.** Какой путь стоит выбрать Пете?

Вопрос вызывает у ребят удивление. Если затраченная работа не зависит от пути, то какой смысл этот путь выбирать? Однако вопрос задан, и они задумываются, но ненадолго.

– Египтяне, когда свои пирамиды строили, блоки по наклонным наверх затаскивали, – вспоминает Миша. – Это неспроста.

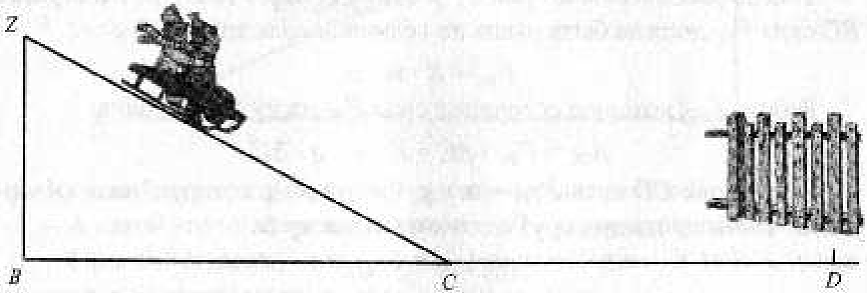
– Точно, – поддерживает его Катя. – Надо сравнить силы $F_{BD}$ и $F_{CD}$:

$$F_{BD} = m \cdot g \cdot (K \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) = 100 \cdot 9{,}8 \cdot (0{,}1 \cdot 0{,}96 + 0{,}28) = 368{,}5 \text{ Н}.$$

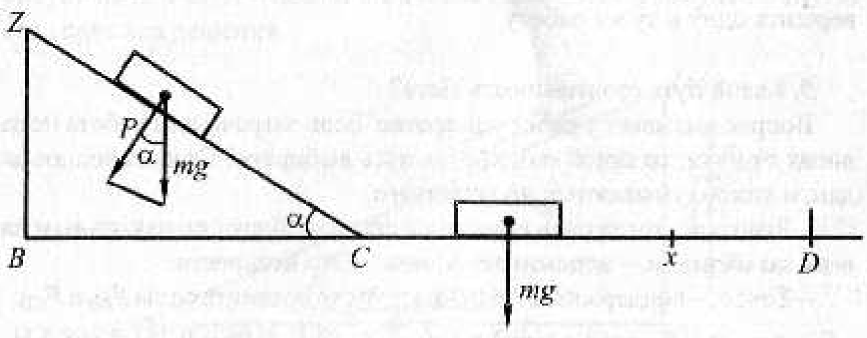
$$F_{CD} = m \cdot g = 100 \cdot 9{,}8 = 980 \text{ Н}.$$

Сравнение в пользу наклонной плоскости. Действительно, Петя вряд ли сможет действовать с силой 980 Н, т.е. поднять груз массой 100 кг. А вот тащить груз с силой 369 Н, что эквивалентно поднятию массы в 38 кг, он вполне способен.

**6.** Маша и Саша собираются съехать с горки на санках, высота которой $ZB = 10$ м. В точке $D$ стоит забор, $BD = 50$ м. Коэффициент трения санок о снег $K = 0,2$. Доедут ли Маша с Сашей до забора или остановятся раньше?




И снова первый же вопрос про угол наклона горки. Предлагаю, чтобы каждый сам выбрал приглянувшееся ему значение угла и подсчитал, до какой точки $X$ доедут санки. После этого легко сравнить $BX$ с $BD$ и ответить на вопрос задачи. Почти все выбрали, по понятным соображениям, углы 30 или 45 градусов. Ход решения примерно такой.




В точке $Z$ потенциальная энергия Маши и Саши $\Pi_Z = m \cdot g \cdot BZ$. Когда вся эта энергия потратится на работу по преодолению силы трения, санки остановятся. На участке $ZC$ сила трения $F_{ZC} = K \cdot P$, а $P = m \cdot g \cdot \cos\alpha$. Работа, затраченная на этом участке:

$$A_{ZC} = K \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha \cdot ZC.$$

На участке $CX$ сила трения $F_{CX} = K \cdot m \cdot g$. Работа, затраченная на этом участке,

$$A_{CX} = K \cdot m \cdot g \cdot CX.$$

Полная работа на участке $ZX$ равна потенциальной энергии начального положения:

$$A_{ZC} + A_{CX} = П_Z.$$

$$K \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha \cdot ZC + K \cdot m \cdot g \cdot CX = m \cdot g \cdot BZ.$$

Но $ZC \cdot \cos\alpha = BC$, а $m$ и $g$ сокращаются в обоих частях равенства. Получается:

$$K \cdot (BC + CX) = BZ.$$

Отсюда $BC + CX = BZ : K = 10$ м : 0,2 = 50 м.

Обращаю внимание ребят, что конечная формула и результат вычислений не зависят от угла наклона горки.

– Маша как раз доедет точно до забора, – делает вывод Катя.

– Но мы не учитывали сопротивление воздуха, – замечает Саша. – Если его учесть, то санки немного не доедут до забора.

**7.** Механики Винтик и Шпунтик участвовали в авторалли. В горах Винтик не справился с управлением машины массой 800 кг и врезался в каменную стенку на скорости $\upsilon_В = 54$ км/ч. Шпунтик резко затормозил, его машина массой 700 кг остановилась на самом краю обрыва и упала на камни с высоты $H_Ш = 15$ м. Обоих спасли подушки безопасности, но машины пострадали. Чья машина получила большие повреждения?

Большее повреждение получит машина, на деформацию которой ушло больше энергии. На деформацию машины Винтика пошла её кинетическая энергия:

$$E_К = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{800\ \text{кг} \cdot 225 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2} = 9 \cdot 10^4\ \text{Дж}.$$

На деформацию машины Шпунтика пошла её потенциальная энергия.

$$E_п = mgh = 700\ \text{кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 15\ \text{м} = 10{,}5 \cdot 10^4\ \text{Дж}.$$

Машина Шпунтика получила более серьёзные повреждения, чем машина Винтика.

**8.** Тело падает с начальной скоростью $v_0 = 0$ м/с. Какое расстояние $L$ пролетит тело, когда достигнет скорости $v = 30$ м/с? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

Когда тело пролетит расстояние $L$, на сколько его потенциальная энергия $П$ уменьшится, на столько возрастёт кинетическая энергия $K$:

$$mgL = m\frac{v^2}{2}; \quad L = \frac{v^2}{2g} = \frac{900\,\text{м}^2/\text{с}^2}{2\cdot 10\,\text{м/с}^2} = 45\ \text{м}.$$

**9.** Иван Царевич выпустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 40$ м/с. На какой высоте $H$ окажется стрела, когда её скорость уменьшится до величины $v = 30$ м/с? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

Когда стрела окажется на высоте $H$, её кинетическая энергия $K$ уменьшится как раз на величину её потенциальной энергии относительно поверхности Земли:

$$mgH = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv^2}{2}.$$

Отсюда $H = \dfrac{v_0^2 - v^2}{2\cdot g} = \dfrac{1600\,\text{м}^2/\text{с}^2 - 900\,\text{м}^2/\text{с}^2}{20\,\text{м/с}^2} = 35$ м.

**10.** Иван Царевич выпустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 40$ м/с. Мы уже знаем, что на высоте $h = 75$ м стрела окажется дважды, пролетая туда и обратно. Когда у стрелы будет больше величина скорости, при подъёме или при спуске? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

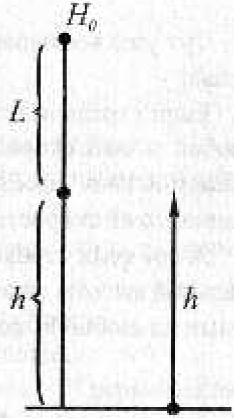
Для стрелы, выпущенной вертикально вверх, на любой высоте $h$ сохраняется сумма кинетической $K$ и потенциальной $П$ энергий.

$$П(h) = m\cdot g\cdot h; \quad K(h) = m\cdot v\cdot (h)^2 : 2.$$

При движении стрелы вверх и вниз её потенциальная энергия на высоте $h$ будет одинаковой, а значит, и кинетическая энергия будет одинаковой. Отсюда следует, что и скорость будет одинаковой при движении вверх и вниз.

**11.** Карлсон уронил леденец с высоты $H = 100$ м, а Иван Царевич запустил стрелу вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 50$ м/с. На какой высоте $h$ леденец и стрела будут иметь одинаковые по величине скорости? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

После предыдущих задач, решение этой не вызывает у ребят сомнения. Их общий план такой. Там мы выражали высоту через скорость, а




здесь надо поступить наоборот, в том и другом случае выразить скорость через высоту и потом приравнять скорости. Решив получившееся уравнение, получим значение искомой высоты.

– Чего-то у нас не получается, – с сомнением говорит Тамара. Они с Валей привыкли всё делать вместе, и поэтому часто опережают остальных. Подруги выходят к доске, рисуют схему задачи и записывают ход решения.

– Мы уже решали для леденца. Его скорость так связана с расстоянием, которое он пролетел:

$$\upsilon^2 = 2 \cdot g \cdot L.$$

– Но из картинки видно, что высота леденца в полёте, продолжает Тамара, – есть разность между его начальной высотой и расстоянием, которое он пролетел:

$$h = H - L \text{ или } L = H - h.$$

– Скорость леденца на высоте $h$ получается такая:

$$\upsilon^2 = 2 \cdot g \cdot L = 2 \cdot g \cdot (H - h).$$

Скорость стрелы на высоте $h$ такая:

$$\upsilon^2 = \upsilon_0{}^2 - 2 \cdot g \cdot h.$$

Приравняем квадраты скоростей:

$$2 \cdot g \cdot (H - h) = \upsilon_0{}^2 - 2 \cdot g \cdot h.$$

Получаем:

$$2 \cdot g \cdot H = \upsilon_0{}^2.$$

– И что прикажете делать? Высота $h$ просто сократилась.

– Действительно, – поддерживает подруг Саша. – У леденца скорость возрастает с нуля, а у стрелы скорость уменьшается до нуля. Так что на какой-то высоте их скорости должны сравняться.

Предлагаю сравнить скорости двух камней, падающих с разной высоты.

– У того, что выше начинал падать, – размышляет вслух Дима, – на любой высоте скорость больше будет.

– А мы уже решали задачу, – вспоминает Катя, – где стрела вверх и вниз летела. У неё и туда и обратно на каждой высоте скорости одинаковые были.

Тут уже все наперебой предлагают свои решения. Основная мысль такая.

Если стрела взлетает выше начальной высоты леденца, то у неё на любой высоте скорость будет больше, чем у леденца. И наоборот, если максимальная высота подъёма стрелы меньше начальной высоты леденца, то её скорость на любой высоте будет меньше.

А вот если стрела в верхней точке траектории достигнет ровно начальной высоты леденца, то скорости стрелы и леденца будут одинаковыми на любой высоте.

## ПО ЗАКОНУ АРХИМЕДА

**1.** В стакане с водой плавает кусочек льда. Как изменится уровень воды в стакане, после того как лёд растает?

– Поднимется, – предполагает Саша.

Интересуюсь ходом его мыслей.

– Всё очень просто, – рассказывает Саша. – Возьмём пустой стакан и бросим туда кусочек льда. В пустом стакане воды вообще не было и можно считать, что её уровень равен нулю. После того, как лёд растает, уровень воды будет больше нуля. Значит, от таяния льда уровень воды повышается.

Рассуждения не лишены смысла, но для этой задачи не подходят. Предлагаю детям определить, где у Саши ошибка. Никаких конкретных предложений не поступает. Даю подсказку.

– Попробуйте сравнить начальные условия в моей задаче и у Саши. В чём их различие?

– В Вашей задаче лёд плавает, – не вполне уверенно замечает Оля. – Во второй задаче лёд лежит на дне, а воды нет совсем.

– Ну и что? – возражает Лена. – Нулевой уровень ничем не хуже других. Помните, мы решали задачу про то, как Колобок в колодец попал? Так его высота над поверхностью Земли вообще была отрицательной.

Предлагаю сначала решить первую задачу, а потом вернуться к обсуждению второй. Для этого надо вспомнить, что рассказано в учебнике о плавании тел. И ещё вспомнить, из чего состоит лёд, что получается, когда лёд растает, и почему он плавает. Ответы поступают быстро.

– Лёд состоит из молекул воды.

– Вода получается, когда лёд тает.

– Лёд легче воды, потому и плавает.

В учебнике А.В. Пёрышкина находим такое утверждение:

«... если тело плавает в жидкости, то вес вытесненной им жидкости равен весу этого тела...»

– Всё ясно, – говорит Катя. – Вода, что получится изо льда, займёт как раз тот объём, который льдинка вытесняет.

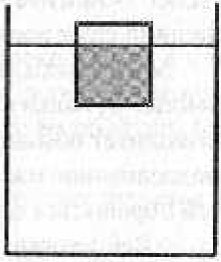
– И уровень воды не изменится, – делает вывод Костя.

Предлагаю обсудить случай, предложенный Сашей.

– А чего его обсуждать, – откликается сам Саша. – В первой задаче лёд воду вытеснял, а в моей задаче воды не было.

– Сколько воды из этого льда получится, такой уровень и будет, – заканчивает это обсуждение Лена.

Желающие могут проверить эти рассуждения формулами, описывающими закон Архимеда. Мои ребята справились с этим уверенно.



По определению:

$$m_{вл} \cdot g = m_{л} \cdot g.$$

Здесь $m_{вл}$ – масса воды, занимающей заштрихованный объём; $m_{л}$ – масса льда.

Или, что то же самое:

$$m_{вт} = m_{л}.$$

Это значит, что вода, получившаяся из растаявшего льда, займёт ровно заштрихованный объём.

**2.** В стакане с водой плавает кусочек льда. На этом кусочке лежит золотая гайка. Как изменится уровень воды в стакане, после того как лёд растает?

– Опять формулы писать, – ворчит Дима.

Предлагаю Диме и всем желающим ответить на вопрос задачи, не пользуясь формулами, естественно, объясняя свой ответ.

– Уровень повысится, – заявляет Дима. – Гайка тяжелая, и от этого лёд глубже в воду погрузится. Значит, уровень воды повысится.

– Дядя Боря нас запутать хочет, – высказывает свою догадку Миша. – Лёд растает, а уровень не изменится.

– Нет, понизится, – возражают Валя и Тамара. – Если вместо гайки взять кусок льда такой же массы, то после того, как лёд растает, уровень воды сохранится. А у золотой гайки объём маленький. Когда лёд растает, гайка утонет. А её объём гораздо меньше объёма воды с такой же массой. Значит, уровень понизится.

При голосовании голоса разделились, в основном, между повышением и понижением уровня. Проверка алгеброй подтвердила правильность рассуждений Вали и Тамары.

**3.** Освобождая Сестрицу Алёнушку из темницы, Иван Царевич получил жестокие раны. Чтобы оживить и вылечить Ивана Царевича, Сестрица Алёнушка отправилась на Сером Волке за «живой» и «мёртвой» водой. «Мёртвая» вода, как и положено, тяжелее «живой». Примчал Алёнушку Серый Волк к двум родникам. В одном «живая» вода, в другом – «мёртвая». И тут обнаружилось, что у Алёнушки только одна бутылка. Помогите Алёнушке. Как ей поступить, чтобы не возвращаться лишний раз к родникам?

Мы решали задачку экспериментально. Демонстрирую приготовленные бутылки с «живой» и «мёртвой» водой. Роль «мёртвой» воды выполняет обыкновенная вода, подкрашенная чернилами, а «живой» – подсолнечное масло. Есть также несколько пустых бутылок. Прошу детей обращаться с водой осторожно, чтобы не перемазаться.

Всё просто, сразу говорит Дима. Пусть Алёнушка сначала «мёртвой» воды в бутылку до половины наберёт, а потом «живую» воду туда сверху нальёт.

– И ещё надо, чтобы Волк обратно Алёнушку аккуратно вёз, – добавляет Оля. – Тогда вода не перемешается. Можно, я налью?

Но Олю опережает Дима, всё-таки он первым предложил способ заполнения бутылки. Естественно, о воронке для переливания я не подумал. Но ребята быстро находят выход: разрезают одну из пустых бутылок посередине – и воронка готова, надо только плотно прижать одно горлышко к другому. Дима ловко заполняет бутылку. Похоже, дети немного разочарованы простотой задачи. Но задача ещё не кончилась, задаю наводящий вопрос.

– Кто-нибудь помнит, чем эта сказка кончается?

– Ясно чем, – с лёгкой усмешкой отзывается Костя, – переженились они там все. Так все сказки заканчиваются.

– Вы не так вопрос поняли. Что потом делала Сестрица Алёнушка с «живой» и «мёртвой» водой, чтобы Ивана Царевича в чувство привести?

– Вроде, на него всю воду вылила, – вспоминает Лена. – Что ещё она могла с водой сделать?

– Правильно, вылила. Для этого вода и была нужна. А какую воду Сестрица Алёнушка сначала на Ивана Царевича вылила, а какую во вторую очередь?

– Кажется, сначала «мёртвую», чтобы раны его затянулись, – растягивая слова, отвечает Александра. Она уже поняла, что вопрос задан не случайно. Да, и остальные тоже поняли.

– Смотрите-ка, «мёртвая» вода на дне, – размышляет вслух Саша, – а её первой надо из бутылки выливать. Может дырочку в дне проделать?

Такое решение не предусматривалось, приходится вводить дополнительные условия.

– Это в наших бутылках легко можно дырочку проковырять, а в те времена бутылки прочные были (интересно, были ли, вообще, в те времена бутылки?), их так просто не испортишь. Попробуем обойтись без дополнительных отверстий.

Дети задумываются. Валя и Тамара берут пару пустых бутылок и начинают их вертеть, обсуждая что-то вполголоса.

– Можно, я попробую, – спрашивает Катя. – А где Иван Царевич, на которого лить можно?

И это не предусмотрено! Проливать чернила и масло на пол или стол, конечно же, не стоит. Снова выручают разрезанные пустые бутылки.

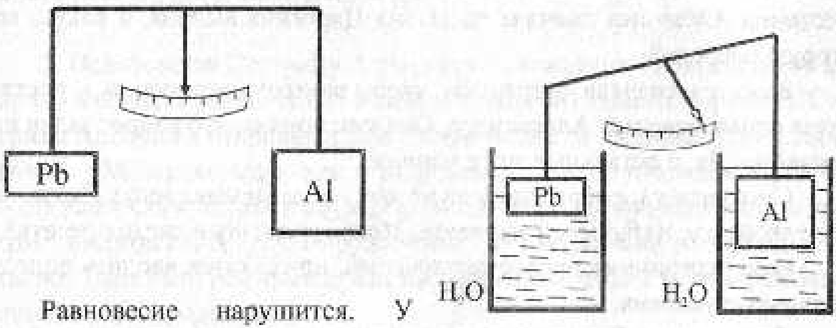
Катя берёт заполненную бутылку и начинает очень медленно её переворачивать.

– Ты пробку забыла отвинтить, – подсказывает кто-то, но она не обращает на это внимания.

Бутылка перевёрнута, и «мёртвая» вода остаётся внизу. Катя слегка отвинчивает пробку, и позволяет тонкой струйке чернил стекать в пустую разрезанную бутылку. Потом, не меняя положения бутылки, пробку завинчивает. Операцию по выливанию «живой» воды проводит

Лена. Она также осторожно поворачивает бутылку, отвинчивает пробку и сливает в разрезанную бутылку немного масла.

**4.** К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в воду? спирт? Какой цилиндр перевесит?



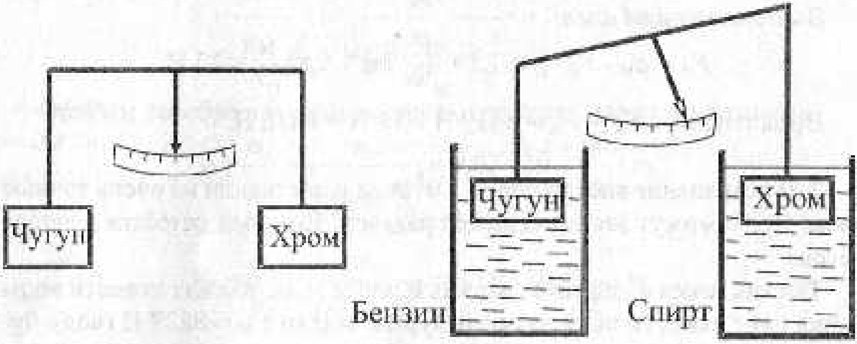

Равновесие нарушится. У свинца и алюминия разная плотность, значит, при одинаковой массе у них разный объём. Поэтому и выталкивающая сила будет разная. У свинца плотность больше, чем у алюминия, поэтому выталкивающая сила, действующая на свинцовый цилиндр, будет меньше выталкивающей силы, действующей на алюминиевый цилиндр. Перевесит свинцовый цилиндр.

**5.** К коромыслу весов подвешены два цилиндра одинаковой массы: чугунный и хромовый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие весов, если оба цилиндра одновременно погрузить в жидкость, хромовый – в спирт, а чугунный – в бензин? Какой цилиндр перевесит?

На развивающих занятиях ребята принялись ворчать, что, дескать, опять приходится заниматься арифметикой, но вычислять пришлось совсем немного.

Перевесит тот цилиндр, у которого выталкивающая сила будет меньше. По закону Архимеда выталкивающая сила:

$$F = m(\text{жидкости}) \cdot g = \rho(\text{жидкости}) \cdot V(\text{цилиндра}) \cdot g.$$




Объём цилиндра вычисляется как отношение массы цилиндра к его плотности:

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

Рассчитаем выталкивающую силу для цилиндра из чугуна:

$$F_Ч = m_Б \cdot g = \rho_Б \cdot V_Ч \cdot g = \rho_Б \cdot g \cdot \frac{m}{\rho_Ч}.$$

Рассчитаем выталкивающую силу для цилиндра из хрома:

$$F_Х = m_С \cdot g = \rho_С \cdot V_Х \cdot g = \rho_С \cdot g \cdot \frac{m}{\rho_Х}.$$

Найдём отношение выталкивающих сил:

$$\frac{F_Ч}{F_Х} = \frac{\rho_Б}{\rho_Ч} \cdot \frac{\rho_Х}{\rho_С} = \frac{0{,}74}{7{,}0} \cdot \frac{7{,}2}{0{,}80} = 0{,}95.$$

Отсюда следует, что на цилиндр из чугуна действует меньшая выталкивающая сила, значит, он перевесит.

**6.** В помещение внесли ровно 1 м$^3$ льда и поставили на очень точные весы. Что покажут весы?

Закон Архимеда распространяется не только на жидкости, но и на газы. Так что весы будут показывать силу тяжести льда за вычетом выталкивающей силы.

Сила тяжести льда:

$$F_Л = m_Л \cdot g = \rho_Л \cdot V_Л \cdot g = 900\frac{кг}{м^3} \cdot 1 м^3 \cdot 9{,}81\frac{м}{с^2} = 8829 \text{ Н}.$$

Выталкивающая сила:

$$F_А = \rho_В \cdot V_Л \cdot g = 1{,}29\frac{кг}{м^3} \cdot 1м^3 \cdot 9{,}81\frac{м}{с^2} = 13 \text{ Н}.$$

Весы покажут $F_Л - F_А = 8829$ Н – 13 Н = 8816 Н.

**7.** В помещение внесли ровно 1 м$^3$ льда и поставили на очень точные весы. Что покажут весы, когда лёд растает? Вся вода остаётся в чашке весов.

Так как масса воды такая же, как и масса льда, то сила тяжести воды равна силе тяжести льда из предыдущей задачи $F_W = 8829$ Н (воду будем обозначать индексом $W$). Но объём воды отличается от объёма льда. Определим объём получившейся воды:

$$m_W = m_Л = \rho_Л \cdot V_Л = \rho_W \cdot V_W;$$

$$V_W = \frac{\rho_Л \cdot V_Л}{\rho_W} = \frac{900\frac{кг}{м^3} \cdot 1м^3}{1000\frac{кг}{м^3}} = 0{,}9 \text{ м}^3.$$

Выталкивающая сила рассчитывается так же, как в предыдущей задаче, только объём льда заменяем на объём воды:

$$F_А = \rho_В \cdot V_W \cdot g = 1{,}29\frac{кг}{м^3} \cdot 0{,}9м^3 \cdot 9{,}81\frac{м}{с^2} = 11 \text{ Н}.$$

Весы покажут $F_W - F_A = 8829$ Н – 11 Н = 8818 Н.

**8.** Царская корона сделана из золота и серебра. Вес короны $P = 61{,}3$ Н. Когда корону целиком опустили в воду, её вес оказался равным $P_1 = 56{,}3$ Н. Сколько в короне золота и сколько серебра? Считать $g = 10$ м/с$^2$.

Естественно, масса короны состоит из массы серебра и массы золота, а объём короны – из объёма серебра и объёма золота. Получается система двух уравнений:

$$m_С + m_З = M; \qquad V_С + V_З = V.$$

Массу короны определим из её веса:

$$M = \frac{P}{g} = \frac{61{,}3H}{10\frac{м}{с^2}} = 6{,}13 \text{ кг}.$$

Объём короны определим из закона Архимеда, так как выталкивающая сила, равная разности весов, определяется объёмом тела плотностью воды: $P - P_1 = V \cdot \rho_В \cdot g$;

$$V = \frac{P - P_1}{\rho_B \cdot g} = \frac{5H}{1000\frac{кг}{м^3} \cdot 10\frac{м}{с^2}} = 5 \cdot 10^{-4}\ м^3.$$

Объёмы серебра и золота выражаются через массы и плотности:

$$V_C = \frac{m_C}{\rho_C} = \frac{m_C}{10500\frac{кг}{м^3}} = 9{,}52 \cdot 10^{-5}\ \frac{м^3}{кг} \cdot m_C;$$

$$V_З = \frac{m_З}{\rho_З} = \frac{m_З}{19300\frac{кг}{м^3}} = 5{,}18 \cdot 10^{-5}\frac{м^3}{кг} \cdot m_З.$$

Получается система уравнений относительно масс серебра и золота:

$$m_C + m_З = 6{,}13;$$

$$9{,}52 \cdot 10^{-5} \cdot m_C + 5{,}18 \cdot 10^{-5} \cdot m_З = 5{,}0 \cdot 10^{-4}.$$

Решаем эту систему уравнений и получаем: $m_C$ = 4,20 кг и $m_З$ =1,93 кг.

Ювелир обманул Царя Гиерона.

**9.** Винни Пух хотел отведать мёда. Чтобы добраться до дупла с мёдом, он надул воздушный шарик и полетел, но пчёлы ему помешали. Найдите ошибку.

Оказывается, ребята давно заподозрили в этом эпизоде что-то неладное, и теперь наперебой высказывают своё мнение. Все рассуждения сводятся примерно к следующему.

Ошибка в том, что Винни Пух взлетает при помощи воздушного шарика, надутого ртом. Известно, что при дыхании меняется состав воздуха. Выдыхаемая смесь тяжелее той, что вдыхается. Поэтому шарик, наполненный газом, тяжелее воздуха, никак не мог взлететь сам и, тем более, поднять вверх игрушечного медвежонка.

Интересуюсь, почему выдыхаемый воздух тяжелее вдыхаемого.

– Очень просто, – отвечает Тамара. – Мы вдыхаем кислород $O_2$, а выдыхаем углекислый газ $CO_2$. Так что каждая молекула углекислого газа тяжелее молекулы кислорода на атом углерода.

В принципе верно, только вдыхаем мы не только кислород и выдыхаем не только углекислый газ.

## ГАЗ

**1.** Оцените массу воздуха М в помещении, где вы сейчас находитесь.

– Зря по грибы вчера сходили – жалуется Миша. – Только с воздухом корзинки таскали, а устали…

– Воздух тоже что-то весит, – замечает кто-то.

– Ладно смеяться, – отмахивается Миша. – Газ, он и есть газ. Чего он может весить.

– Не скажи, – возражает Оля. – У нас на даче газ в баллонах. Так, когда пустой баллон на замену в тележке везёшь, ещё ничего. А обратно полный баллон даже на тележке с трудом двигаешь, такой он тяжёлый.

– Так газ там под большим давлением, – не сдаётся Миша.

– А в прогнозе погоды тоже про давление говорят, – поддерживает Олю Костя. – Это же вес воздуха в столбе сечением один квадратный сантиметр.

Таким разговором просто грех не воспользоваться. Предлагаю оценить массу воздуха в классе.

– Грамм на сто может и наберётся, – первым откликается всё тот же Миша.

Обычная реакция на этот вопрос. Сам воздух мы привыкли не замечать, только его движение, когда пыль в глаза или сдуло шляпу. И ещё душно бывает.

– Пожалуй, побольше наберётся, – медленно произносит Дима.

Саша задумчиво оглядывается, как будто впервые попал в класс. А вот Катя что-то записывает и листает учебник, ищет нужную таблицу. Но её опережают Валя с Тамарой. Вдвоём, всё-таки, работать легче и быстрее.

– Примерно 180 килограмм, – сообщают они.

– С чего это вы взяли? – удивляется Миша.

Девочки поступили грамотно. Я просил только оценить массу воздуха в классе. Вот они и оценили на глаз длину класса около 10 м, его ширину 5 м и высоту 3 м. Получился объём около 150 м$^3$. Плотность воздуха при нормальных условиях есть в учебнике в таблице: $\rho = 1{,}25$ кг/м$^3$.

Посчитаем объём класса $V = 10\text{ м} \cdot 5\text{ м} \cdot 3\text{ м} = 150\text{ м}^3$.

Посчитаем массу воздуха в классе $M = \rho \cdot V = 1{,}25\text{ кг/м}^3 \cdot 150\text{ м}^3 = 187{,}5\text{ кг}$.

**2.** Один кубический километр воздуха в нормальном состоянии охладили до твёрдого состояния и сжали так, что он уместился в шарик диаметром 5 см. Посчитайте плотность шарика.

– После решения предыдущей задачи вам вполне по силам разобраться с таким эпизодом. У замечательного писателя Александра Беляева есть научно-фантастический роман «Продавец воздуха». Кто с ним не знаком – советую почитать. А сейчас я вам прочитаю небольшой отрывок, а вы внимательно слушайте. Итак.

«Бэйли открыл дверцы одного из шкафов и, выдвинув при помощи механизма ящик, показал содержимое: там лежали блестящие шарики величиною с грецкий орех. Я с интересом ждал объяснений…

– Если вы читали Фламмариона, – сказал Бэйли, – то помните, что он говорит о кометах. Комету, состоящую из разреженных газов и занимающую пространство в сотни тысяч кубических километров, можно было бы вместить в напёрсток, уплотнив эти газы... Так вот, такие «напёрстки» перед вами. Хитроумному Энгельбректу удалось превратить жидкий воздух в чрезвычайно плотное тело. В одном этом ящике заключено воздуха больше, чем в огромном озере из жидкого воздуха. Попробуйте взять один из этих шариков!

Я протянул руку и попытался вынуть шарик, но не мог этого сделать.

– Они все сплавлены вместе, – ответил я. Бэйли рассмеялся. – В этом шарике заключен один кубический километр воздуха. Не всякая лошадь свезёт воз, нагруженный одним таким шариком».

Ребята молчат, обдумывая услышанное. Наконец Дима делает предположение.

– Наверное, таких комет не бывает?

– Не знаю. Может и бывают. Но мы сейчас газовые законы изучаем, – напоминаю тему занятия.

Такой подсказки ребятам вполне достаточно, и они дружно берутся за вычисления. Небольшое отступление. Где труднее преподавать – в школе или в ВУЗе? В технический ВУЗ добровольно поступают люди, которые при общении с математикой и физикой, по крайней мере, не испытывали отвращения. А случайный человек долго в таком ВУЗе не продержится. Человек без музыкального слуха не имеет ни малейшего шанса поступить в консерваторию. И так далее...

А вот школу посещают все, независимо от склонности и способностей. А склонности эти у всех разные, и в обычной школе интересуются физикой совсем немногие, человека три-четыре на класс. Остальные мирятся с ней по необходимости. А обеспечить знаниями в объёме, предусмотренном Министерством Образования, надо всех. Так что школа куда сложнее ВУЗа с точки зрения преподавания.

Развивающие занятия посещают как раз те, кому физика интересна, так что общение с ними доставляет только удовольствие.

Возникает вопрос: какого размера грецкий орех? Договариваемся считать его диаметр равным 5 см. Расчеты продолжаются. Впечатляет масса кубического километра воздуха при нормальных условиях – более одного миллиона тонн!

$$M_{\text{воздух}} = 1{,}25 \cdot 10^9 \text{ кг}.$$

А вот объём грецкого ореха оказывается совсем маленьким:

$$V_{\text{Орех}} = \frac{4}{3}\pi R^3_{\text{Орех}} = \frac{4}{3} \cdot 3{,}14 \cdot (2{,}5 \cdot 10^{-2}\text{м})^3 = 6{,}25 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3.$$

Зато плотность шарика получается чудовищной:

$$\rho = \frac{M_{\text{воздух}}}{V_{\text{Орех}}} = \frac{1{,}25 \cdot 10^9 \text{ кг}}{6{,}25 \cdot 10^{-5}\text{ м}^3} = 0{,}2 \cdot 10^{+14}\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Для сравнения. Плотность белых карликов (есть такие сверхплотные звёзды) в 10 000 раз меньше. Раздаются удивлённые голоса.

– В ящике лежало много таких шариков. Из чего же этот ящик сделан?

– Если «не всякая лошадь свезёт воз, нагруженный одним таким шариком», то есть хотя бы одна лошадь, которая всё же сможет свезти миллион тонн! Посмотреть бы на неё.

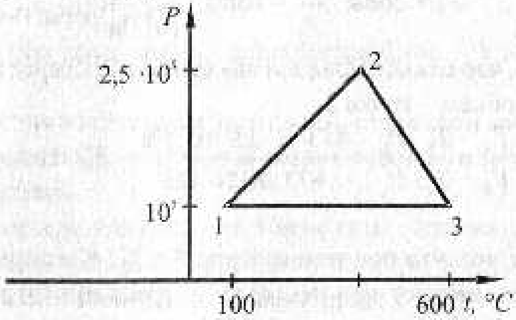
– И какой воз этот груз выдержит?

Ребята начинают откровенно посмеиваться. Приходится заступаться за прекрасного писателя.

– Беляев пытался предвидеть, как изменятся отношения людей при дальнейшем развитии техники, и что из этого может получиться. А физические и математические просчёты – это работа редактора. Почитайте биографию Беляева, и вы увидите, какой это сильный, мужественный и мудрый человек.

**3.** Над идеальным газом совершают процесс 1–2–3. На диаграмме $p - T$ это выглядит так, как показано на рисунке.

Точка 1: $t_1 = 100\ ^\circ C$, $p_1 = 10^5$ Па.




Точка 2: $t_2 = 400\ ^\circ C$, $p_2 = 2{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Точка 3: $t_3 = 600\ ^\circ C$, $p_3 = 10^5$ Па.

Найти отношение максимального $V_{max}$ и минимального $V_{min}$ объёмов газа.

Обсуждение задачи оказалось непродолжительным. Ребята уверенно переходят к абсолютной шкале температур.

Точка 1: $T_1 = 373$ К, $p_1 = 10^5$ Па.

Точка 2: $T_2 = 673$ К, $p_2 = 2{,}5 \cdot 10^5$ Па.

Точка 3: $T_3 = 873$ К, $p_3 = 10^5$ Па.

Возникает вопрос.

– Дядя Боря, а какой это газ, и какая его масса? Без этого мы объём не посчитаем.

В ответ напоминаю условие задачи: требуется определить отношение объёмов, а не их значения.

Ход решения такой. Запишем уравнение объединённого закона для идеального газа постоянной массы:

$$\frac{PV}{T} = \text{const или } V = \text{const} \cdot \frac{T}{P}.$$

Отсюда следует, что объём прямо пропорционален отношению абсолютной температуры к давлению. Остаётся только произвести расчёты для точек 1, 2 и 3.

$$V_1 = \text{const} \cdot \frac{T_1}{P_1} = \text{const} \cdot \frac{373\ \text{К}}{10^5\ \text{Па}};$$

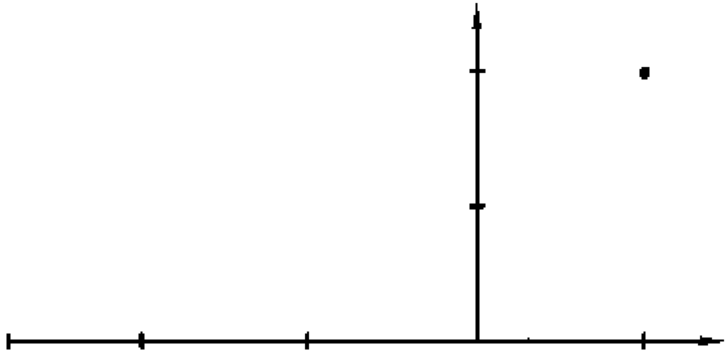
$$V_2 = \text{const} \cdot \frac{T_2}{P_2} = \text{const} \cdot \frac{673\ \text{К}}{2{,}5 \cdot 10^5\ \text{Па}};$$

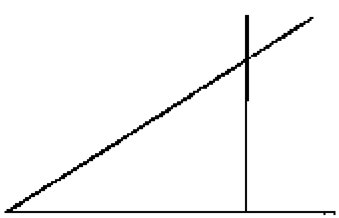
$$V_3 = \text{const} \cdot \frac{T_3}{P_3} = \text{const} \cdot \frac{873\ \text{К}}{10^5\ \text{Па}}.$$

Отсюда ясно, что самый большой объём соответствует точке 3, а самый маленький объём – точке 2:

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3 \cdot P_2}{T_2 \cdot P_3} = \frac{873\ \text{К} \cdot 2{,}5 \cdot 10^5\ \text{Па}}{673\ \text{К} \cdot 10^5\ \text{Па}} = 3{,}25.$$

**4.** Есть 100 м$^3$ воздуха при температуре $T = 373$ К и нормальном давлении. Воздух охлаждают при постоянном давлении (изобарный процесс). Постройте график зависимости объёма воздуха $V$ от температуры $T$. Точкой на графике обозначено начальное состояние воздуха. Считать воздух идеальным газом.





К доске выходит Саша и уверенно соединяет прямой начальную точку с 0 К. Прямая выглядит не очень прямой, но это не принципиально, на бумаге с линейкой получается ровнее.

Решение ни у кого не вызывает сомнений, кроме…

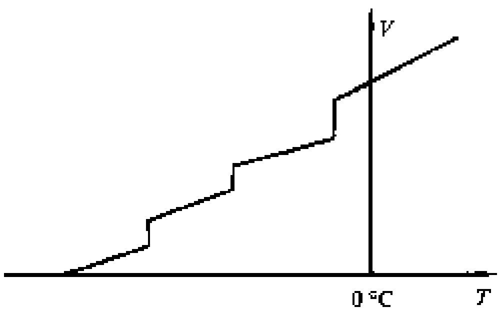
До какой температуры продавец воздуха у Беляева охлаждал воздух так, что он твёрдым становился? – спрашивает Катя.

Температура кипения гелия примерно четыре градуса по Кельвину..., – делаю паузу.

– А при чём здесь гелий, – удивляется Дима. – Мы про воздух спрашиваем.

А в состав воздуха входит и гелий, его совсем мало, всего пять тысячных процента. Но чтобы весь воздух перешёл в твёрдую фазу, надо и гелий заморозить.

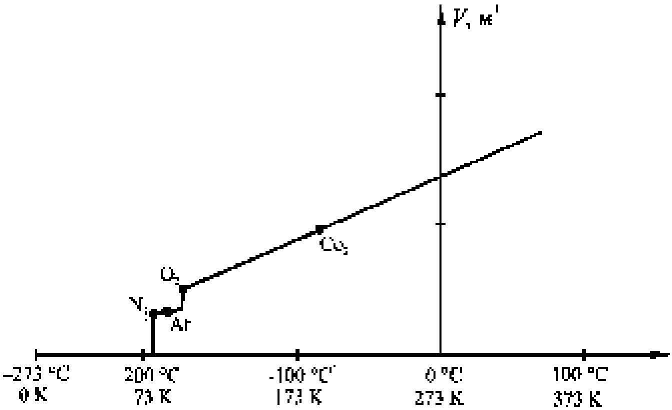
Сразу посыпались вопросы. Какие газы содержатся в воздухе? При каких температурах они переходят в жидкую и твёрдую фазу? Каков процентный состав воздуха? Саша стирает с доски график и рисует заново. Получается аккуратнее.




– Воздух состоит из различных газов, поясняет Саша свой рисунок. – Точно помню, что там есть кислород, углекислый газ, азот, и Вы ещё назвали гелий. Сначала при уменьшении температуры объём воздуха уменьшается по закону Гей-Люссака, причём прямая смотрит в абсолютный ноль. Наконец, температура дойдёт до температуры кипения одного из газов. Этот газ сконденсируется, и объём воздуха уменьшится сразу на тот объём, что этот газ занимал. Охлаждение пойдёт уже по другой прямой, которая тоже смотрит в абсолютный ноль, но уже с другим наклоном. Потом сконденсируется следующий газ, потом ещё. Так что график должен походить на лесенку. Только вот температуры кипения я не знаю, и процентное содержания газов в воздухе тоже.

Пришлось отложить решение до следующего занятия, так как справочников под рукой не оказалось, а об интернете в те времена никто и не слышал.

Через неделю графики были готовы. Естественно, у каждого получился свой, слегка отличавшийся от других, но в главном они совпадали. После обсуждения приняли такой вариант.




Для удобного и быстрого построения графика понадобилась небольшая таблица.

| ГАЗ | $CO_2$ | $O_2$ | Ar | $N_2$ |
|---|---|---|---|---|
| $T$ конденсации, К | 195 | 90 | 87 | 77 |
| %% от объёма воздуха | 0,03 | 21 | 1 | 78 |
| $V$ до конденсации | 52 | 24 | 18 | 18 |
| $V$ после конденсации | 52 | 19 | 18 | 0 |

Остальные газы, содержащиеся в воздухе, можно не учитывать, так как их там пренебрежимо мало. Объём сконденсировавшейся жидкости также можно считать пренебрежимо малым по отношению к оставшемуся объёму газа. Естественно, после конденсации очередного газа процентное содержание оставшихся газов в получившейся смеси пересчитывалось. Углекислый газ $CO_2$ включён в таблицу потому, что у него самая высокая температура конденсации, и, кроме того, $CO_2$ переходит из газообразного сразу в твёрдое состояние, минуя жидкую фазу.

# ДАВЛЕНИЕ

**1.** Петя встал на напольные весы, и они показали 40 кг. Сколько покажут весы, если Петя поднимет одну ногу?

Весы покажут 40 кг. Изменится давление, с которым Петя давит на весы, но его масса не изменится, не изменится и сила, с которой он действует на весы.

**2.** Задача возникла сама собой. Лена, проходя к своей парте, наступила Мише на ногу. Тот, естественно, взвыл от боли, поскольку каблучки туфель были изящными. Вот тут-то Саша и посоветовал находить в любой ситуации положительные стороны.

– Лучше Лена, чем слон, – заметил он.

Упускать такую возможность не хотелось, и я предложил ребятам выяснить, кто больнее наступит на ногу, дама на каблуках или слон? Сразу посыпались уточняющие вопросы. Масса слона? Масса Лены? Площадь каблука? Площадь ступни слона?

Договорились считать массу слона $M$ = 4 тонны, массу Лены $m$ = = 40 кг, площадь каблука $s$ = 4 см$^2$, площадь ступни слона $S$ = 800 см$^2$. Нетрудно посчитать, что на 1 см$^2$ каблука давят 10 кг массы Лены, а на 1 см$^2$ ступни слона давят 5 кг его массы. Всё так просто? Оказалось, что не совсем.

– Лена каблуком на ногу наступила, – замечает Оля, – а другой ногой пола не касалась. Так что на Мишу вся Лена давила.

– Да, – подхватывает Дима, – а слон на одной ноге разве что в цирке стоять может.

Договорились, что слон одной ногой стоит на земле, второй наступил на ногу бедняжки Миши, а остальные ноги слона земли не касаются, они как раз шагают. Теперь на ногу слона давят только 2 тонны, а на 1 см$^2$ – 2,5 кг. Получается, что Лена опаснее слона.

– Нет, не так. Смотрите, – Лена на левый кулачок накладывает правую ладошку. – У слона подошва больше, чем у Миши ступня. Так что эти две тонны будут давить на меньшую площадь.

Площадь ступни Миши, на которую может взгромоздиться слон, оцениваем в 100 см$^2$. Получается, что на 1 см$^2$ давит уже 20 кг слона.

Так что Саша оказался прав, слон наступит больнее. Если, конечно, мы всё оценили правильно.

Каблучок вполне может иметь площадь и поменьше, к примеру, 1 $см^2$. Тогда Лена опаснее слона, поскольку на 1 $см^2$ она давит уже всеми своими 40 килограммами, а слон только 20-ю. Даже если слон встанет на одну ногу, то он только сравняется с Леной.

Понятно, что всё это только оценка.

**3.** До какого уровня опустится спирт?

В свободном конце трубки пустота, и столб ртути, воды или другой жидкости удерживается атмосферным давлением. Давление, которое создаёт столб жидкости, в точности равно давлению воздуха в атмосфере.

$$\rho_Ж \cdot g \cdot h_Ж = \rho_В \cdot g \cdot h_В.$$

Индекс Ж означает жидкость, а В – воздух, Р – ртуть, С – спирт, $g$ во всех равенствах благополучно сокращается.

Мы знаем, что это равенство выполняется для ртути и воды, и из него можно найти числовое значение $\rho_В \cdot h_В$.

$$\rho_В \cdot h_В = \rho_Р \cdot h_Р = 13500 \text{ кг/м}^3 \cdot 760 \text{ мм} =$$
$$= 10260000 \text{ кг} \cdot \text{мм/м}^3.$$

Теперь нетрудно посчитать высоту столба спирта.

$$\rho_С \cdot h_С = \rho_Р \cdot h_Р =$$
$$= 10260000 \text{ кг} \cdot \text{мм/м}^3.$$

Плотность спирта $\rho_С = 800$ кг/$м^3$. Получается:

$$\rho_С = \rho_Р \cdot h_Р / h_С =$$
$$= 10260000 \text{ кг} \cdot \text{мм/м}^3/800 \text{ кг/м}^3 =$$
$$= 12825 \text{ мм} = 12 \text{ м } 82{,}5 \text{ см}.$$

**4.** На земле у подножья башни Сен-Жак ртутный барометр показал как раз 760 мм, а на вершине – 755 мм. Какая высота башни?

Можно считать, что до высоты 500 м плотность воздуха постоянная.

Столбик ртути удерживается давлением воздуха. Давление газа или жидкости вычисляется так:

$$P = \rho \cdot g \cdot h.$$

Здесь $P$ – давление, $\rho$ – плотность жидкости или газа, $g$ – ускорение свободного падения, $h$ – высота столба жидкости или газа, оказывающего давление.

У подножья башни давление $P_0$ ртути и воздуха одинаковое:

$$P_1 = \rho_р \cdot g \cdot h_{р1} = \rho_в \cdot g \cdot h_{в1}.$$

На вершине башни давление $P_1$ ртути и воздуха тоже одинаковое:

$$P_2 = \rho_р \cdot g \cdot h_{р2} = \rho_в \cdot g \cdot h_{в2}.$$

Если вычесть из первого уравнения второе и сократить $g$, получим:

$$\rho_р \cdot h_{р1} - \rho_р \cdot h_{р2} = \rho_в \cdot h_{в1} - \rho_в \cdot h_{в2}.$$

Высота башни $H$ есть ни что иное, как разность высот $h_{в1} - h_{в2}$.

$$H = h_{в1} - h_{в2} = (h_{р1} - h_{р2}) \cdot \rho_р / \rho_в =$$
$$= 5 \text{ мм} \cdot 13500 / 1{,}29 = 52326 \text{ мм} \approx 52 \text{ м}.$$

## ВЛАЖНОСТЬ

**1.** Почему полицейский не поверил человеку, который рассказал, что ничего не смог рассмотреть, так как у него запотели очки, когда он выбежал из тёплого помещения на мороз?

Очки запотевают, когда с мороза входишь в тёплое помещение. Кассир же выскочил из тёплого помещения на мороз, и его очки запотеть не могли.

**2.** Самоделкин сконструировал две одинаковые установки, «высасывающие» всю воду из воздуха. В пустыне установку запустили при температуре $t_п = 40$ °C и относительной влажности $\varphi_п = 5\%$. На льдине установку запустили при температуре $t_л = -10$ °C и относительной влажности $\varphi_л = 60\%$.

Где быстрее получат 1 кг воды?

Плотность насыщенного пара (максимальная абсолютная влажность воздуха) при температуре 40 °C равна примерно 52 г/м$^3$. Если относительная влажность 5%, то в 1 м$^3$ содержится 2,6 грамм воды. Для получения 1 кг воды надо 385 м$^3$ воздуха.

Плотность насыщенного пара при температуре –10 °С равна примерно 2,16 г/м$^3$. Если относительная влажность 60%, то в 1 м$^3$ содержится 1,3 грамм воды. Для получения 1 кг воды надо 770 м$^3$ воздуха.

Отсюда следует, что в пустыне 1 кг воды получат в 2 раза быстрее.

**3.** Знайка и Незнайка отправились в поход. Вечером по радио они узнали, что в районе их похода температура воздуха 20 °С и относительная влажность воздуха 54%. Утром Незнайка вылез из палатки и заявил, что очень сильно замёрз.

– Наверное, заморозки ночью были, – пробормотал он.

– Если ты считаешь, что +10 °С – это заморозки, то они были, – улыбнулся Знайка. – Но ниже температура не опускалась.

Как Знайка определил ночную температуру? Ведь ночью он спал.

Роса выпадает при температуре воздуха меньшей, чем точка росы. Точка росы – температура, при которой водяные пары, не насыщавшие ранее воздух, становятся насыщающими. При меньшей температуре избыток водяных паров выпадает в виде росы.

При температуре +20 °С и относительной влажности 54% плотность водяного пара в атмосфере составляет 9,2 г/м$^3$. При температуре +10 °С плотность насыщенного пара составляет 9,4 г/м$^3$. Это означает, что при охлаждении с +20 °С до +10 °С пар останется ненасыщенным. Избытка воды в атмосфере не будет, и роса не выпадет.

Чтобы рассчитать всё это, едва выглянув из палатки, надо знать и помнить множество различных данных. Но Знайка – он и есть Знайка, так что удивляться не надо.

## ГРАВИТАЦИЯ

**1.** Можно ли ударить ракеткой по теннисному мячику так, чтобы он, пролетев некоторое расстояние, остановился и начал двигаться в обратном направлении? Дополнительное условие: мячик должен вернуться сам. Он ни обо что не ударяется и ни к чему не привязан.

Вот как проходило обсуждение этой задачи на развивающих занятиях с детишками 2-го класса.

## *Гравитация*

– Дядя Боря, в прошлый раз Вы говорили, что математика может сама решения подсказывать, – напоминает Катя. – Как это, расскажите.

– Попробую рассказать. Для начала подумайте, можете ли вы бросить теннисный мяч так, чтобы он, пролетев некоторое расстояние, остановился и начал двигаться в обратном направлении?

– Легко! – не задумываясь, отвечает Валя. – Мы с сестрой часто в теннис играем. Бьёшь о стенку, и мячик возвращается.

– А мы в цирке такую игрушку купили – шарик на резинке. Если шарик кинуть, то резинка растягивается, тянет его назад и шарик в руки возвращается.

– Введём дополнительное условие: мячик должен вернуться сам. Он ни обо что не ударяется и ни к чему не привязан.

Дети задумываются. Беру со стола кубик и слегка подбрасываю его в руке, но никто не обращает внимания. Постепенно дети сдаются, но не все.

– У нас в классе девочка художественной гимнастикой занимается, – говорит Оля. – Так она обруч от себя бросит и закрутит. Он пола коснётся и к ней возвращается.

– Да, у гимнасток это очень красиво получается. Но обруч, чтобы воспользоваться своим вращением, должен обязательно опереться на пол. С теннисным мячом это сделать труднее.

– А в футболе есть такой удар, сухой лист называется, – поддерживает Олю Дима. – Мяч закручивается так, что стенку огибает и влетает в ворота.

– Но обратно мяч ведь не возвращается. – Продолжаю подбрасывать в руке кубик. – А в какую сторону пробить мяч надо, чтобы он вернулся?

Наконец Саша обращает внимание на кубик у меня в руке.

– Всё ясно, мяч надо вверх бросать, тогда он обратно вернётся. И никакие стенки не нужны, ни резинки.

Ответ. Достаточно ударить по мячику так, чтобы он полетел вверх. Достигнув верхней точки полёта, он сам вернётся.

**2.** Снаряд вылетает из пушки вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 300$ м/с. Через сколько секунд он окажется на высоте $H = 4$ км? Размерами пушки и сопротивлением воздуха можно пренебречь. Считать $g = 10$ м/с$^2$.

Перемещение при равноускоренном прямолинейном движении вычисляется по формуле:

$$L(t) = l_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}.$$

В нашем случае $L$ – высота $H$, на которую поднимается снаряд;

$l_0$ – начальная высота $h_0 = 0$;

$v_0 = 300$ м/с;

$a$ – ускорение, в нашем случае $a = -g$.

Нас интересует время $t$, через которое снаряд окажется на высоте $H = 4$ км.

Получаем уравнение:

$$\frac{-gt^2}{2} + v_0 t = H$$

или

$$-\frac{10\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot t^2}{2} + 300\,\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot t = 4000 \text{ м}.$$

Решаем это уравнение относительно $t$ и получаем:

$$t_1 = 20 \text{ с и } t_2 = 40 \text{ с}.$$

Через 20 секунд снаряд, поднимаясь вверх, достигнет высоты 4 км, а через 40 секунд он окажется на высоте 4 км при падении вниз.

С этой задачей произошла весьма поучительная история. Сейчас, полвека спустя, она может показаться забавной, но тогда чуть не закончилась проваленным экзаменом и нервной истерикой у её главного героя.

Не в пример нынешним школьникам, мы сдавали экзамены в каждом классе, практически по всем предметам, и, в основном, устно. На выпускном экзамене Коле Аксёнову, лучшему нашему физику, досталась эта задача.

Коля уверенно составил уравнение:

$$H = h_0 + v_0 \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2};\ h_0 = 0.$$

Потом он быстро произвёл нужные действия, подставил числа и неожиданно для себя получил два значения времени: $t_1 = 20$ и $t_2 = 40$ с. Впрочем, ничего удивительного в этом не было, поскольку такое квадратное уравнение имеет два корня, но Коля растерялся.

Конечно, в нормальных условиях Коля, ни секунды не задумываясь, легко бы объяснил наличие двух значений времени, но в этот ответственный момент его попросту заклинило. Ещё бы! Экзамены на аттестат зрелости у большинства людей бывают раз в жизни. Наш учитель физики Константин Михайлович Севостьянов, добрейшей души человек, сразу всё понял и показал за спиной Председателя экзаменационной комиссии два пальца, намекая на наличие двух равноправных ответов. Но Коля понял этот жест так, что если он не решит задачу, то получит двойку. Было от чего впасть в отчаяние.

Несколько учеников, готовящихся к ответу, тоже принялись подсказывать, демонстрируя два пальца, но Коля уже не понимал ничего. Наконец кто-то сообразил:

– Константин Михайлович, а чертёж обязательно делать? А то у Коли чертежа нет, так и непонятно ничего.

Сразу полегчало. Коля принялся рисовать траекторию полёта и понял, что на высоте $H$ снаряд побывает два раза – когда поднимается и когда опускается. Поэтому ничего удивительного в том, что в ответе получились два значения времени, нет.

Пятёрку Коля получил.

**3.** Вот как проходило обсуждение этой задачи на развивающих занятиях.

Эта задача отличается от предыдущей тем, что тело брошено под углом к горизонту и вертикальную составляющую начальной скорости надо вычислять. Но не всё так просто.

Повторим условие задачи. Дом с плоской крышей имеет высоту $H = 40$ м. На расстоянии $L = 60$ м от дома установлена теннисная пушка. Пушка выстрелила мячиком под углом $\alpha = 37°$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 50$ м/с. Через сколько секунд мячик упадёт на крышу дома? Сопротивлением воздуха и размерами пушки пренебречь. Считать $g = 10$ м/с$^2$, $\sin\alpha = 0{,}6$, $\cos\alpha = 0{,}8$.

После решения предыдущей задачи понятно, что надо найти два значения времени, когда мячик окажется на высоте $H$, и в качестве ответа взять большее значение, поскольку мячик должен **упасть** на крышу сверху. Ребята составляют уравнение:

$$H = h_0 + \upsilon_{0\uparrow} \cdot t - \frac{g \cdot t^2}{2},$$

где $h_0 = 0$ и вертикальная составляющая начальной скорости:

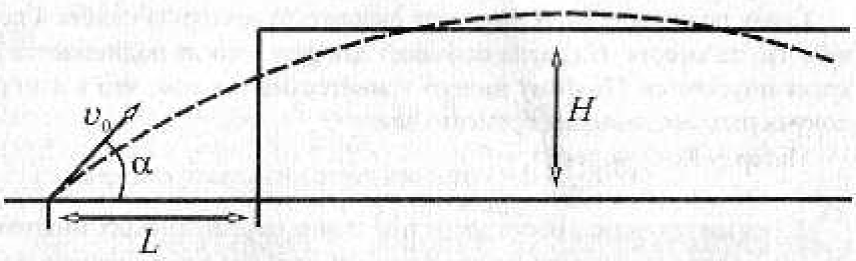
$$\upsilon_{0\uparrow} = \upsilon_0 \cdot \sin\alpha = 30 \text{ м/с}.$$

Потом быстро решают это уравнение и получают два корня:

$$t_1 = 2 \text{ с} \text{ и } t_2 = 4 \text{ с}.$$

В качестве ответа выбирают $t_2 = 4$ с. Тут кто-то замечает, что в решении не принимало участие расстояние между пушкой и домом. Ребята знают, что я иногда делаю так специально, чтобы приучить их внимательно относиться и к условию задачи, и к её решению.

Предлагаю оценить время, за которое мячик пролетит по горизонтали 60 метров, и на какой высоте он окажется в этот момент? Посчитать это нетрудно: время – 1,5 с, высота – 28,75 м. Значит, мячик ударится о стенку дома, не успев подняться на высоту крыши. Это хорошо видно из рисунка, если сохранить в нём все пропорции.




**4.** Немного о невесомости. Во времена моей юности никто ни о каком ЕГЭ даже не догадывался, и каждому ВУЗу предоставлялось вполне законное право отбирать среди массы абитуриентов подходящих себе студентов.

После ответов на обязательные вопросы билета, экзаменатор попросил меня рассказать о невесомости. Не знаю, какой бесёнок в меня тогда вселился, но вместо формул и вычислений я вдруг сказал, что легко могу показать эту самую пресловутую невесомость, если, конечно, пренебречь сопротивлением воздуха. В усталых глазах преподавателя вспыхнули весёлые искорки.

– Интересно взглянуть, – задорно произнёс он. – Ну-ка, попробуй!

И мне ничего не оставалось делать, как просто подпрыгнуть.

– Ну и что? – последовал вопрос.

– Как что? Пока я летел, был в невесомости.

Юрий Сафронович Игнатьев, легенда МИФИ, потом признался, что после нашей беседы всех абитуриентов он просил в качестве дополнительного вопроса не рассказать о невесомости, а продемонстрировать её. Для положительного ответа совсем не обязательно следовало подпрыгивать, достаточно было слегка подбросить какой-нибудь предмет – ключи, монетку, пуговицу…

Человек на космической станции находится в состоянии невесомости. Действует ли на него притяжение Земли?

В конце года мы со старшеклассниками занимались повторением пройденного материала. У доски отвечала симпатичная девчушка, впоследствии отличившаяся на каком-то долгоиграющем телевизионном шоу. А пока Жанна рассказывала про Закон Всемирного Тяготения.

– Хорошо космонавтам, – позавидовала она. – На них гравитация не действует.

– Ты уверена?

– Да. Нам давным-давно на уроках природоведения так рассказывали.

Действительно, посмотрел у внучки учебник «Окружающий мир» для 2-го класса. Чёрным по белому написано «Земное притяжение на корабле (космической станции) перестаёт действовать». Уж лучше бы ничего не писали, чем так.

Типичное заблуждение, многие неправильно понимают причины невесомости. Пришлось освежить в памяти учеников вращательное движение и всё, что с ним связано. Вспомнили, что невесомость наступает, когда на тело действует только одна сила – сила гравитации. А это значит, что ускорение тела совпадает с ускорением свободного падения в данной точке пространства. Тогда тело никак не действует на опору или подвес, т.е. не имеет веса.

А земное притяжение никуда не пропадает, просто оно полностью «расходуется» на то, чтобы поворачивать спутник вокруг Земли. Поэтому и сам спутник, и всё, что в нём есть, находятся в состоянии невесомости. И, вообще, любое тело, на которое действуют только силы гравитации, находится в таком состоянии.

Правильный ответ. Земное притяжение действует на всё, в том числе и на космонавта, даже если он находится в состоянии невесомости.

**5.** Космическая станция движется около Земли по круговой орбите на высоте $h$ = 300 км. Определите её скорость $\upsilon$, если на ней всё находится в состоянии невесомости.

При движении космической станции около Земли по круговой орбите состояние невесомости наблюдается при условии, что её центростремительное ускорение $a_n$ совпадает с ускорением свободного падения на данной высоте $g_h$:

$$a_n = g_h; \quad a_n = \frac{\upsilon^2}{R+h}; \quad g_h = \frac{g_0 \cdot R^2}{(R+h)^2},$$

где $R$ = 6400 км – радиус Земного шара; $g_h$ – ускорение свободного падения на высоте орбиты; $g_0$ =10 м/с$^2$ – ускорение свободного падения на поверхности Земли.

$$\frac{\upsilon^2}{R+h} = \frac{g_0 \cdot R^2}{(R+h)^2}.$$

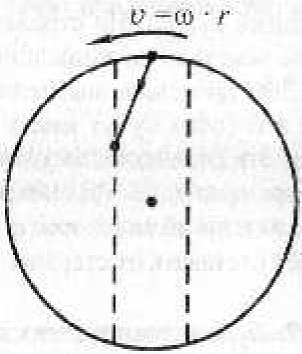
После несложных преобразований выясняется, что космическая станция на высоте $h$ должна лететь со скоростью $\upsilon$, чтобы на ней наблюдалась невесомость:

$$\upsilon = R \cdot \sqrt{\frac{g_0}{R+h}} = 6{,}4 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot \sqrt{\frac{10\frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{6{,}9 \cdot 10^6 \text{ м}}} = 7{,}7 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**6.** Лет пятьсот назад учёные спорили: что будет со снарядом, выпущенным из пушки вертикально вверх? Спор, конечно, чисто теоретический, поскольку установить пушку так, чтобы она выстрелила строго вертикально, практически невозможно. Эта задача тоже не вполне реалистична, но есть гарантия, что в первый момент тело будет двигаться вертикально.

Повторим условие задачи. Через всю Землю насквозь точно через её центр пробурена скважина диаметром 10 м. В скважину бросили камень. Что будет с камнем?

Многие считают, что камень долетит до другого конца скважины, вернётся обратно, потом опять туда и опять обратно. И так до бесконеч-

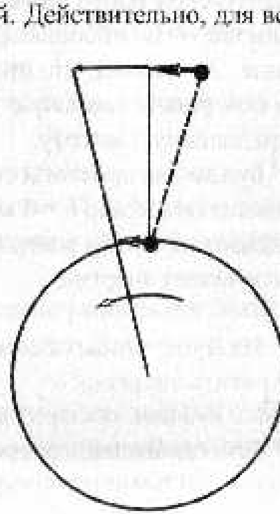



ности. Это если не учитывать сопротивления воздуха, а если учитывать, то воздух будет, естественно, тормозить, и, полетав туда-сюда, камень успокоится в самом центре Земли.

Примерно так рассуждают и мои ребята. Это справедливо, если скважину пробурить от полюса до полюса. Но мы-то знаем, что Поле Чудес находилось в более тёплых краях.

Предлагаю вспомнить про движение тела, брошенного под углом к горизонту. Там всё просто: если пренебречь сопротивлением воздуха, то горизонтальная составляющая скорости остаётся постоянной, а вертикальная составляющая меняется с ускорением $g$. А теперь посмотрим на движение камня в скважине. Мы будем наблюдать с Северного Полюса, а скважину Буратино поместим на экватор.

Опускаясь вниз, камень будет сохранять ту горизонтальную составляющую скорости, что была у него на поверхности, а вертикальная составляющая скорости у него будет меняться с ускорением $g$. Само ускорение будет с глубиной постепенно уменьшаться, но не это сейчас главное. А главное то, что горизонтальная составляющая скорости стенок скважины также уменьшается с глубиной. Действительно, для всех точек угловая скорость вращения Земли $\omega$ одинаковая, а по мере приближения к центру их линейная скорость уменьшается.



Из этого следует, что камень когда-нибудь догонит восточную стенку скважины и ударится о неё. Выглядит это примерно так. Масштаб, естественно, не соблюдается.

А если бы когда-нибудь кому-нибудь удалось выстрелить строго вертикально вверх, то снаряд постепенно отставал бы от вертикали, и упал западнее пушки. Но стрелять пришлось бы очень высоко, так, чтобы стала заметной разница линейных скоростей.

Действительно, мысленно вставим в дуло пушки жесткий стержень. Все его точки будут иметь одинаковую угловую скорость. Линейная скорость отдельных его точек будет возрастать по мере удаления от центра вращения. Линейная скорость снаряда будет оставаться такой же, как и линейная скорость пушки. Это значит, что при подъёме снаряд будет отставать от стержня.

**7.** Будем считать, что на поверхности Луны притяжение в 7 раз меньше, чем на поверхности Земли $g_Л = g_З / 7$. Спортсмен в зале на Земле прыгает в высоту на $H_З = 2$ метра. Оцените высоту $H_Л$, которую он может преодолеть точно в таком же зале на Луне?

Чаще всего ребята, и не только они, сначала удивляются очевидности ответа: $H_Л = H_З \cdot 7 = 14$ м. Но потом задумываются: справедливо предполагая, что если всё так просто, то зачем вообще эта задача?

Техника прыжка в высоту у какого-то спортсмена лучше, у другого похуже, но всё равно выгодно отличается от техники неподготовленного человека. Самое время напомнить, что высокие спортсмены имеют преимущество перед маленькими в прыжках в высоту. Почему?

Чтобы перелететь через планку, надо, как минимум, поднять на эту высоту свой центр тяжести. Конечно, у высоких спортсменов и ноги длиннее, и сил побольше, но главное – у них центр тяжести расположен выше. Это значит, что при прочих равных условиях высокие спортсмены совершают меньшую работу при подъёме своего центра тяжести на определённую высоту.

Будем для простоты считать, что центр тяжести нашего прыгуна находится на высоте $h = 1$ м, и при перелёте через планку он практически задевает её. Чтобы совершить этот прыжок на Земле, спортсмен массы $m$ затрачивает энергию:

$$E_З = mg_З(H_З - h).$$

На Луне, чтобы совершить прыжок на высоту $H_Л$, спортсмен должен затратить энергию:

$$E_Л = mg_Л(H_Л - h).$$

При одинаковой затрате энергии $E_З = E_Л$ имеем равенство:

$$mg_З(H_З - h) = mg_Л(H_Л - h).$$

Теперь легко определить высоту, которую преодолеет прыгун на Луне:

$$H_Л = \frac{g_З}{g_Л}\ (H_З - h) + h.$$

По условию задачи $g_Л = g_З/7$. Отсюда получается, что $H_Л = 8$ м.

Спортсмен, преодолевающий на Земле высоту 2 метра, сможет на Луне преодолеть 8 метров, что в 4 раза, а не в 7 раз больше, чем на Земле.

**8.** Когда на Земле биатлонист стреляет в мишень, пуля из винтовки вылетает со скоростью 300 метров в секунду. С какой скоростью эта пуля вылетит из этой же винтовки на Луне? Будем считать, что на поверхности Луны притяжение в 7 раз меньше, чем на поверхности Земли.

После решения предыдущей задачи многие, не задумываясь, умножают 300 на 4, и получают ответ 1200 метров в секунду. Увы, это неверно. Скорость вылета пули определяется только энергией, выделяющейся при горении пороха, и массой самой пули, и не зависит от силы тяжести. От силы тяжести будет зависеть, к примеру, длительность или дальность полёта пули.

**9.** Незнайка выиграл в лотерею билет на космическую станцию. Скоро он туда отправился и вернулся через неделю со сломанным пальцем, закованным в гипс, и синяком под глазом.

– Ты там что, с инопланетянами подрался? – рассмеялись его друзья.

– Нет. Я на экскурсию в открытый космос выходил, – объяснил Незнайка. – А тут как раз сигнал поступил «обедать». Я от радости движок у скафандра чуть сильнее, чем надо, включил, ну и врезался в переходной отсек. Палец сломал и синяк получил.

– Ну, и здоров же ты сочинять! – ещё больше рассмеялся Знайка. – Ты же там ничего не весил, так что сломать ничего не мог.

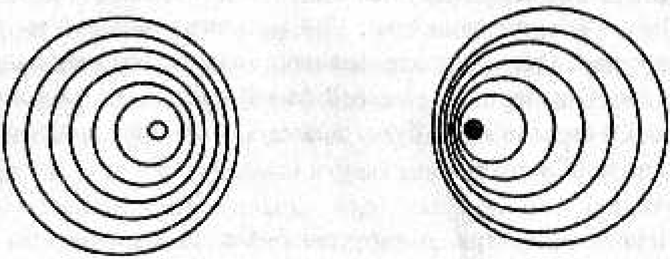
Кто прав, Знайка или Незнайка?

Будем считать удар неупругим, тогда кинетическая энергия относительного движения расходуется на изменение внутренней энергии (нагрев) и на деформацию (сломанный палец) столкнувшихся тел. А кинетическая энергия зависит от скорости и массы, но не от веса. Так что Незнайка вполне мог сломать палец при столкновении с космической станцией.

Примерно такая же ситуация возникает на Земле, если вы вдруг упадёте (лучше не надо) с дерева. В полёте вы будете в состоянии невесомости по причине отсутствия опоры или подвеса, но контакт с твердой поверхностью будет весьма ощутимым. Можете и синяк заработать, и палец сломать.

## КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

**1.** Двое плывут по озеру. При каждом взмахе руки образуются волны. На рисунке кружочки – это волны, а точки – пловцы. Кто плывёт быстрее – пловец в белой шапочке ○ или пловец в чёрной шапочке ●?



Образовавшись, волны распространяются во все стороны с одинаковой скоростью. Здесь скорость пловцов меньше скорости распространения волн, и пловцы догоняют волны впереди себя, но догнать не могут. Волны сгущаются в том направлении, куда движется пловец, и разряжаются в противоположном. Чем больше скорость пловца, тем сильнее сгущение. Пловец в чёрной шапочке плывёт быстрее.

**2.** Математический маятник длиной $L = 1{,}000$ м раскачивается в Лондоне с периодом $T = 2{,}006$ с. Какое в Лондоне ускорение свободного падения $g_Л$? Посчитайте с точностью до четвёртого знака.

И сразу же вопрос.

– А разве ускорение свободного падения на поверхности Земли бывает разным?

– Конечно, бывает. Мы с хорошей точностью считаем нашу Землю идеальным шаром. Но она – не шар. По крайней мере, Земля приплюснута на полюсах. Так что решайте задачу.

Решение не представляет для ребят проблему, осложняет только необходимость считать вручную. В те далёкие времена калькуляторов ещё не было. Из формулы периода колебаний математического маятника

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

следует:

$$g = \frac{4\pi^2 \cdot L}{T^2} = \frac{4 \cdot 9{,}872 \cdot 1{,}000\text{м}}{4{,}024\text{с}^2} = 9{,}813\frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

**3.** Математический маятник длиной $L = 1{,}000$ м (из предыдущей задачи) в Лондоне висит неподвижно. Какой теперь его период колебания $T$?

Если эту задачу демонстрировать, например, показать связку ключей, спокойно висящую на длинном шнурке, то очень многие уверенно ответят: «НОЛЬ». И будут глубоко неправы.

Ребята реагируют примерно так же, но после пары наводящих вопросов находят верный ответ. Период колебания маятника – это его характеристика, такая же, как масса – характеристика тела. В предыдущей задаче мы уже пользовались формулой:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

Амплитуда колебаний в эту формулу не входит, так что можно считать, что маятник колеблется с таким периодом и с нулевой амплитудой.

**4.** На Луне математический маятник совершает 6 колебаний в минуту. Сколько колебаний в минуту совершит этот маятник на Марсе?

Ребята ворчат – опять, дескать, придётся возиться с вычислениями. Дима неохотно выходит к доске и приступает к решению задачи, попутно объясняя свои действия.

– При частоте 6 колебаний в минуту период получается 10 секунд. Из формулы периода колебаний маятника определим его длину при ускорении свободного падения Луны. Потом эту длину подставим в формулу периода, но с ускорением свободного падения для Марса...

Пока Дима говорил, у Саши появился готовый ответ.

– Всё намного проще, – пояснил он. – Длину маятника вычислять нет никакой необходимости. Напишем отношение периодов для Луны и Марса, и всё сократится.

Действительно:

$$T_Л = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g_Л}}; \quad T_М = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g_М}}; \quad \frac{T_Л}{T_М} = \frac{\nu_М}{\nu_Л} = \sqrt{\frac{g_М}{g_Л}};$$

$$\nu_М = \nu_Л \cdot \sqrt{\frac{g_М}{g_Л}} = 6\ мин^{-1} \cdot \sqrt{\frac{3{,}86}{1{,}62}} = 9{,}25\ мин^{-1}.$$

Маятник на поверхности Марса будет совершать 9,25 колебаний в минуту.

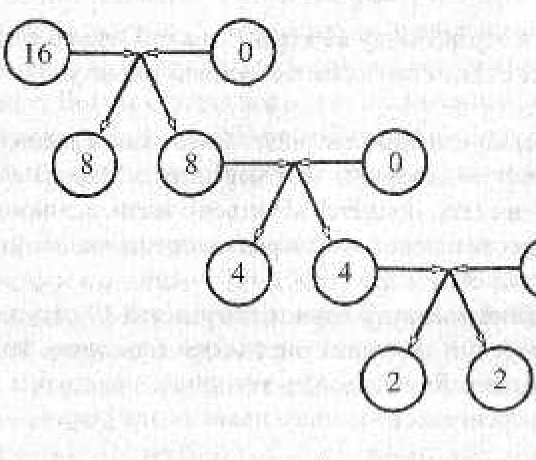
Здесь $g_Л$ и $g_М$ – ускорения свободного падения на поверхности Луны и Марса, $\nu$ – частота колебаний маятника.

# ЭЛЕКТРОСТАТИКА

**1.** Есть несколько одинаковых металлических шариков, один из них имеет заряд $1{,}6 \cdot 10^{-8}$ Кл. Как получить шарик с зарядом $2 \cdot 10^{-9}$ Кл?

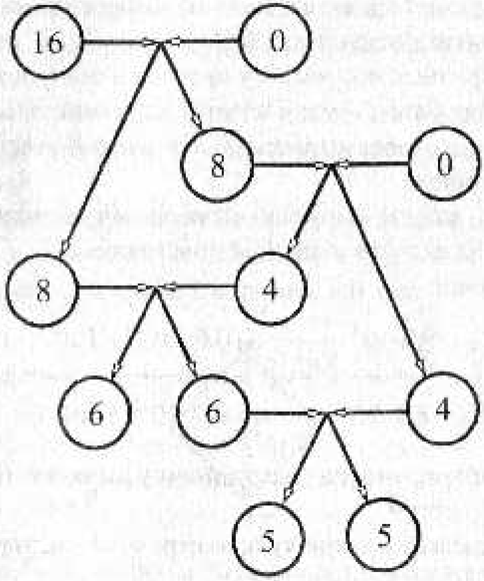
Надо коснуться заряженным шариком одного из нейтральных шариков, после этого на каждом из них окажутся одинаковые заряды по $8 \cdot 10^{-9}$ Кл. Потом одним из этих шариков коснуться другого нейтрального шарика, и на каждом окажется по $4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Потом одним из этих шариков коснуться другого нейтрального шарика, и на каждом окажется по $2 \cdot 10^{-9}$ Кл.

Решение хорошо иллюстрирует схема:



**2.** Есть несколько одинаковых металлических шариков, один из них имеет заряд $1{,}6 \cdot 10^{-8}$ Кл. Как получить шарик с зарядом $5 \cdot 10^{-9}$ Кл?

Решение задачи понятно из схемы:




**3.** Два протона, каждый с зарядом $q_р = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл, отталкиваются с силой $F_Q$. Сколько потребуется нейтронов $N$, чтобы удержать протон на месте силой гравитации $F_G$? Массу нейтрона считать равной массе протона $m_n = m_р = 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ кг.

– А на каком расстоянии протоны находятся друг от друга? – этого вопроса я не ожидал, думал, что ребята, знакомые и с законом Кулона, и с законом Всемирного тяготения, сразу поймут причину отсутствия конкретного расстояния между протонами. Предлагаю подумать.

– А чего тут думать, – заявляет Саша. – Надо приравнять силы, и тогда квадрат расстояния просто сократится.

Он выходит к доске и пишет формулы:

$$F_Q = k \cdot \frac{q_р \cdot q_р}{R^2}; \quad F_G = G \cdot \frac{m_р \cdot m_р \cdot N}{R^2};$$

$$k \cdot \frac{q_р \cdot q_р}{R^2} = G \cdot \frac{m_р \cdot m_р \cdot N}{R^2}.$$

– Вот, – поясняет Саша. – Сразу видно, квадрат расстояния сокращается.

– А почему у тебя в силе гравитации не вполне точно? – спрашивает Оля. – Там же должно присутствовать произведение массы протона на сумму масс протона и нескольких нейтронов.

– Мы договорились, что массы у протона и нейтрона одинаковые, – уверенно отвечает Саша, – так я не хочу загромождать формулы лишними действиями и скобками разными. Потом из $N$ вычту единицу и получу число нейтронов.

– Интересно, как ты сможешь вычесть эту единицу, – улыбается Костя. – Ты числа сначала попробуй подставить.

Саша подставил:

$$N = \frac{k \cdot q_p^2}{Gm_p^2} = \frac{9{,}0 \cdot 10^9 \ \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3}{\text{Кл}^2 \cdot \text{с}^2} \cdot (1{,}6 \cdot 10^{-19})^2 \text{Кл}^2}{6{,}7 \cdot 10^{-11} \ \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \cdot (1{,}7 \cdot 10^{-27})^2 \text{кг}^2} = 1{,}2 \cdot 10^{36}.$$

– Да, из такого огромного числа единицу вычитать бессмысленно, – смеётся Саша.

– А какая же масса у такой кучи нейтронов? – интересуется кто-то.

Посчитали:

$$M_n = 1{,}2 \cdot 10^{36} \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 2 \cdot 10^9 \text{ кг}.$$

– Ничего себе! – удивляется Оля. – Это же два миллиона тонн!

– Вот насколько гравитационное взаимодействие слабее электрического, – подвожу итог обсуждения и жду ещё одного вопроса, и он не заставляет себя ждать.

– А как же несколько протонов уживаются в ядре атома?

**4.** Как расположить три электрических заряда, чтобы они оставались неподвижными?

– А какие величины и знаки зарядов? – интересуется Дима.

– Это предстоит выяснить.

Ребята задумываются. Валя и Тамара что-то чертят, а Саша задумчиво глядит в потолок. Он и подаёт первым голос.

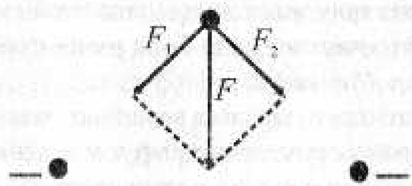
– Заряды должны быть обязательно разных знаков.

– Все три? – ехидно спрашивает кто-то, но Саша настроен вполне серьёзно. – Если все три заряда одного знака, то они неизбежно разлетятся в разные стороны. И если один заряд нулевой, то два других или тоже разлетятся, или, наоборот, навстречу друг другу полетят.

– А ещё все три заряда обязаны находиться на одной прямой, – замечает Катя. – Причём, в середине положительный заряд, а по краям отрицательные. Или, наоборот, в середине отрицательный заряд, а по краям положительные.

Предлагаю для определённости поместить положительный заряд посередине и интересуюсь, почему все три заряда обязаны находиться на одной прямой.

– Очень просто, – объясняет Катя. – В противном случае на положительный заряд две силы будут действовать под углом и их результирующая заставит его двигаться. Например, вот так:



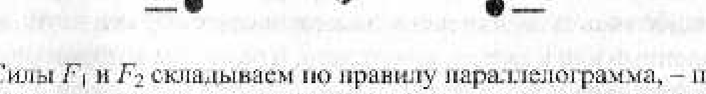

– Силы $F_1$ и $F_2$ складываем по правилу параллелограмма, – продолжает Катя, – и получаем силу $F$, которая ничем не скомпенсирована.

Со своим предложением выступает Дима.

– Если отрицательные заряды одинаковые, то достаточно расположить их на равных расстояниях от среднего заряда, чтобы он оставался неподвижным.

Это понятно всем. Остаётся выяснить величину этих отрицательных зарядов, чтобы и они никуда не двигались.

Обозначим $Q$ – величину положительного заряда, $q$ – величину отрицательных зарядов, $r$ – расстояние между положительным и отрицательным зарядами.




Определим силы, действующие на левый заряд. $F_3$, – сила притяжения между $Q$ и $q$, $F_4$ – сила отталкивания между отрицательными зарядами. Эти силы противоположные по направлению, но одинаковые по величине:

$$F_{\rightarrow} = k\frac{q \cdot Q}{r^2}; \quad F_{\leftarrow} = k\frac{q \cdot q}{(2r)^2}; \quad F_{\rightarrow} = F_{\leftarrow}.$$

Приравняем модули сил и получим значение заряда $q$:

$$k\frac{q \cdot Q}{r^2} = k\frac{q \cdot q}{(2r)^2}; \quad q = 4Q.$$

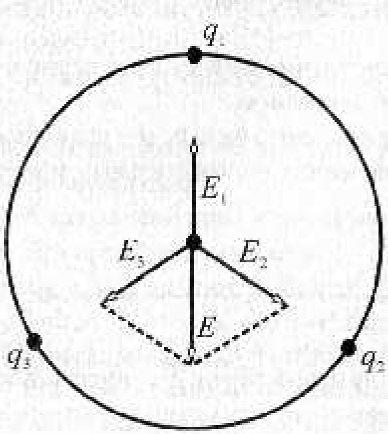
Мы расположили три заряда на одной прямой, в середине – положительный и по краям на одинаковом от него расстоянии – отрицательные, которые по величине в 4 раза больше положительного заряда. Заряды двигаться не будут.

**5.** Как расположить три одинаковых заряда, чтобы в заданной точке $O$ напряженность электрического поля была равна нулю ($E_0 = 0$)? Какой получится потенциал в точке $O$?

Достаточно расположить заряды в вершинах равностороннего треугольника, вписанного в окружность с центром в точке $O$. Действительно, напряженность одиночного электрического заряда – это вектор, направленный или к заряду, или от него, и величина которого вычисляется по формуле:

$$E = k \cdot \frac{q}{r^2}.$$

Нарисуем схему решения задачи:




Каждый из зарядов создаёт в центральной точке «свою» напряженность ($E_1$, $E_2$, $E_3$). Сумма векторов $E_2$ и $E_3$ – вектор $E$. Этот вектор равен по величине вектору $E_1$ и противоположен ему по направлению. Так что сумма векторов $E_1$ и $E$ равна нулю. Действительно:

$$E_1 = k\frac{q}{r^2}; \quad \vec{E} = \vec{E_2} + \vec{E_3};$$

$$E = 2k\frac{q}{r^2}\sin 30^\circ = k\frac{q}{r^2}.$$

Получается $E_1 = E$, но они направлены строго в противоположные стороны, значит, напряженность в точке $O$ равна нулю.

Здесь $r$ – радиус окружности, но от него зависит только значение потенциала. Потенциал, в отличие от напряженности, величина скалярная, поэтому потенциал в точке $O$ – простая сумма трёх равных потенциалов от трёх одинаковых зарядов:

$$\varphi_0 = 3k \cdot \frac{q}{r}.$$

**6.** Как расположить $N$ одинаковых зарядов, чтобы в заданной точке $O$ напряженность электрического поля была равна нулю ($E_0 = 0$)? Какой получится потенциал в точке $O$?

Достаточно расположить заряды в вершинах правильного $N$-угольника, вписанного в окружность с центром в точке $O$. Потенциал в точке $O$ – простая сумма $N$ равных потенциалов от $N$ одинаковых зарядов.

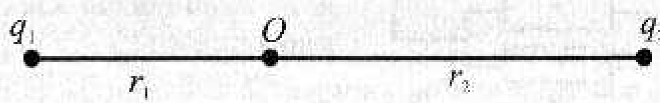
**7.** Как расположить четыре разных положительных заряда, чтобы в заданной точке $O$ напряженность электрического поля была равна нулю ($E_0 = 0$)?

После успешного решения предыдущих задач ребята немного растерялись. С одинаковыми зарядами было всё ясно – размещаем их в вершинах соответствующего правильного многоугольника и имеем в центре нулевую напряженность. Но скоро всё встало на свои места.

– Если взять два любых положительных заряда, – начинает Саша, но его перебивает Костя.

– У нас четыре!

– Не торопись, – отвечает Саша и продолжает. – Если взять два любых положительных заряда, то между ними обязательно найдётся точка, в которой суммарная напряженность будет равна нулю. В этой точке напряженности равны по величине и противоположны по направлению.



Отсюда легко получить отношение расстояний от зарядов до точки $O$:

$$k\frac{q_1}{r_1^2} = k\frac{q_2}{r_2^2}; \qquad \frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{q_1}{q_2}}.$$

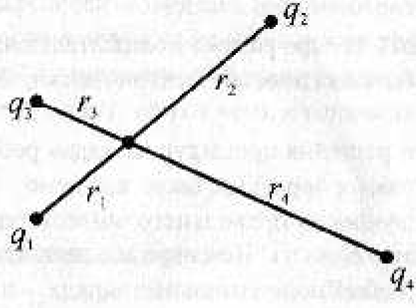
Значит, если заряд $q_1$ поместить на расстоянии $r_1$ от точки $O$, то заряд $q_2$ следует поместить в противоположном направлении на расстоянии $r_2$, которое вычисляется по такой формуле:

$$r_2 = r_1\sqrt{\frac{q_2}{q_1}}.$$

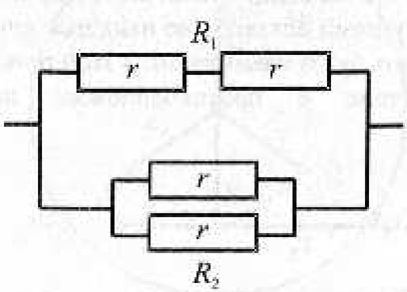
Для зарядов $q_3$ и $q_4$ справедливо такое же соотношение. Если заряд $q_3$ поместить на расстоянии $r_3$ от точки $O$, то заряд $q_4$ надо поместить в противоположном направлении на расстоянии $r_4$:

$$r_4 = r_3\sqrt{\frac{q_4}{q_3}}.$$

В результате получается примерно такая картинка:




## ЭЛЕКТРИЧЕСТВО




**1.** Мастеру Самоделкину срочно понадобилось сопротивление $R = 8$ ом, но у него в наличии оказались только четыре сопротивления по $r = 20$ ом каждый. Как Самоделкину поступить?

Самоделкину достаточно собрать такую схему:

Действительно:

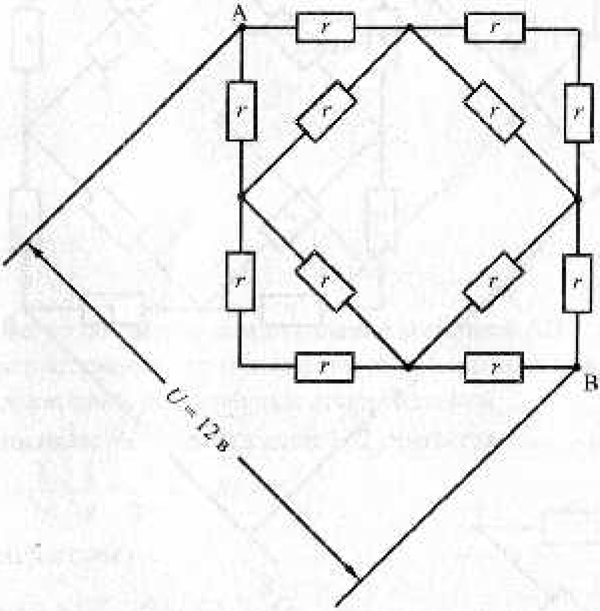
$$R_1 = r + r = 2r; \quad R_2 = \frac{r}{2}.$$

Общее сопротивление цепи:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{2r \cdot \frac{r}{2}}{2r + \frac{r}{2}} = \frac{2}{5}r.$$

При $r = 20$ ом получается $R = 8$ ом.

**2.** Мастер Самоделкин собрал такую схему. Все сопротивления в ней одинаковые: $r = 15$ ом. Напряжение между точками A и B $U = 12$ в. Какой общий ток $I$ в цепи?




Прежде, чем давать подобную задачу в контрольной работе, решил обсудить её на развивающих занятиях с ребятами, которые интересуются физикой. Вот что из этого получилось.

Минут пять стояла полная тишина. Первым нарушил молчание Саша.

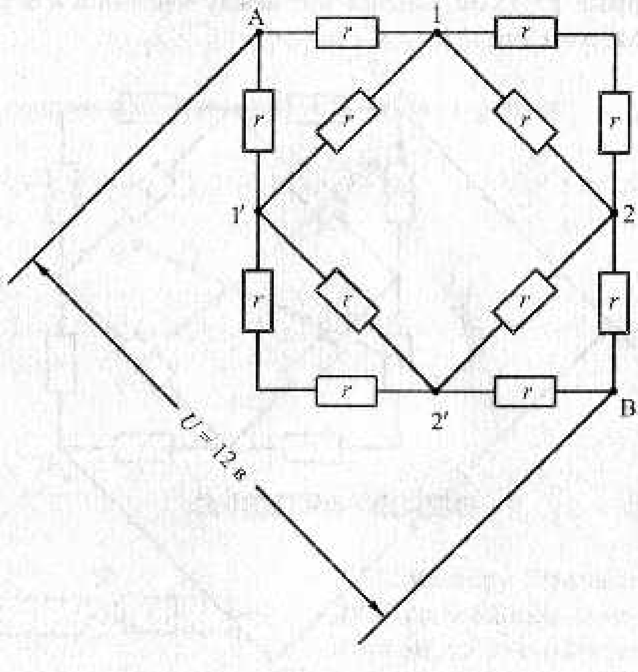
– Мне кажется, что тут всё дело в симметричности схемы.

– Как так? – спрашивает кто-то.

– Ток, который пришёл в точку А, делится в ней пополам, – поясняет Саша, – потому что и влево, и вправо, картинки одинаковые.

– Правильно, – поддерживает его Катя. – И в точку В сходятся два одинаковых тока.

Ребята правильно уловили идею решения, остаётся сделать только последний шаг. Предлагаю ввести на схеме дополнительно ещё несколько обозначений:



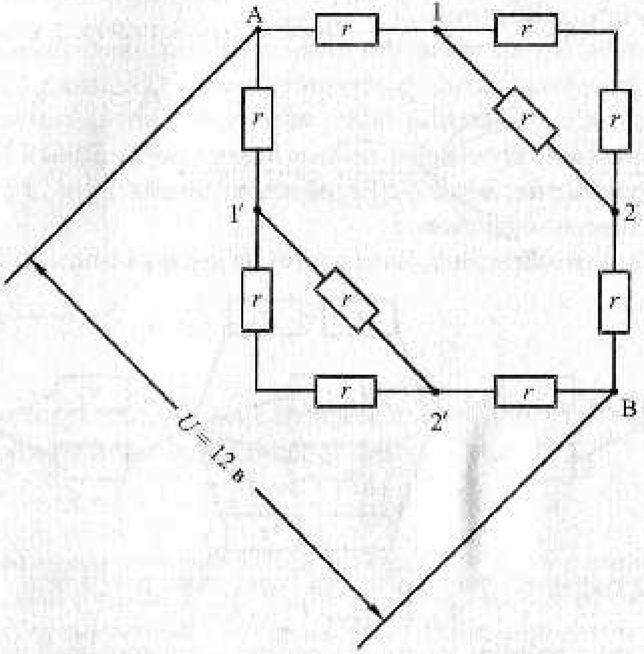

– В какую сторону будет течь ток между точками 1' и 1?

– Схема симметричная, – рассуждает вслух Дима, – значит…, значит, в никакую.

– И между точками 2 и 2' тока тоже не будет, – поддерживает его Оля.

– А это значит, – уверенно говорит Саша, – что эти проводники можно просто выкинуть, и тогда останется простая схема.

Он стирает с доски соединения 1–1' и 2–2', после чего получается такая картинка:

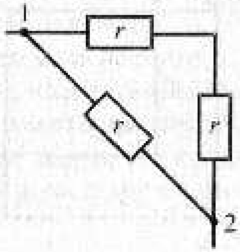



Теперь легко посчитать сопротивление всей цепи AB.

Считаем постепенно, применяя формулы сопротивления параллельно и последовательно соединённых сопротивлений.

Сопротивление $R_{1-2}$ участка цепи 1–2 считается так:

$$\frac{1}{R_{1-2}} = \frac{1}{2r} + \frac{1}{r} = \frac{3}{2 \cdot r}; \qquad R_{1-2} = \frac{2}{3}r.$$




Дальнейшее просто:

$$R_{A-1-2-B} = r + R_{1-2} + r = \frac{8}{3}r;$$

$$R_{AB} = \frac{R_{A-1-2-B}}{2} = \frac{4}{3}r = 20 \text{ ом}.$$

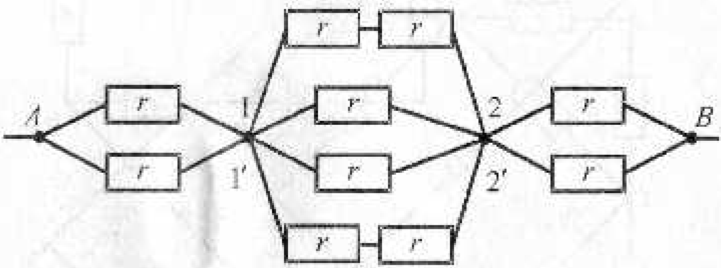
Остаётся определить величину полного тока:

$$I=\frac{U}{R_{\text{АВ}}}=\frac{12\ \text{в}}{20\ \text{ом}}=0{,}6\ \text{А}.$$

Задача решена. Но тут выясняется, что есть и другой способ преобразования исходной схемы.

– Помните, Вы говорили, что точки схемы с одинаковыми потенциалами можно объединять? – выступает Тамара. – От точки А и налево, и направо, токи одинаковые текут, потому, что схема симметричная. И сопротивления в ветвях одинаковые. Значит, потенциалы в точках 1 и 1' тоже одинаковые. Вот мы с Валей и объединили 1 с 1', а 2 с 2', там тоже потенциалы одинаковые.

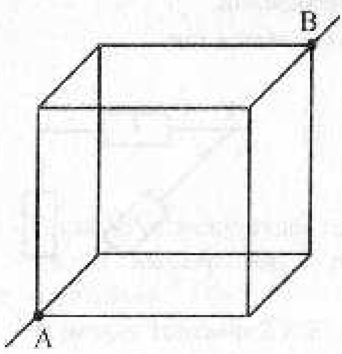
Пока Тамара объясняет, Валя рисует на доске схему:




Расчёт сопротивления $R_{\text{АВ}}$ и тока $I$ даёт те же результаты:

$$R_{\text{АБ}}=20\ \text{ом};\quad I=0{,}6\text{А}.$$

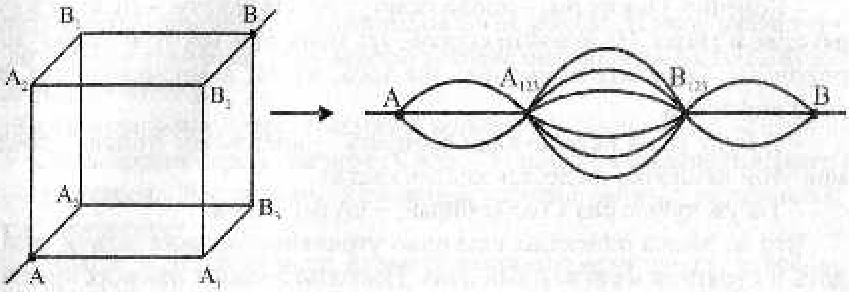
Предлагаю ребятам запомнить способ, предложенный подругами. Он пригодится при решении следующей задачи.




**3.** Из проволоки сделан каркас кубика. Каждое ребро кубика имеет сопротивление $r = 1$ ом. Рассчитайте полное сопротивление кубика $R$ между точками А и В.

Одна из знаменитых задач на расчёт сопротивления. На развивающих занятиях ребята решили эту задачу довольно быстро, почти без обсуждений.

Из точки A ток идёт в трёх направлениях, и все три направления абсолютно одинаковые, а значит, и ток по этим направлениям идёт одинаковый. Сопротивление всех рёбер кубика одинаковое, а это значит, что потенциалы точек $A_1$, $A_2$ и $A_3$ тоже одинаковые и их можно объединить. По тем же причинам можно объединить точки $B_1$, $B_2$ и $B_3$. После объединения получается такая схема:




Так как сопротивление всех проволок одинаковое, то полное сопротивление между точками A и B легко подсчитывается:

$$R = \frac{r}{3} + \frac{r}{6} + \frac{r}{3} = \frac{1\ \text{ом}}{3} + \frac{1\ \text{ом}}{6} + \frac{1\ \text{ом}}{3} = \frac{5}{6}\ \text{ом}.$$

Важный вывод из решения этой задачи. Если точки с одинаковыми потенциалами соединены проводником, то их можно разомкнуть, а если между этими точками нет проводника, то их можно замкнуть.

**4.** Вот как мы обсуждали эту задачу на развивающих занятиях.

– Вы каждый день приходите в курятник для сбора яиц. Окна в этом курятнике отсутствуют, зато висит лампочка. Лампочка, если её всё время держать включённой, через 10 дней перегорит. Но включить и выключить лампочку можно только 10 раз, после чего она тоже перегорит. Сколько всего дней можно пользоваться этой лампочкой?

– Десять дней и можно, – не задумываясь, говорит Александра.

– Конечно, – поддерживает её Саша. – Один день непрерывной работы лампочки соответствует тому, что её один раз включили и выключили.

Возможно, дети ещё не разобрались в условии задачи, возможно, я плохо сформулировал это условие. Скорее всего, и то, и другое. Поясняю.

– Одно от другого не зависит. Вы можете уже в первый день включить и выключить лампочку 9 раз, потом включить её в десятый раз, и она будет гореть ещё девять дней.

– А что, я могу яйца и в темноте собирать, – уверяет Дима.

– Ты в темноте яички не найдёшь, – отвечает Оля. – Или передавишь их всех.

– Конечно, Оля права, – продолжаю уточнять задачу. – Дело не в курятнике и яйцах. Надо найти способ, как пользоваться этой лампочкой подольше. Обратите внимание, для того, чтобы лампочка горела, её надо включить.

– Я буду раз в неделю яйца собирать, – предлагает Миша, – тогда мне этой лампочки на десять недель хватит.

– Ты уж лучше раз в год собирай, – шутит Костя.

Что ж, Миша подсказал ещё одно уточнение условия задачи: заходить в курятник надо каждый день. Несколько минут никаких предложений от детей не поступает.

– Дядя Боря, а сколько всего времени ежедневно уходит на сбор яиц? – нарушает тишину Катя.

– Мало. Это время учитывать не будем.

– Тогда я знаю, что делать надо, – продолжает Катя.

– И мы знаем, – сообщает Тамара. – Мы на листочке нарисовали.

Пока Валя и Тамара рисуют своё решение на доске, Катя рассказывает.

– Надо в первый день лампочку включить и не выключать. Во второй день надо прийти, собрать яйца, и только после этого лампочку выключить. На третий день её снова включить, а выключить на четвёртый. И так далее, пока лампочка не перегорит.

– Это значит, – уточняет Лена, – что в нечётные дни лампочку будем включать, а в дни чётные – выключать. Правильно?

В это время Валя и Тамара закончили свой рисунок:

Объясняет Валя.

Здесь 20 клеточек, это как раз 20 дней. В светлые дни лампочка горит, а в тёмные дни она выключена. Получается, что лампочка горела 10 дней, и её 10 раз включали и выключали.

**5.** В комнате висит обыкновенная лампочка. Выключатель от неё находится в другой комнате. Но он там не один, в той комнате много одинаковых выключателей, например десять. Требуется выяснить, какой именно выключатель подсоединён к нашей лампочке. Этим занимаются два человека. Один из них щёлкает выключателями, другой – наблюдает за лампочкой. Никакой связи между комнатами нет. Прежде, чем начать работу, они могут договориться о чём угодно. Потом разойдутся по разным комнатам. При второй встрече они должны указать нужный выключатель.

Как им выполнить поставленную задачу?

– Очень просто – сразу реагирует Саша. – Установить связь по телефону.

– Согласен. Так можно. Усложним условие задачи: телефонная связь отсутствует.

– Можно и без телефона. Кричать погромче друг другу, и всё, – предлагает Миша.

– Так тоже не годится, – с трудом сдерживаю улыбку, вспоминая известную историю[1]. – Прежде, чем начать щёлкать выключателем, вы можете договориться о чём угодно. Потом вы разойдётесь по разным комнатам. При второй встрече вы должны указать нужный выключатель.

– Тогда надо вывернуть лампочку и вместо неё засунуть какую-нибудь железку, – предлагает Дима. – Когда нужный выключатель будет включён, произойдёт короткое замыкание. А об этом все сразу узнают.

Неожиданное предложение. Приходится снова уточнять условие задачи.

– Можно только щёлкать выключателями и наблюдать за лампочкой, причём это делают разные люди. И, вообще, войти в комнату, где находится лампочка, и выйти из неё можно только один раз. Подумайте, может, придумаете чего-нибудь к следующему занятию.

---

[1] История такая. В Москву приехал японец для подписания контракта. – Президент нашей компании сейчас Вас примет, – улыбается ему секретарша. – Подождите немного, он освободится с минуты на минуту.

В это время из кабинета президента компании слышится крик: «Тула! Тула! Накладные мы выслали!». И снова: «Тула! Тула! Где вагоны?»

– Простите, кто такой Тула? – вежливо интересуется японец.

– Это город такой, – объясняет секретарша.

– А где он находится? – продолжает спрашивать японец.

– Недалеко. Километров двести от Москвы.

– А что, туда по телефону нельзя позвонить?

Через неделю разговор продолжился.

– Мы вот что придумали, – сообщает Валя, – надо в день по одному выключателю проверять. Если на пятый день лампочка загорится, сработал выключатель №5, если на десятый – выключатель №10.

– А если сотый? – сразу возражает Саша, – ты что, сто дней в комнате сидеть будешь?

– А это, пожалуй, идея, – подхватывает Лена. – Нет, не в комнате сто дней сидеть, а временем воспользоваться.

– Правильно, – соглашается Оля. – Надо два секундомера взять, и включить их одновременно. И вместо ста дней за сто минут всё определить можно.

– Как это? – интересуется Миша. – Как ты секундомером выключатель определять будешь?

– Очень просто. Договоримся, что выключатель №1 будет включён всю первую минуту, выключатель №2 – всю вторую минуту. И так – до конца.

– Только не первую, а, например, одиннадцатую, – уточняет Костя. – Время надо, чтобы дойти до комнаты, где лампочка.

– Надо ещё, чтобы твои часы одинаково шли, не сбивались, – сомневается Катя.

Несколько минут проходят в молчании. Косте жалко расставаться с часами.

– Дядя Боря, но мы ведь правильно решили? – спрашивает он.

– Согласен, с помощью часов задачу решить, скорее всего, можно. Но, введём ограничение и попробуем обойтись без часов. Валя и Тамара хорошо придумали, что выключатели надо пронумеровать и сообщить наблюдателю за лампочкой номер выключателя.

– Так номер очень легко сообщить, – заявляет Саша. – Каждым выключателем столько раз щёлкнуть, какой его номер. А тому, кто за лампочкой наблюдает, остаётся только подсчитывать, сколько раз лампочка моргнёт.

Занятие подходило к концу, и, решив задачу, мы уселись играть в «Дипломата». Минут через пять Катя, при своей очереди задавать вопросы, неожиданно сказала:

– Это решение ничем не лучше, чем с часами. До десяти можно без ошибки сосчитать, но если лампочка моргнёт сотню раз, то легко можно ошибиться. Глаза устанут, да и внимания на столько времени не хватит.

– А тот, кто с выключателями будет возиться, ещё легче ошибку допустить может, – добавляет Саша.

**6.** В комнате висят 10 обыкновенных лампочек. В другой комнате есть 10 выключателей, каждый из которых присоединён к своей лампочке. Требуется выяснить, какой именно выключатель подсоединен к определённой лампочке. Этим занимаются два человека. Один из них щёлкает выключателями, другой – наблюдает за лампочками. Никакой связи между комнатами нет. Прежде, чем начать работу, они могут договориться о чём угодно. Потом разойдутся по разным комнатам. При второй встрече они должны указать соответствие лампочек и выключателей.

Как им выполнить поставленную задачу? После успешного решения предыдущей задачи эту задачу обсуждать не пришлось. Всё очень просто. Надо пронумеровать выключатели, а потом щёлкать выключателями в порядке номеров. А тому, кто за лампочками наблюдает, остаётся только записывать и подклеивать к лампочкам номера.

**7.** Есть две комнаты. В одной из них находятся три выключателя, в другой – три обыкновенные лампочки. Каждая лампочка присоединена к одному выключателю, но к какому именно, неизвестно. Требуется установить соответствие между выключателями и лампочками. Помощников нет, и в ту, и в другую комнату можно войти только один раз.

Ещё одна задача про лампочку, скорее бытовая, чем математическая.

Похоже, условие задачи понятно, по крайней мере, дополнительных вопросов нет. Обозначаем выключатели номерами №1, №2 и №3, лампочки обозначаем буквами А, Б и В. Валя и Тамара первым делом рисуют на доске выключатели и лампочки и опутывают их сетью проводов. Саша и Катя – пытаются построить модель задачи, используя разноцветные кубики.

– Надо в каждый выключатель приделать по дополнительному сопротивлению, – первым предлагает своё решение Дима. – Тогда все три лампочки гореть будут с разной яркостью.

Чувствуется, что Дима уже имел дело с законом Ома и электрическими схемами. Для остальных его предложение непонятно, требуется дополнительное объяснение.

– Сопротивления разными бывают, – продолжает Дима. – Если в выключатель №1 я вставлю самое большое сопротивление, то его лампочка будет гореть хуже остальных. В №3 я вставлю самое маленькое сопротивление, и его лампочка будет самая яркая.

Этого рассказа вполне достаточно, чтобы появились поправки.

– Зачем во все выключатели дополнительные сопротивления ставить? – спрашивает Настя. – Выключатель №3 можно совсем не трогать. Будет так же, как Дима предлагает.

Дима соглашается и пытается нарисовать на доске электрическую схему задуманного решения. В это время поступает ещё одно предложение.

– Надо только в один выключатель ставить дополнительное сопротивление, – говорит Лена, – например, в №1.

– А остальные как различишь? – спрашивает Саша.

– Очень просто. Я выключатель №3 вообще включать не буду. Потом войду в ту комнату, где лампочки, и посмотрю на них. Та, что слабо светит, подключена к выключателю №1. Самая яркая лампочка подключена к выключателю №2. А лампочка, которая совсем не горит, подключена к выключателю №3.

Решение Димы постепенно упрощается. Вношу дополнительные ограничения.

– Выключатели можно использовать только по их прямому назначению. Ими можно щёлкать, включая и выключая лампочки. Никакие технические изменения в выключатели вносить нельзя.

Ребята задумываются.

– С двумя лампочками всё ясно, – рассуждает Костя. – Одна горит, другая не горит. А что с третьей делать?

Включаю обыкновенную настольную лампу и предлагаю желающим вывернуть светящуюся лампочку голыми руками.

– Горячо, руки жалко, – объясняет отсутствие добровольцев Оля.

– Как поступить, чтобы лампочку всё-таки вывернуть? – задаю ещё один наводящий вопрос.

– Выключить её надо. И подождать, пока она остынет, – отвечает Дима.

– А я догадалась, как с третьей лампочкой поступить, – радостно сообщает Катя. Её надо включить, немного подождать и выключить.

– И чего ты этим добьешься? – интересуется Саша. – Придешь во вторую комнату, а там одна лампочка светится, а две другие – тёмные.

– Зато одна из этих тёмных лампочек будет тёплая, а другая – холодная. Ну, а третья лампочка светиться будет.

Получается очень просто. Надо пронумеровать выключатели. Выключатель №1 просто включить. Выключатель №2 включить, подождать пару минут и выключить. Выключатель №3 оставить выключенным. В другой комнате одна лампочка будет гореть, она соответствует выключателю №1. Одна из несветящихся лампочек будет тёплой, она соответствует выключателю №2. И, наконец, холодная лампочка будет соответствовать выключателю №3.

## МАГНЕТИЗМ

**1.** Что общего между электрическими и магнитными явлениями?

Электрические заряды могут притягиваться, и магниты могут притягиваться. Электрические заряды могут отталкиваться, и магниты могут отталкиваться. Сила притяжения или отталкивания с увеличением расстояния между электрическими зарядами уменьшается, и сила притяжения или отталкивания с увеличением расстояния между магнитами уменьшается.

**2.** В чём состоит разница между электрическими и магнитными явлениями?

Электричество и магнетизм проявляются и воспринимаются человеком по-разному. Например, можно создать на предмете избыток электрического заряда какого-нибудь знака. Предмет окажется заряженным либо положительно, либо отрицательно. С магнитами этого проделать не удаётся. Даже если распилить магнит, у каждой половинки будут два полюса – N и S.

**3.** Есть четыре одинаковых бруска размером 4 см × 5 см × 25 см, окрашенные чёрной краской. Бруски сделаны из золота, никеля, титана и меди. Как можно определить материалы брусков?

Объём бруска $V$ = 500 см$^3$. Масса золотого бруса около 8,5 кг, масса титанового бруска около 2,2 кг, масса медного бруска около 4,4 кг и масса никелевого бруска около 4,4 кг. По весу можно определить золотой брусок – он значительно тяжелее остальных, и титановый брусок – он значительно легче остальных. Бруски из меди и никеля по весу различить сложно. Надо воспользоваться магнитом. Никель по своим физическим свойствам – ферромагнетик, поэтому к магниту притянется. Медь – диамагнетик, поэтому к магниту не притянется.

**4.** Ион углерода ${}^{12}_{6}C$ влетает со скоростью $\upsilon = 10^6$ м/с в однородное магнитное поле, индукция которого 0,3 Тл. Ион движется по окружности радиусом $r$ = 21,25 см, причём направление индукции магнитного поля перпендикулярно плоскости окружности. Сколько электронов не хватает в атоме углерода?

В магнитном поле на движущийся заряд действует сила Лоренца. Так как скорость иона и вектор магнитной индукции взаимно перпендикулярны, то сила Лоренца является центростремительной.

Сила Лоренца $F_л = q \cdot \upsilon \cdot B \cdot \sin\alpha$, но у нас $\sin\alpha = 1$, поэтому $F_л = q \cdot \upsilon \cdot B$. Заряд иона равен целому числу элементарных зарядов электрона $q = n \cdot e$.

Центростремительная сила $F_ц = \dfrac{m\upsilon^2}{r}$, и она равна силе Лоренца.

Отсюда следует:

$$n \cdot e \cdot \upsilon \cdot B = \frac{m\upsilon^2}{r};$$

$$n = \frac{m \cdot \upsilon}{e \cdot B \cdot r} = \frac{12 \cdot 1{,}7 \cdot 10^{-27} \cdot 10^6}{1{,}6 \cdot 10^{-19} \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}2125} = 2.$$

Итак, с атома углерода ${}^{12}_{6}C$ «ободрали» 2 электрона.

**5.** Учёный сделал несколько снимков в магнитном поле следов частиц, родившихся в результате столкновения налетающей и неподвижной частиц. Каждый раз рождались протон и $\pi^-$ мезон. На всех снимках направление вектора магнитной индукции перпендикулярно плоскости снимков, а траектории частиц лежат в плоскости снимков. Известно следующее.

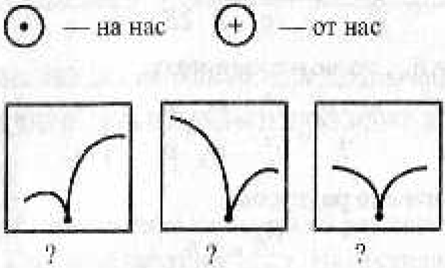
На снимке №1 частицы получили одинаковые скорости: $\upsilon_p = \upsilon_{\pi^-}$.

На снимке №2 частицы получили одинаковые импульсы: $P_p = P_{\pi^-}$.

На снимке №3 частицы получили одинаковые кинетические энергии: $E_p = E_{\pi^-}$.

Заряд $\pi^-$ мезона равен заряду электрона, масса $M_{\pi^-} = 2{,}5 \cdot 10^{-28}$ кг.

Расставьте номера под соответствующими снимками и определите направление вектора $B$.



Магнитное поле поворачивает движущиеся заряженные частицы, но не ускоряет их. Радиус поворота $R$ зависит от массы $m$, скорости $v$, заряда частицы $q$ и индукции магнитного поля $B$:

$$R = \frac{m}{q} \cdot \frac{v}{B}.$$

Протон несёт положительный заряд, а $\pi^-$ мезон – отрицательный, поэтому они поворачивают в разные стороны. Мы не знаем величины индукции магнитного поля и скорости частиц, но можем сравнить радиусы траекторий протона и $\pi^-$ мезона.

Рассмотрим отношение радиусов траекторий протона и $\pi^-$ мезона на фотографии №1 для случая $v_p = v_{\pi^-}$:

$$\frac{R_p}{R_\pi} = \frac{m_p \cdot v_p \cdot q_\pi \cdot B}{q_p \cdot B \cdot m_\pi \cdot v_\pi} = \frac{m_p}{m_\pi} = 6{,}7.$$

Рассмотрим отношение радиусов траекторий протона и $\pi^-$ мезона на фотографии №2 для случая $P_p = P_{\pi^-}$:

$$\frac{R_p}{R_\pi} = \frac{m_p \cdot v_p \cdot q_\pi \cdot B}{q_p \cdot B \cdot m_\pi \cdot v_\pi} = \frac{P_p}{P_\pi} = 1.$$

Радиусы траекторий протона и $\pi^-$ мезона одинаковые, что соответствует правому рисунку.

Рассмотрим отношение радиусов траекторий протона и $\pi^-$ мезона на фотографии №3 для случая $E_p = E_{\pi^-}$. Для этого выразим радиус траектории заряженной частицы через её кинетическую энергию.

$$R = \frac{m}{q} \cdot \frac{v}{B} = \frac{2 \cdot m \cdot v \cdot v}{2 \cdot q \cdot v \cdot B} = \frac{2E}{q \cdot v \cdot B};$$

$$\frac{R_p}{R_\pi} = \frac{2E_p \cdot q_\pi \cdot v_\pi \cdot B}{q_p \cdot v_p \cdot B \cdot 2E_\pi} = \frac{v_\pi}{v_p}.$$

Поскольку $E_p = E_{\pi-}$, то можно записать:

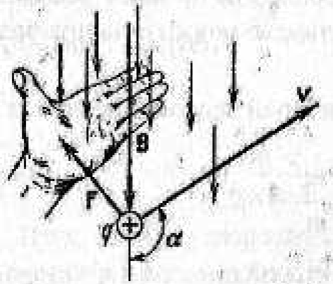
$$\frac{m_p v_p^2}{2} = \frac{m_\pi \cdot v_\pi^2}{2}; \frac{v_\pi^2}{v_p^2} = \frac{m_p}{m_\pi}; \frac{v_\pi}{v_p} = \sqrt{\frac{m_p}{m_\pi}} \approx 2{,}6.$$

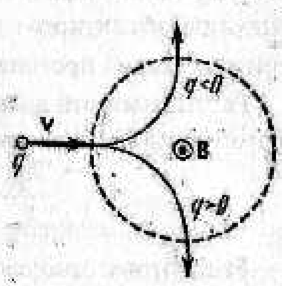
А это есть отношение радиусов:

$$\frac{R_p}{R_\pi} = 2{,}6.$$

Для фотографии №1 отношение радиусов траекторий частиц больше, чем для фотографии №3. Это значит, что фотография №1 в центре, а фотография №3 – слева.

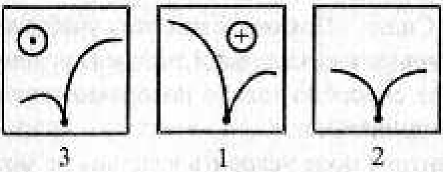
Направление силы Лоренца, действующей на движущийся заряд в магнитном поле, определяется правилом левой руки.




Расположим ладонь левой руки так, чтобы вектор индукции магнитного поля «входил» в неё, а четыре пальца по направлению совпадали с вектором скорости положительной частицы. Тогда большой палец укажет, куда отклонится эта частица. Отрицательная частица отклонится в противоположную сторону.

Руководствуясь этим правилом, установим направление вектора магнитной индукции на фотографиях.




На фотографии №2 мы не можем определить направление вектора индукции магнитного поля, поскольку траектории протона и $\pi^-$ мезона одинаковые.

**6.** Центральное телевидение в очередной раз показывало классическую комедию Л. Гайдая «Операция Ы...». На прошлом занятии предложил ученикам внимательно посмотреть новеллу об экзамене и постараться обнаружить там ошибку. Теперь ребята делятся наблюдениями.

– Собака с кошкой не могли сами лифт открыть.

– Если Шурик ничего не знал, то, прочитав конспект один раз, вряд ли мог пятёрку получить.

– Как же Шурик Лиду не знал, они же на лекции вместе ходили.

Дети явно лукавят, они прекрасно понимают, что не эти «ошибки» меня интересуют. Костя записал фильм, и все просмотрели этот фрагмент несколько раз.

– Ошибка там, где студент про ускоритель рассказывал? – то ли спрашивает, то ли утверждает Саша. Ребята знают, что я имею дело с ускорителем, поэтому это место смотрели особенно внимательно.

– Совершенно верно. В ускорителях заряженные частицы: протоны, электроны, антипротоны или ионы разгоняются до скоростей, близких к скорости света. Студент-неудачник утверждает, что в ускорителе заряженные частицы ускоряются магнитным полем. У вас в учебнике есть параграф, где рассказывается про действие магнитного поля на движущийся заряд. Посмотрите.

Несколько минут ребята листают учебник. (Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев. Физика. 10 класс.)

– Вот, я нашла, – говорит Катя. – «... сила Лоренца не меняет кинетическую энергию частицы и, следовательно, модуль ее скорости. Под действием силы Лоренца меняется лишь направление скорости частицы».

– А ведь тот, кто по радио подсказывал, из учебника зачитывал, что в синхрофазотроне заряженные частицы ускоряются магнитным полем, – вспоминает Саша. – Покажите мне этот учебник! Я его порву, как лев матрёшку! Киношники могли бы в любом справочнике посмотреть, что магнитное поле способно только поворачивать летящие заряды, а ускоряет поле электрическое.

– Значит, магнитное поле ускорять частицы не может, – делает вывод Лена.

## ТЕПЛО

**1 и 2.** В комнате или классе прикоснитесь одной рукой к чему-нибудь деревянному, а другой рукой – к металлу (только не к тёплой батарее). И у дерева, и у металла комнатная температура, но металл кажется на ощупь холоднее. Почему?

Горит костёр. У вас есть металлический ломик и таких же размеров деревянная дубинка. В правой руке вы держите ломик, а в левой – дубинку. Свободные концы ломика и дубинки лежат в костре. Какую руку вы рискуете обжечь?

Вот как проходило обсуждение этих задач на развивающих занятиях с учениками 7-го класса.

Предлагаю проделать небольшой эксперимент.

– А с чем Вы его делать будете?

Действительно, сегодня нет ни бутылок с водой, ни какого другого оборудования, годного для демонстрации явлений природы.

– У вас есть всё, что надо для этого опыта, под руками. Прикоснитесь одной рукой к какой-нибудь металлической детали, другой – к деревянной. Не дожидаясь вопроса, дети докладывают результаты своих экспериментов.

– Металл холоднее...

– Дерево теплее...

– Стол теплее...

– Железо холоднее...

– А у меня никакой разницы, – сообщает Лена, немного огорчённая результатом своего опыта.

– Что получилось у Лены мы разберём отдельно. Сначала попробуйте объяснить, почему у остальных дерево кажется теплее металла?

– Наверное, потому, что металл просто холоднее, – говорит Саша.

– Все так думают?

– Конечно, нет! – возражает Дима. – У всех предметов в этой комнате температура одинаковая.

– Даже у батареи? – пытается поддеть его Оля. Приходится заступаться.

– Батареи нагреваются специально, они не считаются. Лампочки – тоже.

– Тогда нам просто кажется, что металл холоднее, – заявляет Александра. – Это уже из области психологии.

Александра близко подошла к объяснению эффекта. Интересуюсь, какая, по мнению ребят, сейчас в классе температура?

Градусов двадцать...

– Восемнадцать градусов...

– Двадцать два...

– Хорошо, хорошо. Нам особенная точность не нужна. Достаточно того, что температура меньше 36 градусов. Теперь поставьте ещё один эксперимент, на этот раз мысленный. Итак, горит костёр. У вас есть металлический ломик и таких же размеров деревянная дубинка. Ломик и дубинку вы кладёте одним концом в костёр, другой конец держите в руке. Какую руку вы рискуете обжечь?

– Ту, в которой ломик, – похоже, что обжигались все, и не один раз.

– Так это мы сейчас покажем, – радостно предлагает Дима и достаёт коробок спичек.

Действительно, изведя почти половину всех спичек, Дима доводит пожертвованную кем-то из девочек заколку до соответствующего состояния.

– Железо лучше, чем дерево, проводит тепло, – делает вывод Валя. – А причём здесь первый опыт?

Вместо ответа задаю вопрос.

– Какая температура выше, у тебя или у парты?

– Одинаковая, мы же в одной комнате находимся.

– У тебя 36 и 6, – подсказывает Костя.

– И у меня 36 и 6, у всех здоровых 36 и 6, – со знанием дела продолжает Тамара.

– Даже у дяди Бори 36 и 6, – улыбается Настя.

– А вот у курицы нормальная температура 42 градуса, – делится своими знаниями Лена. – Я где-то читала или слышала, забыла где, но помню, что сорок два градуса... или сорок один.

Останавливаю чисто медицинское обсуждение на тему: что такое нормальная температура и везде ли она одинаковая, и напоминаю вопрос.

– Так, какая температура выше, у тебя или у тех предметов, к которым ты прикасалась?

– Выходит, что у меня, – соглашается Валя.

Предлагаю вспомнить, что говорится в учебнике про теплообмен. После непродолжительных поисков находим в учебнике: «...теплота сама собой переходит всегда от горячих тел к холодным». Это как раз то, что нам надо.

– Ты своё тепло отдаёшь парте и железяке, не жалко? – подтрунивает над Валей Саша.

Напоминаю, что всем металл показался холоднее дерева, и только у Лены разницы не наблюдалось. Прошу Лену показать, к какому металлу она прикасалась. Лена демонстрирует зажатую в кулачке кнопку. Все остальные прикасались к металлическим частям столов и стульев.

– Здесь всё ясно. Кнопка маленькая, она быстро до температуры тела нагревается. А эта трубка, – Саша показывает на спинку стула, – эта трубка пока нагреется, будет казаться холодной.

– А почему же парта тёплой кажется? – выпытываю у Саши.

– Я, кажется, знаю почему, – вместо Саши отвечает Катя. – Вспомните, мы спичку горящую спокойно в пальцах держали. По дереву тепло плохо идёт, хуже, чем по железу...

Останавливаю Катю, прошу продолжить Олю.

– Когда мы к парте прикасаемся, только около пальца дерево нагревается, – довольно уверенно отвечает Оля, – поэтому парта и кажется тёплой.

Останавливаю Олю, прошу продолжить Диму.

– По металлу тепло распространяется быстро, вот и приходится ждать, когда вся трубка у стула нагреется.

**3.** Японка Акто Иди поверила рекламе, купила термос, но уже через пятнадцать минут подала на фирму-производителя в суд за ложную информацию.

– Фирма даёт гарантию своим термосам на 24 часа. Как же Вы за 15 минут убедились в обмане? – спросил судья японку.

> Лучшие термосы в мире!
> В нашем термосе 24 часа
> горячее остается горячим!
> Холодное остается холодным!
> Купите наш термос,
> не пожалеете!

– Очень просто, – объяснила Акто Иди. – Я …

Что же сделала с термосом Акто Иди?

– Очень просто, – объяснила Акто Иди. – Я налила в термос горячий кофе, а потом положила туда мороженое. Через 15 минут заглянула в термос – ни того, ни другого, а только какая-то непонятная едва тёпленькая серая жидкость.

Судья посмотрел прилагавшуюся к термосу инструкцию и убедился, что там не сказано, что в термосе нельзя хранить одновременно холодное и горячее. Поэтому он присудил победу Акто Иди.

**4.** Есть $m_1 = 1$ кг воды при температуре $T_1 = 20$ °C и $m_2 = 1$ кг воды при температуре $T_2 = 70$ °C. Воду перемешали. Какая получилась температура смеси $\theta$?

Запишем уравнение теплового баланса:

$$cm_1(\theta - T_1) + cm_2(\theta - T_2) = 0,$$

где $c$ – удельная теплоёмкость воды.

Решаем уравнение относительно $\theta$:

$$\theta = \frac{m_1T_1 + m_2T_2}{m_1 + m_2} = \frac{20°C + 70°C}{2} = 45\ °C.$$

**5.** Есть $m_1 = 2$ кг воды с температурой $T_1 = 20$ °C и $m_2 = 3$ кг воды с температурой $T_2 = 60$ °C. Определите температуру смеси $\theta$.

Запишем уравнение теплового баланса:

$$cm_1(\theta - T_1) + cm_2(\theta - T_2) = 0,$$

где $c$ – удельная теплоёмкость воды.

Решаем уравнение относительно $\theta$.

После соответствующих преобразований получаем численный ответ:

$$\theta = \frac{m_1T_1 + m_2T_2}{m_1 + m_2} = \frac{2\ \text{кг} \cdot 20°C + 3\ \text{кг} \cdot 60°C}{2\ \text{кг} + 3\ \text{кг}} = 44\ °C.$$

**6.** В кастрюле находится 1 кг воды при температуре $T_{к1} = 20$ °C, в пакете находится 1 кг воды при температуре $T_{п1} = 70$ °C. Пакет с водой опустили на 1 минуту в кастрюлю, после чего температура воды в пакете опустилась до $T_{п2} = 63$ °C. Определите температуру воды в кастрюле $T_{к2}$. Теплоёмкость кастрюли и пакета учитывать не надо.

Предположим, что мы умеем осуществлять теплообмен между двумя объёмами воды, не смешивая их. На развивающих занятиях ребята предложили такую модель теплообмена без перемешивания жидкостей. Воду с одной температурой держат в кастрюле, а другую – в полиэтиленовом пакете. Пакет с водой надо опустить в кастрюлю и ждать, пока температуры выровняются. Что ж, если пренебречь естественными потерями тепла, то способ вполне приемлем.

При решении этой задачи можно обойтись без составления уравнения теплового баланса. Дело в том, что массы обеих частей воды одинаковые, и удельные теплоёмкости их тоже одинаковые. Поэтому на сколько градусов температура одной части понизится, на столько же градусов температура другой части повысится.

$$T_{к2} - T_{к1} = T_{п1} - T_{п2};$$

$$T_{к2} = T_{к1} + (T_{п1} - T_{п2}) = 20\text{ °C} + (70\text{ °C} - 63\text{ °C}) = 27\text{ °C}.$$

Для проверки составим и решим уравнение теплового баланса.

$$c \cdot m_к \cdot (T_{к2} - T_{к1}) + c \cdot m_п \cdot (T_{п2} - T_{п1}) = 0,$$

где $m_к$ – масса воды в кастрюле; $m_п$ – масса воды в пакете; $m_к = m_п = m$; $c$ – удельная теплоёмкость воды.

Отсюда легко получается: $T_{к2} = T_{к1} + (T_{п1} - T_{п2})$, что совпадает с первоначальным утверждением.

**7.** Можно ли сделать так, чтобы конечная температура «холодной» воды после теплообмена стала выше конечной температуры «горячей» воды?

Вот как мы решали эту задачу на развивающих занятиях.

Быстренько напоминаю задачи, которые мы решали на предыдущем занятии. Обращаю внимание детей на то, что, смешивая воду с разной начальной температурой, мы предполагали, что конечная температура будет одинаковая. Это температура смеси. После такой подготовки приступаю к объяснению условия следующей задачи.

– Будем различать воду по её начальной температуре. Ту воду, у которой начальная температура была ниже, будем до конца задачи называть водой «холодной», независимо от того, какая температура будет у неё получаться в процессе решения задачи. Ту воду, у которой начальная температура была выше, будем называть водой «горячей». После теплообмена их температуры изменяться. Температура «холодной» воды повысится, а «горячей» – понизится. Можно ли сделать так, чтобы конечная температура «холодной» воды после теплообмена стала выше конечной температуры «горячей» воды?

– Такое длинное условие задачи, и такой короткий ответ, – улыбается Саша. – Нет!

– Дядя Боря, во всех наших задачах вопрос: «какая получится температура смеси?», – говорит Лена. – Это значит, что у всего, что было в задаче, в конце установится одинаковая температура?

– Или наоборот, – добавляет Дима, – «какая была начальная температура?» Но тогда известно, что после перемешивания температура стала у всех равная.

– И, вообще, мы в учебнике вместе с Вами читали, что «...теплота сама собой переходит всегда от горячих тел к холодным», – напоминает Настя. – А тут в конце процесса тепло должно будет переходить от холодной воды к горячей. Иначе, как бывшая «холодная» вода станет горячее?

– Чем отличается наша нынешняя задача от тех, про которые вы сейчас рассказывали? И, вспомните, что я вас просил придумать?

– Как совершить теплообмен без перемешивания, – вспоминая, медленно произносит Оля.

– А в тех задачах мы смешивали, – продолжает Костя, – или воду с водой, или ещё с чем-нибудь.

– Да, пожалуй, в этом и есть разгадка, – добавляет Миша.

Предлагаю в условии задачи задать конкретные числовые значения.

– Есть 16 кг «холодной» воды при температуре $T_х = 0$ °C и 16 кг «горячей» воды при температуре $T_г = 100$ °C. Определите...

– Число 16 предложено для того, чтобы пополам легко делить было, комментирует Дима.

– Значение числа 16 ты понял правильно, но условие задачи не дослушал. Попробуйте решить задачу так, – говорю это без всякой обиды на то, что меня перебили (об этом дети прекрасно знают), а с надеждой, что им хватит и этой подсказки.

– Я, кажется, догадалась, – сообщает Катя. – Надо всю воду пополам разделить...

– Потом ещё пополам, потом ещё... – передразнивает её Саша. – Число 16 позволяет это легко сделать.

– Всё равно конечная температура получится 50 °С, – поддерживает его Дима. – Что 16 кг с 16 кг смешивать, что 2 кг с 2 кг – результат тот же будет.

– Я не это имела в виду, – возражает Катя, – разделим пополам только, например, «горячую» воду.

Катя объясняет свою идею, и мы, все вместе, вырабатываем план последовательности действий:

1) разделить «горячую» воду на две части по 8 кг каждая;

2) произвести теплообмен 8 кг «горячей» воды с 16 кг «холодной»;

3) рассчитать конечную температуру этого теплообмена;

4) произвести теплообмен других 8 кг «горячей» воды с 16 кг «холодной»;

5) рассчитать конечную температуру этого теплообмена;

6) перемешать обе части «горячей» воды;

7) рассчитать конечную температуру «холодной» и «горячей» воды.

Решение в общем виде на доске выполняет Миша, остальные ему подсказывают. Вводим условные обозначения:

$m_г$ – масса «горячей» воды;

$m_х$ – масса «холодной» воды;

$T_г$ – начальная температура «горячей» воды;

$T_х$ – начальная температура «холодной» воды;

$\theta_1$ – температура, установившаяся после первого теплообмена (пункт 3);

$\theta_2$ – температура, установившаяся после второго теплообмена (пункт 5);

$\theta_3$ – температура, установившаяся после третьего теплообмена (пункт 7);

В нашей задаче $m_г = m_х$.

Выполняем пункт 3, записываем уравнение теплового баланса. Поскольку удельная теплоёмкость везде одинаковая, её сокращаем:

$$m_х(\theta_1 - T_х) + \frac{m_г}{2}\cdot(\theta_1 - T_г) = 0.$$

Решаем уравнение относительно $\theta_1$ и получаем:

$$\theta_1 = \frac{2 \cdot T_х + T_г}{3}.$$

Выполняем пункт 5, записываем уравнение теплового баланса:

$$m_х(\theta_2 - \theta_1) + \frac{m_г}{2} \cdot (\theta_2 - T_г) = 0.$$

Решаем уравнение относительно $\theta_2$ и получаем:

$$\theta_2 = \frac{4T_х + 5T_г}{9}.$$

Обращаем внимание на то, что $\theta_2$ – конечная температура «холодной» воды. Выполняем пункт 7, записываем уравнение теплового баланса.

$$\frac{m_г}{2} \cdot (\theta_3 - \theta_1) - \frac{m_г}{2} \cdot (\theta_3 - \theta_2) = 0.$$

Решаем уравнение относительно $\theta_3$ и получаем:

$$\theta_3 = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} = \frac{5T_х + 4T_г}{9}.$$

Пока мы занимались выводом формул в общем виде, Валя и Тамара успели подсчитать значения конечных температур:

$$\theta_2 \approx 56\ °C;\ \theta_3 \approx 44\ °C.$$

Результат, действительно, удивляет. Конечная температура «холодной» воды оказалась выше конечной температуры «горячей», хотя никаких источников тепла, кроме «горячей» воды, не было.

На следующем занятии обсуждение задачи продолжилось.

– Дядя Боря, а «холодную» воду ещё сильнее нагреть можно, – сообщает Валя. – Мы с Тамарой такой вариант посчитали. Надо разделить пополам не только «горячую», но и «холодную» воду. Так и формулы проще получаются.

Валя рассказывает план решения, Тамара записывает на доске. Поскольку теплообмен происходит между равными массами с одинаковыми удельными теплоёмкостями, то массы и удельные теплоёмкости автоматически сокращаются.

1) Теплообмен первой половины «холодной» воды и первой половины «горячей» воды:

$$\theta_1 = \frac{T_х + T_г}{2} = 50\ °C.$$

2) Теплообмен первой половины «холодной» воды и второй половины «горячей» воды:

$$\theta_2 = \frac{\theta_1 + T_\text{г}}{2} = 75\ ^\circ\text{C}.$$

3) Теплообмен второй половины «холодной» воды и второй половины «горячей» воды:

$$\theta_3 = \frac{T_\text{х} + \theta_2}{2} = 37{,}5\ ^\circ\text{C}.$$

4) Теплообмен второй половины «холодной» воды и первой половины «горячей» воды:

$$\theta_4 = \frac{\theta_3 + \theta_1}{2} = 43{,}75\ ^\circ\text{C}.$$

5) Объединение первой и второй половин «холодной» воды:

$$\theta_5 = \frac{\theta_2 + \theta_4}{2} = 59{,}375\ ^\circ\text{C}.$$

6) Объединение первой и второй половин «горячей» воды:

$$\theta_6 = \frac{\theta_4 + \theta_3}{2} = 40{,}625\ ^\circ\text{C}.$$

– Так «холодная» вода ещё сильнее нагреется, – с гордостью говорит Тамара.

На вопрос, зачем они считали с такой точностью, Валя ответила так:

– Массы «холодной» и «горячей» воды одинаковые, поэтому после теплообмена их температуры изменяются, а сумма температур остаётся прежней. Вот мы и проверяли.

**8.** Требуется прокипятить 10 кг воды, чтобы убить в ней все микробы. Для этого надо нагреть всю воду с 20 °С до 100 °С, пар получать не обязательно. Однако топлива у вас хватит, чтобы прокипятить лишь 8 кг воды. Что делать?

– Надо ещё топлива найти, – предлагает практичный Дима, но его никто не слушает.

– Можно залезть повыше в горы, – в свою очередь предлагает Оля. – В горах температура кипения воды понижается. Там давление маленькое.

– Нет! Так ничего не выйдет, – возражает Саша. – По условию задачи воду надо нагреть именно до 100 °С, а не пар из неё получить.

– Надо аккуратней с топливом обращаться, – не унимается Дима, – тогда потери меньше будут.

– А что потом с этой водой делать будут? – спрашивает Катя. – Варить в ней что-нибудь или просто пить?

Отвечаю, что воду собираются просто пить. Главное – убить в ней всех микробов.

– Тогда я знаю, что надо делать, – говорит Катя, но её перебивает Костя.

– Я тоже знаю, что делать. Надо холодную воду нагревать горячей.

– Так мы в прошлой задаче делали, – подхватывает Настя.

Начинается бурное обсуждение технической реализации этого предложения. Постепенно, общими усилиями, вырабатываем такой вариант последовательности действий:

1) разделить всю воду на несколько равных частей, например, на 10, и, чтобы не было путаницы, пронумеровать их от 1 до 10;

2) нагреть воду № 1 до 100 °С;

3) произвести теплообмен без перемешивания между водой № 1 и водой № 2, после чего вода № 1 охладится, а вода № 2 нагреется до 60°С;

4) нагреть воду № 2 с 60 °С до 100 °С;

5) в это время произвести теплообмен без перемешивания воды № 1 с водой № 3, потом с водой № 4 и далее последовательно со всеми остальными номерами;

6) произвести теплообмен между водой № 2 и водой № 3;

7) нагреть воду № 3 до 100 °С;

8) в это время произвести теплообмен без перемешивания воды № 2 с водой № 4, потом с водой № 5 и далее последовательно со всеми остальными номерами;

9) произвести теплообмен между водой № 3 и водой № 4;

10) так продолжать, пока вся вода от № 1 до № 10 не побывает при температуре 100 °С.

**9.** На экзамене профессор задал студенту такой вопрос: «На Вас вылился 1 кг кипящей воды, а на меня (профессора) попал 1 кг водяного пара, температура которого, как и воды, равна 100 °С. Кто из нас обожжется сильнее?»

– Профессор, я Вас заслоню своим телом! – ответил студент, и тут же получил заслуженную пятёрку. Как правильно ответить на вопрос профессора?

– Какая разница? – первым отвечает Саша. – И у воды, и у пара температура 100 градусов, так, что обоим одинаково достанется.

– А почему, собственно, тот и другой обожгутся?

– Вода будет остывать, и отдавать своё тепло тем частям тела, на которые она попала, – со знанием дела объясняет Оля.

– И пар будет остывать, и отдавать своё тепло, – продолжает Дима, – только ожог кожа получает, а не части тела.

Интересуюсь, как из воды получается пар и как этот процесс идёт в другую сторону.

– Очень просто, – рассказывает Миша. – Сначала воду нагревают, и она закипает. Потом она испаряется.

– Пар, как и вода, просто остывает, – продолжает Катя и на несколько секунд замолкает. – Нет! Не так. Пар сначала в воду превратится, а потом в виде воды остывать начнёт.

– Это конденсацией называется, – подсказывает Костя.

Предлагаю детям вспомнить, что такое теплота парообразования и где её надо учитывать. Это они легко делают, не заглядывая в учебник. После этого ответ задачи становится понятен всем. Объясняет Оля.

– Пар сначала превратится в воду, при этом выделится то тепло, которое затрачено на превращение воды в этот пар.

– Потом эта вода будет остывать точно так же, как вода, что на студента попала, – по моей просьбе продолжает Дима.

– Профессор сильнее обожжется, – заканчивает рассуждения Тамара.

– А на сколько сильнее он пострадает, можете сосчитать?

Александра пишет на доске формулу и поясняет:

$$Q = r \cdot m,$$

где $r$ – удельная теплота парообразования воды; $m$ – масса пара; $Q$ – столько Дж тепла профессор получит больше, по сравнению со студентом.

**10.** Почему на Южном Полюсе гораздо холоднее, чем на Северном Полюсе?

Ребята обсуждали сценку из какого-то мультфильма, где мальчишка захотел погреться и позагорать и попросил волшебника отправить его на САМЫЙ-САМЫЙ ЮГ. Тот просьбу выполнил, в результате чего мальчишка оказался на Южном Полюсе. Там ему, естественно, загореть и погреться не удалось, зато замёрз он здорово.

– Лучше бы он на Северный Полюс попал, – замечает Катя, – там не так холодно.

– А ты откуда знаешь? – ехидничает Дима. – Ты что, везде побывала?

– В какой-то передаче слышала. Дядя Боря, это правда?

– Разберёмся. Сначала скажите, что надо сделать, чтобы кусок льда растаял?

– Ясно, лёд надо нагреть, – отвечают почти хором. Ребята давно привыкли начинать решения многих задач с ответов на простые вопросы.

– Согласен. Лёд поглощает тепло, в результате чего вода из твёрдого состояния переходит в жидкое. А что происходит при обратном процессе, когда вода становится льдом?

Ребята задумываются. Вообще-то, это обычное явление. Все знают, что лёд тает при нагревании, но многие не представляют, что вода при замерзании тепло выделяет. Наконец Костя подаёт голос.

– При обратном процессе всё наоборот бывает. А это значит, что при замерзании воды тепло должно выделяться, – говорит он и добавляет. – А полюса тут причём?

– Вспомните географию. Где находится Северный Полюс, а где Южный?

– Как где? – удивляется Дима. – Один на севере, другой на юге.

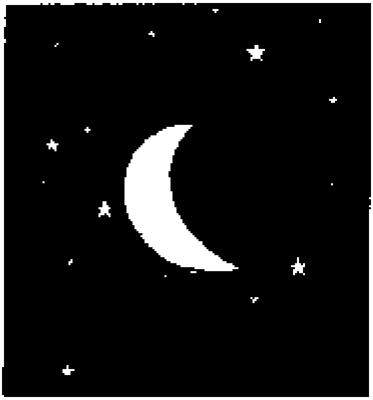
– Я, кажется, понял, – вступает в разговор Саша. – Северный полюс находится в океане. Там вода превращается в лёд и выделяет тепло.

– Правильно! – подхватывает Оля. – А в центре Антарктиды океана нет, лёд из воды не образуется. Вот там и холоднее, чем на Северном Полюсе.

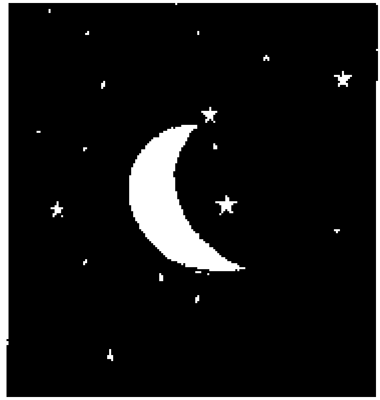
Вопрос исчерпан.

## ОПТИКА

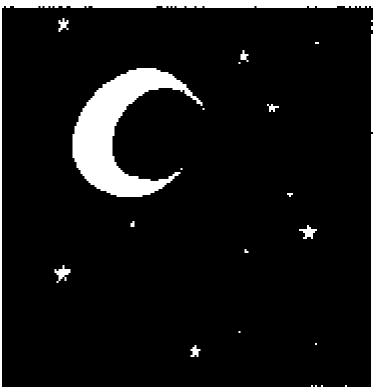
**1.** Это детские рисунки Луны (Месяца). Попробуй определить, есть ли неточности на этих рисунках. Если есть, то чьи это рисунки и что за неточности?



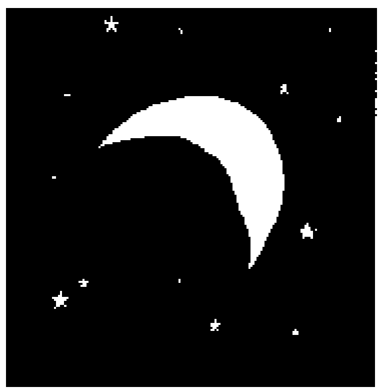
Маша Д.



Саша К.



Света А.



Миша В.

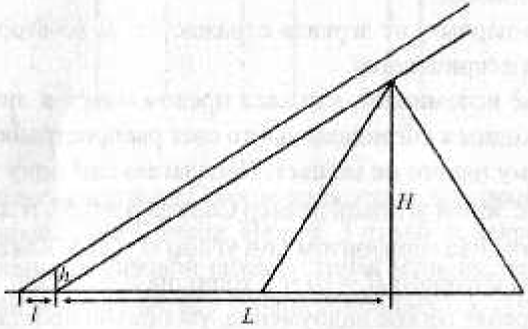
На рисунке Миши В. месяц смотрит рогами вниз, а освещённая сторона — вверх. Это значит, что Солнце находится выше Луны. Но сейчас ночь, и Солнце спряталось за горизонт.

На рисунке Светы А. рога месяца очень сильно загнуты и почти соприкасаются. Но кончики рогов всегда находятся на противоположных концах диаметра видимого диска Луны.

На рисунке Саши К. звёзды видны внутри серпа месяца. Но звёзды находятся дальше Луны и сквозь неё светить не могут.

На рисунке Маши Д. подобных ошибок нет, так что это изображение ночного неба самое правдоподобное.

**2.** Две с половиной тысячи лет назад Фалес Милетский при помощи шеста определил высоту египетской пирамиды. Как ему это удалось, если на саму пирамиду он не поднимался? Каким физическим законом он воспользовался?




Фалес Милетский воспользовался законом прямолинейного распространения света. Он сравнил длину тени шеста $l$ и длину тени пирамиды $L$, после чего, зная размер шеста $h$, нетрудно вычислить высоту пирамиды $H$:

$$H = \frac{h \cdot L}{l}.$$

**3.** Видимый с Земли угловой размер Солнца $\beta = 0{,}5°$. В данный момент Солнце «висит» над горизонтом под углом $\alpha = 15°$. Какая длина $l$ тени столба, высота которого $H = 10$ м и толщина $d = 25$ см?

Вот как проходило обсуждение этих задач на развивающих занятиях.

– Помните, лет шесть назад мы обсуждали историю о том, как дядя Петя измерил высоту ёлки?

– Конечно, помним, – отвечает за всех Лена. – Он тень ёлки измерил тенью внука.

– Тогда вы могли бы удивить египтян две с лишним тысячи лет назад, как Фалес Милетский. Он при помощи шеста определил высоту египетской пирамиды. Как ему это удалось, если на саму пирамиду он не поднимался?

– Очень просто, – ни на мгновенье не задумываясь, отвечает Саша. – Измеряем длину шеста, длину его тени и длину тени пирамиды. Потом составляем пропорцию и находим высоту пирамиды.

– Что ж, геометрию вы знаете, подобные треугольники рассчитывать умеете. А какой физический закон позволяет считать треугольники подобными?

– Закон прямолинейного распространения… – начинает Костя, но Саша его перебивает.

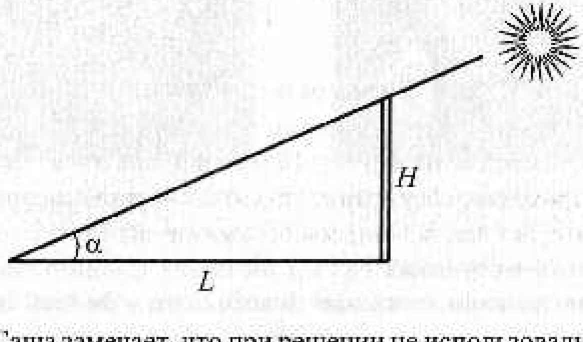
– Свет, во-первых, от зеркала отражается, а, во-вторых, луч света около Солнца искривляется.

Кто-то ещё вспоминает, что свет преломляется в линзах и в воде. Наконец приходим к соглашению, что свет распространяется прямолинейно, если ему ничего не мешает. Предлагаю ещё одну задачу.

Видимый с Земли угловой размер Солнца $\beta = 0{,}5°$. В данный момент Солнце «висит» над горизонтом под углом $\alpha = 15°$. Какая длина $l$ тени столба, высота которого $H = 10$ м и толщина $d = 25$ см?

На лицах ребят лёгкое недоумение, уж больно простая задача. Валя и Тамара вдвоём выходят к доске, быстро делают рисунок и проводят вычисления:

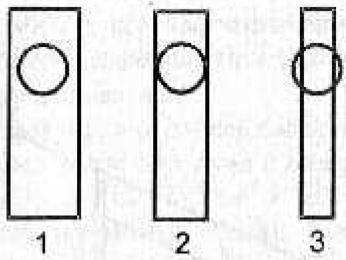
$$L = \frac{H}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{10\ \text{м}}{0{,}27} = 37\ \text{м}.$$




Но тут Саша замечает, что при решении не использовались толщина столба и угловой размер Солнца. В ответ предлагаю взять книжку и попытаться заслониться ею от света окошка.

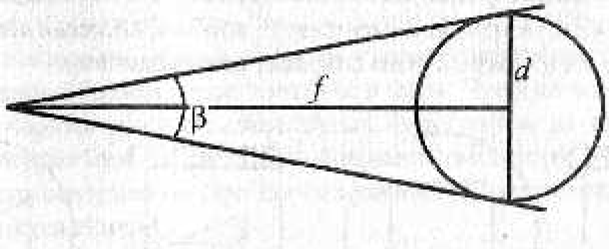
– Когда книжка находится рядом с глазами, то окошка совсем не видно, – комментирует Катя. – А если руку с книжкой вытянуть, то она окошко не закрывает.

На доске появляются рисунки:



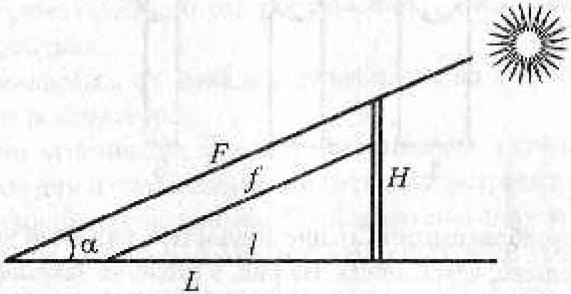

На рис. 1 столб закрывает Солнце полностью, видимый угловой размер столба больше, чем Солнца. На рис. 3 столб не закрывает Солнце полностью, видимый угловой размер столба меньше, чем Солнца. На рис. 2 видимый угловой размер столба совпадает с угловым размером Солнца.

Но ведь это один и тот же столб, просто мы смотрим на него с точек, находящихся от него на разных расстояниях. В точке, соответствующей рис. 1, будет нормальная тень. В точке 3 тени не будет совсем. В точке 2 тень заканчивается. Значит, надо посчитать, с какого расстояния $f$ угловой размер столба (его толщины) совпадает с угловым размером Солнца.




$$f = \frac{\frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}} = \frac{0{,}125}{4{,}36 \cdot 10^{-3}} = 28{,}6.$$

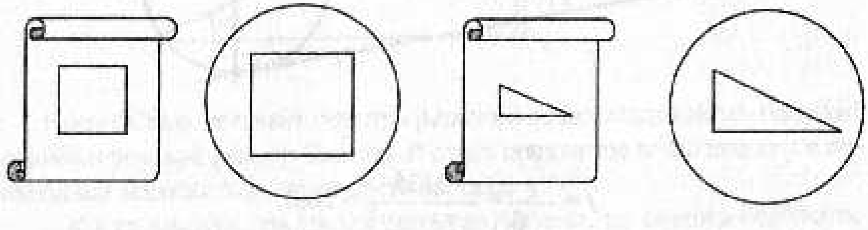
Длина тени, которую столб отбрасывает на землю, не может быть больше $f \cdot \cos\alpha = 28{,}6$ м $\cdot$ $0{,}97 = 27{,}6$ м. Длина тени $L$, которую столб мог бы отбрасывать на землю, равна 37 м, той самой величине, что нашли девочки у доски. Получается, что при данном условии тень столба равна 27,6 м.




**4.** Петя заглянул в магазин, прочитал плакат и заявил, что в нём опять кроется ошибка. Так в чём же ошибка?

| |
|---|
| Всё, что вы начертите, наша линза увеличит в 2 раза! |

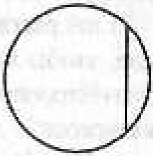
Если грамотно смотреть через 2-х кратное увеличительное стекло на квадрат со стороной 1 см и, соответственно, площадью 1 см$^2$, то изображение этого квадрата будет иметь сторону 2 см, но площадь его увеличится до 4 см$^2$, а углы не изменятся. И, вообще, площадь любой фигуры увеличится в 4 раза, а углы сохранят свою величину.



**5.** Если пропустить солнечные лучи через собирающую линзу и поместить в её фокус дощечку, то эта дощечка задымится и на её поверхности появится выжженная точка. Линза диаметром $d$ = 10 см даёт при нормальном расположении 2-х кратное увеличение, а линза диаметром $d$ = 7 см даёт 5-и кратное увеличение. При помощи какой линзы можно быстрее выжечь точку на дощечке?

Линза собирает в фокусе лучи со всей своей поверхности. Линза диаметром 10 см собирает солнечные лучи с поверхности в 2 раза большей, чем линза диаметром 7 см (78,5 см$^2$ и 38,5 см$^2$), поэтому с её помощью точку на дощечке можно выжечь быстрее. Увеличение не принципиально, главное – площадь линзы.

**6.** Линза с фокусным расстоянием 25 см раскололась, как показано на рисунке. Чему равно фокусное расстояние у каждой из частей линзы?



У обеих частей линзы фокусное расстояние 25 см.
Все параллельные лучи, прошедшие через линзу, собираются в одной точке – фокусе. Это значит, что у любой части линзы есть фокусное расстояние, совпадающие с фокусным расстоянием целой линзы.

**7.** Эта история случилась ещё во времена плёночных фотоаппаратов. Фотограф получил задание сделать фотографию зебры. Но, увы, в зоопарке города Санкт-Володбург зебра не проживала, зато имелась в наличии великолепная белая лошадь. Тогда фотограф наклеил на объектив фотоаппарата чёрные полоски и сфотографировал эту лошадь, надеясь таким образом «переделать» её в зебру. Что у него получилось?

Из-за чёрных полосок, наклеенных фотографом на объектив, на плёнку попадёт меньше света. Это повлияет на качество изображения, но не на его содержание. При прочих равных условиях такая фотография получится тёмной.

**8.** 4 октября 1957 года в Советском Союзе был произведён запуск первого искусственного спутника Земли. Размер самого спутника 0,58 м, размер ракеты-носителя 30 м. И спутник, и ракета двигались по эллиптической орбите на высоте от 288 км до 947 км. Могли ли люди их наблюдать невооруженным глазом? Чтобы видеть предмет, необходимо, чтобы он наблюдался под углом не меньшим, чем одна угловая минута.

Старики любят вспоминать молодость. Я не исключение. Рассказал ребятам о необыкновенной радости, охватившей страну после известия о запуске первого спутника. О том, как все слушали по радио простенький сигнал «бип-бип».

– А зачем его запускали, если кроме этого сигнала он больше ничего не делал? – спросил кто-то.

Это был политический запуск. Мы опередили Соединённые Штаты и заставили весь мир с уважением относиться к советской науке и технике. А что делал спутник, уже никого не интересовало. Главное – он кружился над Землёй.

Ещё рассказал, как зимними вечерами на катке выключали освещение, чтобы люди могли увидеть космическое чудо.

– Что, спутник такой большой сделали, раз его удавалось разглядеть в космосе?

– Нет. Спутник представлял собой шарик диаметром 58 см, а ракета-носитель имела длину около 30-ти м. Она летела вслед за спутником. Высота орбиты менялась от 288 км до 947 км.

Ребята тут же принимаются за расчёты. Когда-то, решая задачу, мы узнали: чтобы видеть предмет, необходимо, чтобы он наблюдался под углом не меньшим, чем одна угловая минута. Теперь они хотят выяснить, под каким углом наблюдались спутник и ракета-носитель. Ракета больше, поэтому начинают с неё и с наименьшей высоты.

Ещё они усвоили, что если маленький угол измерять в радианах, а в данном случае он совсем маленький, то выполняются с хорошей точностью равенства:

$$\mathrm{tg}\alpha = \sin\alpha = \alpha.$$

Формула получилась довольно простой:

$$\alpha^{о} = \alpha^{р} \cdot \frac{180^\circ}{\pi} = \frac{d}{H} \cdot \frac{180^\circ}{\pi},$$

$\alpha^{о}$ – угол в градусах;

$\alpha^{р}$ – угол в радианах;

$d$ – размер ракеты;

$H$ – минимальная высота орбиты.

После несложных подсчетов получается результат $\alpha = 0{,}36$ угловых минуты, что в 3 раза меньше предельного угла.

Ребята торжествуют.

– Не могли вы наблюдать ракету-носитель и спутник, – утверждает Саша.

– А что же мы тогда видели?

– Самолёт пролетал, – предполагает Дима, – и мигал вам бортовыми огнями.

Прекрасно! Дима уже сформулировал правильное решение, только сам об этом не подозревает. Интересуюсь, почему можно увидеть мигающую лампочку на пролетающем в вышине самолёте, хотя её угловой размер вряд ли больше, чем у ракеты? Для земного наблюдателя угловой размер любой звезды, кроме Солнца, гораздо меньше одной минуты. Так что, звёзды вообще рассмотреть невозможно?

– Так и лампочки, и звёзды светят, – напоминает Катя.

– Всё правильно! – чуть ли не кричит Саша. – Луна сама не светит, но мы её видим по отраженному солнечному свету. Ракета тоже вполне могла отражать достаточно света, чтобы её было видно.

– Точно, – подтверждаю Сашину догадку. – Сам спутник маленьким был, от него мало света отражалось, а от ракеты отраженного света хватало. Весь мир любовался. Правда, люди думали, что спутник видят, а наблюдали полёт ракеты-носителя.

**9.** Перед занятиями ребята читали «Классный журнал», где печатаются анекдоты, придуманные самими детьми. Среди них встретился такой: «муха, севшая на объектив телескопа, даже не подозревала, что лишила астронома Кукушкина Нобелевской премии, так как не позволила ему открыть сверхновую, внезапно вспыхнувшую в туманности Андромеды». Предлагаю анекдот обсудить.

Первый же вопрос: как далеко до туманности Андромеды?

– По земным меркам очень далеко, до неё примерно $3 \cdot 10^{13}$ километров. В масштабе Вселенной близко, всего 2,5 миллиона световых лет. Так что даже не пытайтесь узнать угловой размер сверхновой, от неё лучи приходят к нам параллельно.

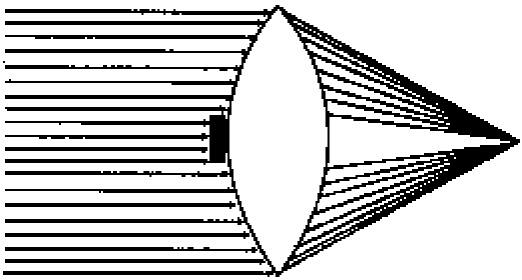
– Тогда всё правильно, – начинает Миша. – Муха закрыла собой звезду, хотя…

– Посидела муха на телескопе, – перебивает его Костя, – посидела, и дальше полетела. И смотри на звезду сколько хочешь, получай свою премию. Так что анекдот слабенький.

– Не торопись, – задумчиво произносит Оля. – Тут вопрос в другом. Смогла ли муха закрыть собой звезду?

– Конечно, могла, – не унимается Костя. – У звезды угловой размер никакой, а у мухи огромный, по сравнению со звездой, конечно.

Предлагаю вспомнить, что от звёзды идёт много параллельных лучей, заменить оптическую систему телескопа одной собирающей линзой, посадить на неё муху и нарисовать простую схему хода лучей. Получается такая картинка.



Теперь понятно: муха преградила путь только небольшой части лучей. Остальные лучи соберутся в фокусе и дадут изображение звезды. Анекдот единогласно признали неграмотным с точки зрения физики.

10. В одном из научно-фантастических романов Жюля Верна люди сделали линзу из стёкол, сняв их с часов и заполнив промежуток водой. В другом его романе герой сделал линзу изо льда и отполировал её поверхность ладошкой. Знаменитый капитан Врунгель для получения линзы просто обтесал льдину топором (действие происходит в книге). Во всех этих случаях самодельные линзы позволяли получить достаточно тепла, чтобы получить огонь и вскипятить воду. Возможно ли такое?

Коэффициент преломления воды и льда примерно $n = 1{,}3$.

Теоретически возможно изготовить изо льда правильную линзу. Но практически очень трудно добиться идеальной сферической поверхности таких линз. А без этого лучи, прошедшие через такую линзу, в одну точку не соберутся и не смогут что-нибудь зажечь. А вот воду в чёрном котелке или чайнике вскипятить вполне возможно (от незакопчённого котелка лучи будут просто отражаться). Важно только, чтобы ВСЕ лучи, прошедшие через «линзу», попадали на котелок. Попробуйте самостоятельно посчитать размеры линзы изо льда.

Линза, сделанная из стекол часов, вызывает больше доверия. В те далёкие времена карманные часы были достаточно большими, но вызывает сомнение, что производители часов уделяли внимание идеальной сферичности стёкол.

## РАДИОАКТИВНОСТЬ

**1.** Космический зонд обнаружил небольшой астероид массой 32768 кг, состоящий из 1 кг $^{235}U$ и 32767 кг продуктов его деления. Профессор Навлоб тут же предположил, что первоначально астероид состоял из чистого $^{235}U$ и подсчитал время его рождения. По расчётам профессора этот астероид образовался около 10,5 миллиардов лет назад.

Если предположение профессора Навлоба верно, то правильно ли он подсчитал возраст астероида?

С физикой радиоактивности ребята уже познакомились, поэтому решили задачу правильно и довольно быстро. Закон радиоактивного распада выглядит так:

$$N(t) = N(0) \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}.$$

Здесь $N(0)$ – количество радиоактивных атомов в начальный момент времени;

$N(t)$ – количество радиоактивных атомов в момент времени $t$;

$T_{\frac{1}{2}}$ – период полураспада радиоактивного вещества.

Если левую и правую части уравнения умножить на массу атома вещества, то получится уравнение для масс:

$$M(t) = M(0) \cdot 2^{-\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}}.$$

Поскольку профессор Навлоб предположил, что первоначально астероид состоял из чистого $^{235}U$, то в этом случае $M(0) = 32768$ кг. В момент обнаружения астероида на нём оставалось всего 1 кг $^{235}U$, значит, $M(t) = 1$ кг. Период полураспада $^{235}U$ $T_{\frac{1}{2}} = 7{,}04 \cdot 10^8$ лет. Решаем уравнение и подставляем конкретные значения:

$$\frac{M(0)}{M(t)} = 32768 = 2^{15}.$$

Это значит, что $2^{\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}} = 2^{15}$ или $t = 15 \cdot T_{\frac{1}{2}} = 15 \cdot 7{,}04 \cdot 10^8 = 1{,}06 \cdot 10^{10}$ лет, что составляет примерно десять с половиной миллиардов лет, как и утверждал профессор Навлоб.

И тут последовал неожиданный вопрос.

– Что же получается, – спросила Оля, – Когда всего два атома урана останутся, то один распадётся через семьсот миллионов лет, а второй вообще не распадётся? Он же пополам не может разделиться так, чтобы одна половинка распалась, а другая осталась атомом урана.

Да, не стоит осложнять жизнь школьников Теорией Вероятностей.

– Про каждый отдельный атом мы ничего сказать не можем. Но когда атомов много, очень много, то тут уже есть о чём поговорить. И чем больше, тем точнее предсказания их поведения. К примеру, в одном килограмме урана содержатся $2{,}5 \cdot 10^{24}$ атомов. Я не знаю, есть ли у этого числа название. Но я точно знаю, что в течение семисот миллионов лет половина из них распадётся. А через какое время распадётся последний атом, после того, как распался предпоследний, не знает никто, даже сам Президент Академии Наук.

**2.** Вам ничего не показалось страшным в условии предыдущей задачи? Верно ли предположение профессора?

После успешного решения предыдущей задачи этот вопрос кажется ребятам немного странным.

– Можно, конечно, время рождения астероида точнее посчитать, – говорит Дима, – только зачем? Миллиарды лет с точностью до секунд определять неразумно.

Соглашаюсь с Димой и прошу вспомнить, чем реактор на АЭС или ледоколе отличается от ядерной бомбы.

– В реакторе ядерными процессами управляют, – вступает в разговор Катя, – а бомба взрывается сразу. В бомбе цепная реакция развивается сама по себе.

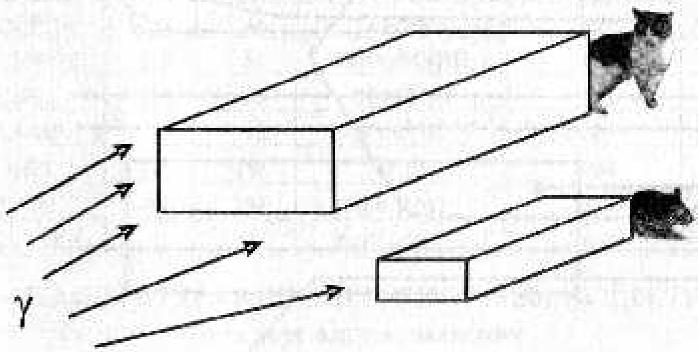
– Это только коты гуляют сами по себе, – передразнивает Костя. – В бомбе механически соединяют несколько кусков чистого урана, и тогда их суммарная масса превышает критическую…

Костя замирает, что-то обдумывая, и его опережает Саша.

– Критическая масса урана двести тридцать пять составляет примерно пятьдесят килограммов. А это значит, что астероид из чистого урана массой несколько тонн, если бы он вдруг образовался, сразу бы разнесло на мелкие кусочки.

Итак, астероид массой 32768 кг, состоящий из чистого $^{235}U$, не мог существовать 10 миллиардов лет назад, не может существовать и в настоящее время.

**3.** Мышка и кошка спрятались от сильного гамма-излучения за бетонными блоками. Кто из них надёжнее защищён? Длина блоков одинаковая.




– Я думаю, что кошка защищена лучше, – сразу определяет Катя. – Она за большим блоком спряталась.

– Не согласен, – сразу реагирует Саша. – Толщина бетона одинаковая, значит, они обе, и кошка, и мышка, одинаково хорошо спрятались.

– Если бы всё решалось так просто, то и вопрос ставить незачем, – вмешивается Дима. – Нет, здесь что-то не то.

Разбираться начинаем с рисунка «мышкиного» блока.

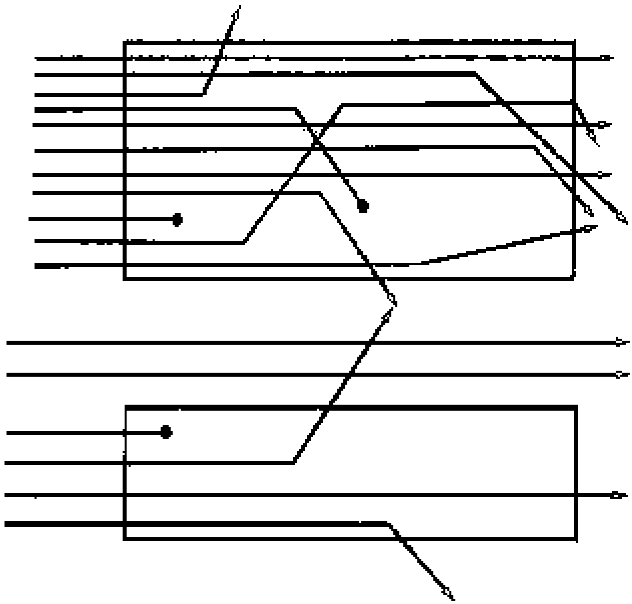
– Какие гамма-кванты представляют опасность для мышки?

– Те, что сквозь бетон прошли, – после некоторого раздумья отвечает Оля.

– Правильно. Гамма-кванты могут поглотиться в бетоне, могут рассеяться на каком-нибудь электроне и покинуть бетонный блок. Эти кванты для мышки не представляют опасности. А те, что пройдут сквозь бетон, могут повредить здоровью мышки.

– Ну и что? – не сдаётся Саша. – Чем у кошки хуже защита?

Чтобы ответить на этот вопрос, рисуем «кошкин» блок и выделяем в нём блок «мышкин».



— Смотрите, те гамма-кванты, что летят выше «мышкиного» блока, могли просто пролететь мимо него без вреда для мышки. Но они попадают в «кошкин» блок, и там поглощаются и рассеиваются или пролетают насквозь. И вот те, что рассеиваются, могут повернуть прямо в мышку. Какой из этого вывод?

— Сдаюсь, – соглашается Саша, мышка защищена надёжнее.

– Если «кошкин» блок уменьшить в высоту и ширину, – добавляет Костя, – под размеры кошки, то она тоже хорошо защищена будет. А так из лишнего бетона в неё рассеянные гамма-кванты попадают.

## ПЛОТНОСТЬ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ КГ/М$^3$

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ВОЗДУХ | 1.29 | БЕНЗИН | 740 | ЧУГУН | 7000 |
| ЛЕД | 900 | СПИРТ | 800 | ХРОМ | 7200 |
| ВОДА | 1000 | АЛЮМИНИЙ | 2700 | СВИНЕЦ | 11300 |
| ПЕСОК | 2000 | КРЕМНИЙ | 2330 | СЕРЕБРО | 10500 |
| ЗОЛОТО | 19300 | КОБАЛЬТ | 8710 | МЕДЬ | 8930 |
| НИКЕЛЬ | 8750 | ТИТАН | 4500 | УРАН | 19050 |
| ДЕРЕВО | 500 | СТЕКЛО | 3500 | ЖЕЛЕЗО | 7870 |

## ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

| | $t$ °C | $T$ K | | $t$ °C | $T$ K |
|---|---|---|---|---|---|
| ГЕЛИЙ | –272 | 1 | ОЛОВО | 232 | 505 |
| ВОДОРОД | –259 | 14 | СВИНЕЦ | 327 | 600 |
| КИСЛОРОД | –219 | 54 | АЛЮМИНИЙ | 660 | 933 |
| АЗОТ | –210 | 63 | СЕРЕБРО | 961 | 1234 |
| МЕТАН | –183 | 90 | ЗОЛОТО | 1063 | 1336 |
| СПИРТ | –115 | 158 | МЕДЬ | 1084 | 1357 |
| РТУТЬ | –39 | 234 | ЖЕЛЕЗО | 1539 | 1812 |
| ВОДА, ЛЁД | 0 | 273 | ВОЛЬФРАМ | 3410 | 3683 |

## ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВЕЩЕСТВ

при нормальном давлении

| | $t$ °C | $T$ K | | $t$ °C | $T$ K |
|---|---|---|---|---|---|
| ВОДА | 100 | 273 | РТУТЬ | 357 | 630 |
| СПИРТ | 78 | 351 | ЗОЛОТО | 2600 | 2873 |

## НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ КОНСТАНТЫ

Универсальная газовая постоянная $R = 8{,}3144$ Дж/(моль · К)

Гравитационная постоянная $G = 6{,}672 \cdot 10^{-11}$ Н · м$^2$/кг$^2$

Заряд электрона $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Заряд протона $e = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Масса покоя электрона $m_e = 9{,}11 \cdot 10^{-31}$ кг

Масса покоя протона $m_p = 1/67 \cdot 10^{-27}$ кг

Масса покоя нейтрона $m_n = 1/67 \cdot 10^{-27}$ кг

Постоянная Планка $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с или $\hbar = h/2\pi = 1{,}05 \cdot 10^{-34}$ Дж · с

Скорость света в вакууме $c = 3{,}0 \cdot 10^{8}$ м/с

Период полураспада $^{235}$U $T_{\frac{1}{2}} = 7{,}04 \cdot 10^{8}$ лет

Критическая масса $^{235}$U $M_{к} = 50$ кг

Масса Земли $M = 5{,}97 \cdot 10^{24}$ кг

Зависимость плотности насыщенного водяного пара от температуры

| Температура, $t$ °C | –30 | –20 | –10 | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ρ нас, г/м3 | 0.29 | 0.81 | 2.1 | 4.8 | 9.4 | 17 | 30 | 52 | 83 | 130 |

Среднее ускорение свободного падения на поверхности небесных тел м/с$^2$

| | |
|---|---|
| Земля | 9,81 |
| Луна | 1,62 |
| Марс | 3,86 |

# Оглавление

Для детей старше шести лет.
В соответствии с Федеральным законом
от 29 декабря 2010 г. № 436-ФЗ.

Дружинин Борис Львович

**Развивающие задачи по физике для школьников 5–9 классов**

Подписано в печать 20.12.2012.
Формат 60×88/16. Усл. печ. л. 5,26
Тираж 2000 экз. Заказ 2513.

ООО «Илекса», 107023, г. Москва, ул. Буженинова, д. 30, стр. 4,
сайт: www.ilexa.ru, E-mail: real@ilexa.ru,
телефон: 8(495) 964-35-67

Отпечатано в ОАО «Первая Образцовая типография»
Филиал «Чеховский Печатный Двор»
142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1
Сайт: www.chpk.ru, E-mail: marketing@chpk.ru,
факс 8(496) 726-54-10, телефон 8(495) 988-63-87

Для заметок

*Для заметок*

ИЛЕКСА

Б.Л. Дружинин

# Развивающие задачи по физике

## для школьников 5–9 классов

А вы сможете решить задачу, используя минимальный набор физических формул или вообще не прибегая к расчетам, сложнее обыкновенных арифметических действий? В этой книге автор предлагает текстовые задачи по физике, решаемые именно так с присущими ему легкостью и изяществом. Сюжеты задач привлекут внимание детей обилием сказочных и фантазийных сюжетов, шутливыми и юмористическими оттенками, участием персонажей русских народных сказок. Книга будет интересна как школьникам, уже начавшим изучать физику (7–9 классы), так и ребятам, только готовящимся к этому (5–6 классы). Тексты задач способствуют развитию образного мышления ребенка, поиску неожиданных ответов на вопросы, кажущиеся интуитивно ясными даже взрослому читателю. Материалы книги, кроме того, могут быть использованы учителями в работе на уроках, а также родителями для занятий с детьми дома.

ISBN 978-5-89237-363-0

9 785892 373630