

## Ответы на качественные вопросы картинной галереи представления «Карусель открытий»

### 1. «Форма стайки рыб»

Встречная вода действует на отдельных рыбок так, что их движение будет облегчено или затруднено в зависимости от местоположения по отношению к стайке. Этот фактор и обуславливает каплевидную форму движущейся стайки рыбок, при которой сопротивление воды движению стайки наименьшее.

### 2. «Движение монеты»

Можно подумать, что сила трения будет удерживать монету на определенной высоте, и она будет двигаться горизонтально. Но проделав соответствующий опыт, можно убедиться, что монета движется влево и вниз замедленно. При достаточной длине наклонной плоскости монета останавливается.

Это происходит потому что, как только монета получит указанную в условии задачи скорость, сила трения при движении окажется направленной противоположно вектору скорости. Так как эта сила горизонтальна, то она не сможет препятствовать движению монеты вниз по наклонной плоскости под действием составляющей силы тяжести. В результате монета будет скользить по кривой влево и вниз. Как только появится направленная вниз составляющая скорости, начнёт действовать и соответствующая ей противоположно направленная сила трения. Скорость монеты будет убывать, и она остановится.

### 3. «Случай на болоте»

С точки зрения физики Мюнхгаузен не мог сам себя вытащить из болота. Это следует из третьего закона Ньютона, который гласит, что сила, которая приложена к голове и которая направлена вверх, равна по величине силе, которая направлена вниз (она действует на плечо). То есть к одному телу приложены две противоположные силы, которые совершенно одинаковы (их равнодействующая равна нулю), поэтому внутренние силы не сообщают телу барона ускорения. Чтобы тело получило ускорение, нужны внешние силы (и их равнодействующая погружает тело Мюнхгаузена в болото).

Помимо третьего закона Ньютона Мюнхгаузеном был также нарушен закон сохранения импульса: положение центра масс системы тел не может быть изменено внутренними силами.

### 4. «Вращение ведра с водой»

Всем телам свойственна инерция (с латинского «бездеятельность») или, другими словами, явление сохранения скорости. Это значит, что когда вы раскручиваете ведро, и оно оказывается в верхней точке, в которой жидкость должна была бы вылиться на вас, вода стремится двигаться по касательной к окружности, а стенки и дно ведёрка, толкают её к центру, сообщая центростремительное ускорение. Именно поэтому вода не выливается и остаётся в ведре, до тех пор, пока вы будете крутить верёвку с достаточной скоростью.

Также можно объяснить происходящее, рассмотрев неинерциальную систему отсчёта, связанную с ведром. Вода не выливается из него на голову, потому что в верхней точке сила инерции ( $\vec{F}_{инерции} = -m\vec{a}$ ) превосходит силу тяжести, прижимая её ко дну (или в критическом случае уравновешивает).

### 5. «Электростатический двигатель»

Напряжённость электрического поля ( $E$ ) в конденсаторе определяется его зарядом ( $q$ ), диэлектрической проницаемостью среды ( $\epsilon$ ) и площадью его пластин ( $S$ ):  $E=q/\epsilon\epsilon_0S$  (где  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная).

Казалось бы, что наливание воды изменит напряжённость электрического поля в нижней части аквариума, что приведёт к нарушению равновесия сил. Но этого не происходит.

При заполнении части аквариума дистиллированной водой, исходный плоский конденсатор (ёмкостью  $C$ ) «превращается» в два, параллельно соединённых конденсатора – с воздухом между пластинами ( $\epsilon\approx 1$ ) и водой ( $\epsilon=80$ ). Ёмкость плоского конденсатора, как известно, зависит от диэлектрической проницаемости среды, площади пластин и расстояния между ними ( $d$ ):  $C=\epsilon\epsilon_0S/d$ .

Ёмкость верхнего – воздушного конденсатора уменьшается (по сравнению с  $C$ ) в два раза из-за сокращения в два раза площади пластин.

Ёмкость нижнего – водяного конденсатора увеличивается в 40 раз из-за одновременного увеличения диэлектрической проницаемости среды в 80 раз и уменьшения площади пластин в 2 раза.

А вот напряжение на этих конденсаторах одинаково и неизменно – оно определяется ЭДС источника тока.

Заряд конденсатора, ёмкость и напряжение взаимосвязаны формулой:  $q=CU$ . Получается, что заряд воздушного конденсатора уменьшается в 2 раза, а водяного – увеличивается в 40 раз. И это не перераспределение первоначальных зарядов, дополнительные заряды в системе появляются за счёт работы источника тока.

Мы видим, что изменение отдельных физических величин ( $S$ ,  $\epsilon$ ,  $q$ ), не приводит к различию напряжённостей в верхней и нижней частях аквариума. Так же будут равны и силы, действующие на заряды в воздухе и воде ( $F=qE$ ); «вертушка» вращаться не будет!

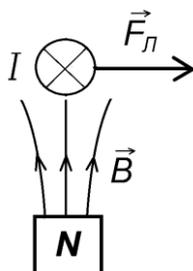
## 6. «Красная Луна»

При прохождении солнечных лучей сквозь земную атмосферу более всего преломляется красные, так как имеют в видимом спектре большую длину волны. Поэтому, попадая в область земной тени, красные лучи подкрашивают Луну во время её полного затмения.

## 7. «Вес сухого и влажного воздуха»

Массу газа (или смеси газов и паров) можно рассчитать по уравнению Менделеева-Клапейрона:  $pV= mRT/\mu$ . Поэтому при одинаковых давлениях ( $p$ ) и температурах ( $T$ ) плотность газа ( $m/V$ ) прямо пропорциональна его молярной массе ( $\mu$ ) его частиц. Если это смесь газов – то среднему молекулярному весу. А молекулярная масса воды ( $18\times 10^{-3}$  кг/моль) МЕНЬШЕ, чем у воздуха ( $29\times 10^{-3}$  кг/моль в среднем). Так что влажный воздух ЛЕГЧЕ сухого.

## 8. «Полюса магнита»



Зелёное пятнышко на экране электронно-лучевой трубки осциллографа создают электроны, соударяющиеся с его покрытием – люминофором, который от этого светится. Таким образом, по-

ток электронов направлен на нас, а ток ( $I$ ), создаваемый отрицательно заряженными частицами – от нас.

В магнитном поле на движущиеся заряды действует сила Лоренца ( $F_L$ ), которая смещает пятнышко на экране.

Чтобы узнать направление вектора магнитной индукции ( $\vec{B}$ ) необходимо воспользоваться правилом левой руки, которое гласит: если левую руку расположить так, чтобы линии магнитного поля входили в ладонь перпендикулярно ей, а четыре пальца были направлены по движению положительно заряженной частицы (или против движения отрицательно заряженной частицы), то отставленный большой палец покажет направление действующей на проводник силы.

В нашем случае  $\vec{B}$  направлен снизу вверх, а с учётом того, что линии магнитной индукции выходят из северного полюса постоянного магнита, то подносимый к экрану полюс – северный ( $N$ ).

## 9. «Превышение уровня»

Когда пальцем закрывают отверстие  $A$ , вытекающая через него вода, вследствие инертности устремляется вверх и, проходя через оттянутый кончик трубки, увеличивает свою скорость. Кинетическая энергия этой воды оказывается достаточной, выбросить небольшой фонтанчик выше уровня воды в левом сосуде. Закон сообщающихся сосудов распространяется только на жидкость, находящуюся в равновесии, и к водяному тарану неприемлем.

## 10. «Тепловой насос»

Охлаждение нижнего шара вызывает в нём усиленную конденсацию паров. Это в свою очередь вызывает испарение воды в верхнем шаре. По мере испарения воды в верхнем шаре температура её в нём падает настолько, что она замерзает.

## 11. «Фокус с трубкой»

Это может быть, если воздух из трубки откачан. Тогда пространство в коленах трубки над водой будет заполнено её насыщенным паром. А давление насыщенного пара, как известно, не зависит от его объёма (при неизменной температуре).

## 12. «Откачивание кипящей воды»

Нельзя, т.к. под поршнем вместо разреженного воздуха будет находиться водяной пар под давлением, равным атмосферному.

## 13. «Тормозящий автомобиль»

При резком торможении возникает значительный вращающий момент силы трения скольжения (направлена против движения машины), который стремится опрокинуть автомобиль вперёд, при этом задние колеса разгружаются, а передние на ту же величину нагружаются (кузов «клюёт», сжимая амортизаторы машины). Поэтому передняя часть и опускается.

Можно прийти к тому же результату, перейдя в неинерциальную систему отсчёта машины и рассмотреть опрокидывающий момент силы инерции, действующий на центр тяжести автомобиля. Чем выше у неё расположен центр тяжести, тем сильнее эффект.

При разгоне машины – момент, равный крутящему моменту (сила трения покоя приводит в машину в движение)) на ведущих колесах, но направленный в противоположную сторону, действует в обратном направлении. При этом вес автомобиля смещается с передней оси на заднюю, и кузов встаёт на дыбы.

#### 14. «Нагревание паром»

Пар, нагретый до  $100^{\circ}\text{C}$ , может отдать воде тепло только при условии, что температура ниже  $100^{\circ}\text{C}$ . С момента, когда температуры воды и пара сравнялись, переток тепла от пара к воде прекращается. Отсюда следует, что вода может быть нагрета  $100$ -градусным паром до  $100^{\circ}\text{C}$ , но получить от такого пара количество теплоты, необходимое для перехода в парообразное состояние, вода не может. Значит,  $100$ -градусным паром можно довести воду до температуры кипения, но нельзя довести до состояния кипения.

#### 15. «Соревнование мыльных пузырей»

Согласно формуле Лапласа дополнительное давление на воздух внутри системы со стороны мыльной плёнки в правом шаре больше, чем в левом, следовательно, воздух будет переходить из правого пузыря в левый. Объём правого шара при этом будет уменьшаться до тех пор, пока не исчезнет, а левый не раздуется до своего максимума. Таким образом, малый шар надует большой.

(Давление внутри мыльного пузыря будет определяться формулой  $\Delta p = 4\sigma/R$ . Здесь учитывается, что мыльная плёнка пузыря имеет две сокращающиеся поверхности).

#### 16. «Капли ртути и воды»

Из рисунка видно, что вода смачивает трубку (чистое стекло), а ртуть – нет. Жидкости в трубках под действием сил поверхностного натяжения образуют искривлённые поверхности (мениски): ртуть – выпуклые, а вода – вогнутые. Известно, что искривлённые поверхности жидкостей создают добавочные давления ( $\Delta p = 2\sigma/R$ ): под выпуклой поверхностью давление повышено, а под вогнутой – понижено. И чем меньше радиус мениска, тем больше давление. Поэтому на каплю ртути будет действовать равнодействующая сила, направленная влево, а на каплю воды – вправо. Капля ртути будет выталкиваться в сторону широкого конца трубки, а капля воды – в сторону узкого конца трубки.

#### 17. «Шарик на потолке»

При натирании воздушного шарика о чистые сухие волосы, он получает (за счёт электризации трением) электрический заряд (допустим, отрицательный). Когда же такой шарик подносят к потолку, то наблюдается явление, связанное с ограниченным смещением связанных зарядов в диэлектрике или поворотом электрических диполей под воздействием внешнего электрического поля (поляризация диэлектрика). При этом заряды, противоположные заряду шарика, (в нашем случае положительные) располагаются к нему ближе, чем одноимённые. Таким образом, силы притяжения преобладают над силами отталкивания и шарик всегда (при любом заряде) притягивается к потолку.

#### 18. «Заряды и магнитная стрелка»

Независимо от знака заряда палочки на концах стальной магнитной стрелки возникнут вследствие индукции электрические заряды, и конец стрелки (в независимости от её полюса) притянется к наэлектризованной палочке.

#### 19. «Пузырёк в сужении»

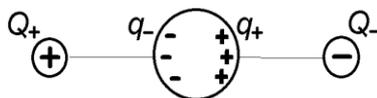
В сужении скорость воды ( $V$ ) увеличивается т.к. за единицу времени через любое сечение ( $S$ ) должна перемещаться одинаковая масса жидкости (см. уравнение неразрывности). Чем больше

скорость потока жидкости, тем меньше в нём давление (см. закон Бернулли). Таким образом, объём воздушного пузырька в сужении увеличится.

## 20. «Вылить воду»

Трясти перевернутую колбу бесполезно. Оставим её стоять на столе, но повысим давление воздуха внутри сосуда и разница давлений выдавит воду через трубку наружу. Повысить давление воздух можно, если нагреть сосуд. Но есть более простой и действенный способ – надо силой лёгких вдуть порцию воздуха через трубку внутрь.

## 21. «Взаимодействие зарядов»



При помещении металлического шарика в электрическое поле разноимённых зарядов будет наблюдаться явление электростатической индукции – смещение свободных электронов под действием электрических сил ( $\vec{F} = q\vec{E}$ ), при котором напряжённость результирующего поля внутри проводящего шарика станет равной нулю. При этом наведённый отрицательный заряд ( $q_-$ ) расположится на стороне, ближней к внешнему положительному заряду  $Q_+$ , а на противоположной стороне шара остаётся равный по величине положительный заряд  $q_+$ .

Из-за этого на заряды  $Q_+$  и  $Q_-$  начнут действовать дополнительные силы со стороны зарядов  $q_+$  и  $q_-$ . Так у заряда  $Q_+$  появится сила притяжения к заряду  $q_-$  и сила отталкивания от заряда  $q_+$ . Расстояние между разноимёнными зарядами ( $Q_+$  и  $q_-$ ) будет меньше расстояния между одноимёнными зарядами ( $Q_+$  и  $q_+$ ), поэтому возникающая сила притяжения будет больше, возникшей силы отталкивания. (Аналогичные рассуждения справедливы и для заряда  $Q_-$ ).

В результате, силы, действующие на заряды  $Q_+$  и  $Q_-$  в направлении друг друга увеличатся.

## 22. «Куда показывает компас»

Северный конец магнитной стрелки компаса указывает на северный географический полюс Земли, а это значит, что на севере Земли находится южный магнитный полюс Земли, его координаты (на 2012 г.)  $64^\circ 24' 00''$  ю. ш.,  $137^\circ 06' 00''$  в. д. Северный магнитный полюс Земли находится в Антарктиде, его координаты  $85^\circ 54' 00''$  с. ш.,  $147^\circ 00' 00''$  з. д. (по данным на 1965 г.). Магнитные полюсы Земли медленно дрейфуют (около 40 км/г.).

## 23. «Стрельба из рогатки»

Дальность полёта при одинаковом угле наклона начальной скорости зависит от величины этой скорости. При выстреле из рогатки, потенциальная энергия упруго растянутой резины, переходит в кинетическую энергию камня, т.е.:  $\frac{kx^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2}$ , откуда  $V_0 = x \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

Получается, что чем больше масса ( $m$ ) камня, тем больше при одинаковом растяжении резины ( $x$ ) начальная скорость ( $V_0$ ).

## 24. «Электрическая гирлянда и палец»

Сопротивление лампы (на 3,5В) от карманного фонаря мало – несколько Ом. Сопротивление всей гирлянды – несколько сотен вольт. Сопротивление пальца – несколько тысяч Ом. При последовательном соединении падения напряжений на участках цепи прямо пропорциональны сопро-

тивлениям участков, поэтому на палец, если его сунуть в патрон, придётся практически всё напряжение цепи.

### 25. «Три ключа и лампа»

Алгоритм действий следующий: 1) замыкаем ключ  $A$  и через  $10\text{с}$  размыкаем; 2) замыкаем ключ  $B$ ; 3) заходим в комнату и анализируем результат: лампа горит – ей соответствует ключ  $B$ ; лампа не горит, но тёплая – ключ  $A$ ; лампа не горит и холодная – ключ  $C$ .

### 26. «Кольцо на спице»

Способ «потрясти» не стабилен. Красивое решение – раскрутить бутылку с водой вокруг её вертикальной оси. На поверхности жидкости возникнет воронка-углубление, в которое опускается кольцо-поплавок. Через некоторое время движение воды прекращается, воронка исчезает, а кольцо, поднимаясь с уровнем воды, само надевается на спицу.

### 27. «Модель Эйфелевой башни»

Для определения массы модели башни ( $m$ ), сделанной из материала той же плотности, что и оригинал, необходимо знать во сколько раз изменился объём. При пропорциональном изменении размера тела в  $n$  раз, его объём меняется в  $n^3$  раз. В нашем случае высота модели отличается от высоты оригинала в  $n = 300\text{м}/0,3\text{м} = 1000 = 10^3$  раз, следовательно, и объём и масса уменьшились в  $(10^3)^3 = 10^9$  (миллиард) раз. Таким образом, масса модели равна 9 г.

### 28. «Гребец на реке»

От гребца потребуются одинаковая затрата работы – безразлично – стремиться ли он обогнать плывущую щепку или отстать от неё на такое же расстояние. Ответ становится очевидным, если связать систему отсчёта с водой (щепкой), относительно которой лодка будет находиться в покое.

### 29. «Круги на воде»

Волны от брошенного камня круглые и в стоячей, и текущей воде. Будем рассматривать движение частиц волнующейся воды как составное из двух движений: радиального – от центра колебаний и переносного, направленного по течению реки. Тело, участвующее в нескольких движениях, в конечном счёте, перемещается туда, где очутилось бы оно, если бы совершало все составляющие движения последовательно, одно за другим. Поэтому допустим сначала, что камень брошен в неподвижную воду. В таком случае, волны, конечно, получаются круглые.

Представим себе теперь, что вода движется – безразлично, с какой скоростью, равномерно или неравномерно, лишь бы движение это было поступательное. Что произойдёт с круговыми волнами? Они передвинутся параллельным перемещением, не претерпевая никакого искажения формы, т.е. останутся круглыми.

### 30. «Магдебургские полушария»

Восемь пар лошадей моно было спокойно заменить сопротивлением какой-нибудь стены или крепкого древесного ствола, ведь по III закону Ньютона сила противодействия равнялась бы тяге восьми лошадей. Чтобы увеличить тягу, целесообразно было бы эту восьмёрку освободившихся лошадей припрячь в помощь остальным восьми. Но дело в том, что демонстрационный опыт с полушариями имел цель показать силу атмосферного давления и удивить, собравшихся зрителей.

Для непросвещённой публики отсутствие результата при 16 парах лошадей стало более эффектным зрелищем, чем результат разъединения полусфер меньшим количеством животных.

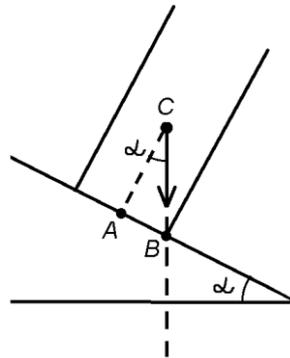
### 31. «Корона и Архимед»

По легенде, Архимед, погрузившись в ванну, открыл способ определения объёма погружённого тела (произвольной формы). Тогда учёный убедился, что одинаковые массы слитков серебра и золота вытесняют разные объёмы воды. Затем он погрузил в воду корону и обнаружил, что воды вылило больше, чем при погружении в неё золотого слитка той же массы.

По объёму вытесненной жидкости Архимед определил, что корона была изготовлена не из чистого золота, а с примесью серебра. Тем самым мастер был изобличён в обмане, а наука обогатилась замечательным открытием.

### 32. «Опрокидывающийся стакан»

Стакан опрокинется, когда вертикальная линия, проведённая из центра масс жидкости (точка  $C$ ) выйдет за пределы основания стакана (за точку  $B$ ). На рисунке изображён критический случай:  $\operatorname{tg}\alpha = AB/CA = R/h$ . Выход из равновесия произойдёт, если центр тяжести жидкости будет находиться на высоте  $h = R/\operatorname{tg}\alpha$  или выше, а критический объём всей жидкости превысит объём  $V = h \times S = \pi R^3/\operatorname{tg}\alpha$ .



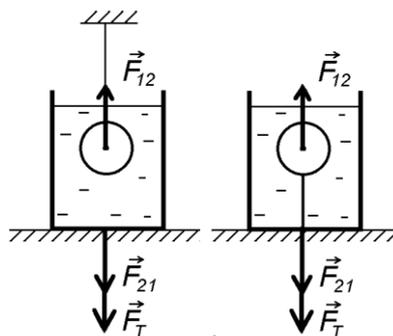
### 33. «Песочные часы на весах»

Свободно падающие песчинки не давят на дно колбочки. Поэтому гиря перетянет, как только песчинки начнут падать из отверстия в перемычке. Но так будет происходить только до тех пор, пока первые песчинки не коснутся дна. Сталкиваясь с дном, они передают ему свой импульс, т. е. действуют на дно с некоторой силой, импульс которой равен передаваемому импульсу.

Пусть в единицу времени через отверстие в перемычке приходят в движение песчинки, масса которых равна  $m$ . Они падают свободно и достигают дна спустя время  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  (1) после начала падения. При стационарной «работе» часов в полёте находится в каждый момент времени масса  $M$ , определяемая формулой  $M = mt = m\sqrt{\frac{2h}{g}}$ . (2) Поэтому «недостача» силы давления на дно колбы составляет  $Mg = m\sqrt{2gh}$ . (3) При стационарном потоке песчинок масса песка, достигающего дна в единицу времени, так же равна  $m$ . Каждая из песчинок подлетает ко дну со скоростью, равной  $V = \sqrt{2gh}$ . (4) Это как раз импульс силы за единицу времени, т. е. «добавочная» сила давления на дно колбы за счет остановки песчинок. Видно, что (3) и (4) дают одно и то же значение. Значит, равновесие весов восстановится, как только первые песчинки достигнут дна. Теперь не представляет труда убедиться в том, что на последнем этапе «работы» часов, когда все песчинки уже про-

валятся сквозь отверстие сверху, но ещё не достигнут дна, часы перетянут гирию и коромысло весов качнется в противоположную сторону.

### 34. «Сосуды с шариками на весах»



Заметим, что на шарик, погружённый в жидкость, действует выталкивающая сила – сила Архимеда ( $F_{12}$ ). По III закону Ньютона шарик действует на воду с такой же по величине, но противоположной по направлению силой ( $F_{21}$ ). Эта сила (согласно закону Архимеда) численно равна весу жидкости, вытесненной шариком.

Вес сосуда, в котором шарик висит на нити, складывается из силы тяжести сосуда и жидкости в нём ( $F_T$ ) и силы  $F_{21}$ , с которой шарик действует через жидкость на дно сосуда.

Вес сосуда, в котором шарик удерживается нитью у дна, равен только силе тяжести сосуда и жидкости в нём ( $F_T$ ). Здесь силы  $F_{12}$  и  $F_{21}$  компенсируют друг друга т.к. приложены к одному телу – сосуду.

Таким образом, левая чаша весов перевесит правую.

### 35. «Непадающие облака»

Облака состоят из водяных капель диаметром 0,01-0,02мм, зачастую даже 0,001мм. Такие шарики тяжелее воздуха примерно в 800 раз. Все облака разные и их тяжесть может варьироваться от десятков килограммов до десятков тысяч тонн. Среднее по величине облако имеет массу около 500 тонн (дождевые облака намного тяжелее).

Водяные шарики облаков, обладая, по сравнению со своей массой весьма большой поверхностью, при падении в воздухе встречают настолько значительное сопротивление, что опускаются вниз крайне медленно. Они отличаются, как говорится, значительной «парусностью». Например, капельки радиусом в 0,01мм падают в воздухе равномерно со скоростью 1см/с.

Облака, в сущности, не плавают в воздухе – они падают, но падение это происходит чрезвычайно медленно; достаточно самого слабого восходящего течения воздуха, чтобы не только удержать облако от падения, но и поднять его вверх.

По той же причине держатся в воздухе и пылинки, хотя масса многих из них, например металлических, больше массы воздуха в несколько тысяч раз.

### 36. «Шарик в струе»

А) В месте касания шарика струя сужается, её скорость увеличивается, а давление уменьшается (согласно закону Бернулли). Поэтому сила атмосферного давления прижимает шарик к струе.

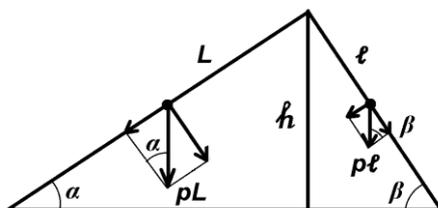
В) Аэродинамическое давление воздушной струи уравнивает силу тяжести шарика и поддерживает его в струе. Давление, окружающего воздуха, которое больше давления внутри воздушной струи, при небольших боковых отклонениях шарика возвращает его внутрь струи.

### 37. «Снег кипятит воду»

Как объяснить парадокс закипания воды при охлаждении? Дело в том, что снег охлаждает стенки колбы; вследствие этого пар внутри превращается в водяные капли. А так как воздух из стеклянной колбы был выгнан ещё при кипячении, то вода в ней после конденсации паров будет находиться под давлением гораздо меньшим, чем атмосферное. Но известно, что при уменьшении давления на жидкость она кипит при более низкой температуре. Таким образом, в колбе начинается кипение, и хоть в ней находится кипяток – это кипяток негорячий.

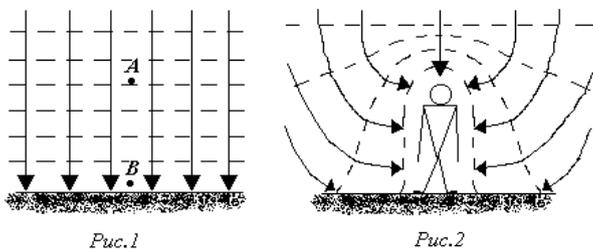
### 38. «Вечное движение шариков»

А) Хотя грузы на правой стороне находятся дальше от центра, их число всегда меньше, чем на левой стороне. В результате оказывается, что сумма моментов сил тяжести грузов, стремящихся повернуть колесо по часовой стрелке, всегда равна сумме моментов сил тяжести грузов, стремящихся повернуть его против часовой стрелки. Поэтому вся система уравнивается.



В) Обозначим силу тяжести одного метра цепи с грузами через  $p$ , а длины боковых граней призмы через  $L$  и  $l$  (см. рис.). Общая весовая нагрузка на левую грань будет  $pL$ , а на правую  $pl$ . Составляющие этих сил, действующие вдоль граней, равны между собой, т.е.  $pL \times \sin\alpha = pl \times \sin\beta$ , т.к.  $L \times \sin\alpha = l \times \sin\beta = h$ . Следовательно, части цепи, лежащие на гранях, будут уравниваться, и она останется в покое.

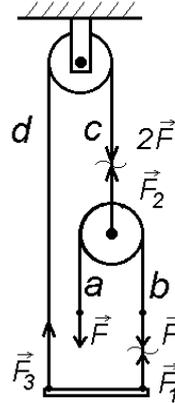
### 39. «Человек в электрическом поле Земли»



Тело человека – проводник, и поэтому поверхность его в электрическом поле при равновесии зарядов должна быть эквипотенциальной поверхностью. Между отдельными точками её (вашей макушкой и ногами) не может быть разности потенциалов. Пока человека в данном месте не было, поле имело вид, показанный на рис. 1. Линии напряжённости его направлены вертикально вниз, а эквипотенциальные поверхности представляют собой горизонтальные плоскости. Между точками  $A$  и  $B$  (находящихся на расстоянии 1,7м) действительно существует напряжение 220В.

Появление в этом пространстве человека искажает поле, и оно принимает примерно такой вид, как показано на рис. 2. Вблизи тела человека ход линий напряжённости и эквипотенциальных поверхностей изменяется, и одна из этих поверхностей совпадает с поверхностью тела человека. Так что напряжение между точками  $A$  и  $B$  становится равным нулю. Это происходит вследствие перераспределения зарядов в теле человека (смотри явление «электростатической индукции»), но это перемещение зарядов (электрический ток) чрезвычайно кратковременно и слабо, так что мы не ощущаем его.

### 40. «Подъём самого себя»



Пусть вес человека –  $Mg$ , а доска, блоки и канаты – невесомы. Пусть человек тянет за канат (a) с силой  $F$ . Тогда подвижный блок изменяет направление действия этой силы, и канат (b) тянет правый край доски с такой же по величине силой ( $F_1=F$ ) вверх. По III закону Ньютона доска тянет вниз канат (b) с силой  $F$ . Чтобы подвижный блок находился в равновесии, действующие на него силы должны быть уравновешены, следовательно, канат (c) тянет подвижный блок вверх с силой  $F_2=2F$ . По III закону Ньютона, точно с такой же силой, подвижный блок тянет канат (c) вниз. Неподвижный блок изменяет направление этой силы, и канат (d) тянет левый край доски вверх с силой  $F_3=2F$ . Таким образом, на невесомую доску с весомым человеком действуют силы: вверх –  $F_1$  и  $F_3$ , а вниз – облегчённый вес человека –  $P=Mg-F$  (т.к. верёвка (d) тянет человека по III закону Ньютона вверх с силой  $F$ ).

Тогда:  $F_1+F_3=P$  и  $F= Mg/4$ .

### 41. «Куда бросить бутылку»

Вещи надо бросать назад, против движения скорости. Тогда скорость, сообщённая бутылке бросанием, будет отниматься от той, какую бутылка имеет вследствие инерции: в итоге бутылка встретит землю с меньшей скоростью.

При бросании вперёд произошло бы обратное: скорости сложились бы и удар получился бы сильнее.

### 42. «Два цилиндра»

Простейший способ – сравнить время скатывания цилиндров с наклонной плоскости. Из закона сохранения полной механической энергии следует, что потенциальная энергия цилиндра в начальном положении в конце равна сумме кинетических энергий поступательного и вращательного движения:  $mgh = \frac{mV^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2}$ . Скорость центра масс цилиндра выражается через угловую скорость вращения:  $\omega = \frac{V}{R}$ . Чем больше кинетическая энергия вращательного движения цилиндра, тем меньше кинетическая энергия его поступательного движения и тем дольше он будет скатываться с наклонной плоскости. Момент инерции полого цилиндра ( $I=mR^2$ ) в два раза больше момента инерции сплошного цилиндра ( $I=\frac{mR^2}{2}$ ) и, следовательно, алюминиевый цилиндр скатится быстрее, чем золотой.

Чуть более сложный способ распознавания – сравнение удельных теплоёмкостей тел, у алюминия она много больше, чем у золота.

### 43. «Водяные вихри»

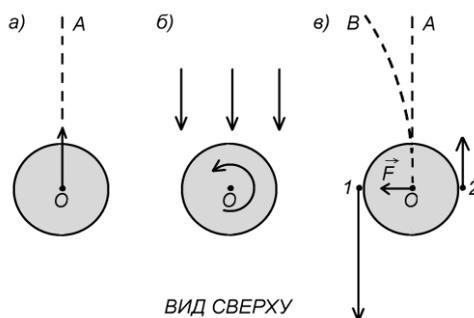
Вращение Земли на направление «домашних» вихрей не влияет. Оно сказывается только на огромных массах жидкости (например, на тропических циклонах вблизи земного Экватора). Вы можете убедиться в этом, наблюдая даже в одной квартире разные направления вращения воды в ванне и кухонной раковине. Проведите опрос большого количества своих соседей и знакомых – они подтвердят, что процесс закрутки воды непредсказуем, он зависит от множества факторов. Главным являются неровности в отверстие слива.

#### 44. «Между досок и по доске»

Первоначальный запас потенциальной энергии обоих шаров одинаков, т.к. массы их равны, и оба шара опускаются с одинаковой высоты. Для скатывающихся шаров выполняется закон сохранения полной механической энергии:  $mgh = mV^2/2 + I\omega^2/2$ , где первое слагаемое – кинетическая энергия поступательного движения, а второе – кинетическая энергия вращательного движения ( $I$  – момент инерции шара, а  $\omega$  – его угловая скорость).

У шара  $A$ , движущегося между досок, радиус круга качения меньше, чем для шара  $B$ , скатывающегося с плоскости. Чем меньше этот радиус ( $R$ ), тем больше угловая скорость шара ( $\omega = V/R$ ) и кинетическая энергия вращательного движения. Следовательно, шар, движущийся по доске будет иметь большую кинетическую энергию поступательного движения (и скорость). Шар  $B$  придёт к финишу быстрее, чем шар  $A$ .

#### 45. «Кручёный мяч»



На рисунке  $a$ ) изображён мяч, который в отсутствии вращения летел бы по траектории  $OA$  со скоростью  $V$ .

В системе отсчёта, связанной с центром мяча (рис.  $b$ ), скорость его поступательного движения равна нулю, а воздух налетает на него со скоростью минус  $V$ .

Вращающийся мяч изменяет скорость воздушных потоков у своей поверхности (рис.  $в$ ): в области  $1$  она будет больше, чем в области  $2$  (с учётом закона сложения скоростей).

Там, где скорость воздушного потока больше, там по закону Бернулли, давление меньше. В нашем случае:  $p_1 < p_2$ . Поэтому из-за разницы давлений возникает сила давления  $F$ , заставляющая его лететь по траектории  $OB$ . Описанное явление – проявление, так называемого, эффекта Магнуса.

#### 46. «Красный чай и зелёный кофе»

Переворачиваемость слов не связана с цветом жидкости и букв. Пробирка с жидкостью является цилиндрической линзой, которая переворачивает оба слова, но в отличии от «кофе», буквы слова «чай» не обладают горизонтальной симметрией.

#### 47. «Волны прибое»



По мере приближения к пологому берегу, глубина воды постепенно уменьшается. У берегов энергия колебаний толстых слоев воды передается более тонким слоям, поэтому амплитуда колебаний увеличивается (по сути – это стремление к сохранению механической энергии колебаний).

Загибание гребней волн, набегающих на берег, объясняется тем, что скорость распространения волн по поверхности неглубокого водоема зависит от глубины этого водоёма, а именно – прямо пропорциональна квадратному корню из глубины. У дна из-за трения о поверхность она минимальна, у гребня – она максимальна. Поэтому гребень обгоняет волну под ним и загибается вперёд.

#### 48. «Нагрев шара током»

Мысленно порежем шарик вертикальными плоскостями на кусочки одинаковой длины ( $L$ ). Общее сопротивление шара будет складываться из сопротивлений этих кусочков. Чем больше сечение проводника ( $S$ ), тем меньше его сопротивление ( $R=\rho L/S$ , где  $\rho$  – удельное сопротивление материала). Известно, что при последовательном соединении проводников, сила тока ( $I$ ) в них одинакова, а количество теплоты ( $Q$ ), выделяемое в неподвижном проводнике при прохождении по нему тока ( $I$ ), определяется законом Джоуля-Ленца ( $Q=I^2R\Delta t$ , где  $\Delta t$  – промежуток времени). Таким образом, максимально нагреваться будут части шара с наименьшим сечением – места соединения проводов с шаром.

#### 49. «Красный сигнал»

Красные лучи, как лучи с большей длиной волны (700-760нм) рассеиваются частицами, взвешенными в воздухе, слабее, нежели лучи иных цветов. Электромагнитные волны огибают препятствия, размеры которых меньше или равны длине волны (условие дифракции). Лучи красного цвета проникают поэтому дальше, нежели всякие другие.

Другая причина выбора красного цвета для сигнала остановки заключается в большей чувствительности нашего глаза к этой окраске, нежели к синей или зелёной.

#### 50. «Чёртова кузница»

Этот старинный цирковой трюк производил сильное впечатление на зрителей. Артист ложиться на землю; на грудь его ставят тяжёлую наковальню, и силач со всего размаха ударяет по ней увесистым молотом. Невольно удивляешься. Как может живой человек выдерживать без вреда для себя такое сотрясение.

Всё дело в инертности наковальни. Лежащий под ней человек чувствует её тяжесть, а удары ощущаются незначительно. Чем больше масса наковальни и меньше скорость и масса молота, тем меньше груз на человеке будет изменять свою скорость, тем легче будет переноситься удар.

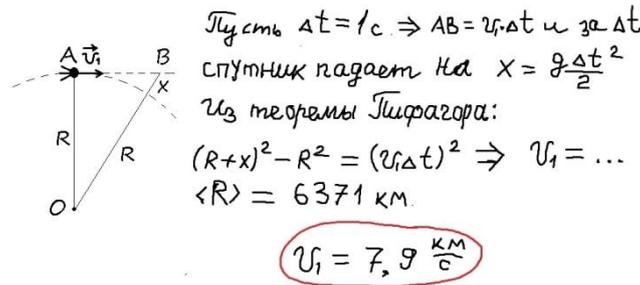
И ещё один маленький секрет: если сделать, чтобы удар молота о наковальню стал не абсолютно упругим, а неупругим (молот не отскакивал от наковальни), то сила удара уменьшится в два раза.

#### 51. «Ударяемое или ударяющее?»

С учётом относительности равномерного движения и покоя (принципа относительности классической механики Галилея) результат столкновения яиц не зависит от того, какое из них мы пожелаем считать неподвижным, а какое – движущимся.

Результат будет определяться прочностью скорлупы (которая в свою очередь зависит от толщины, состава, наличия микротрещин, внутреннего содержимого яйца) и расположением яйца в момент удара (углом отклонения оси симметрии яйца от вертикали).

### 52. «Непадающая Луна»



Если бы не сила тяготения, Луна и искусственные спутники Земли двигались бы прямолинейно с постоянной скоростью, но они ПАДАЮТ на Землю, отклоняясь от прямой линии к центру Земли. ПАДАЮТ, но никак не УПАДУТ, ведь на сколько они опускаются вниз, на столько Земля уходит вниз (она же круглая), а расстояние между спутником и поверхностью при этом остаётся неизменным.

На основе подобных рассуждений можно определить значение первой космической скорости, которое школьники обычно получают с помощью второго закона Ньютона (приравнивая центростремительное ускорение ИСЗ к его ускорению свободного падения), Вывод представлен на рисунке и взят он со страниц книги Я.И. Перельмана «Ракетой на Луну» (1935г).

### 53. «Как взвесили Землю»

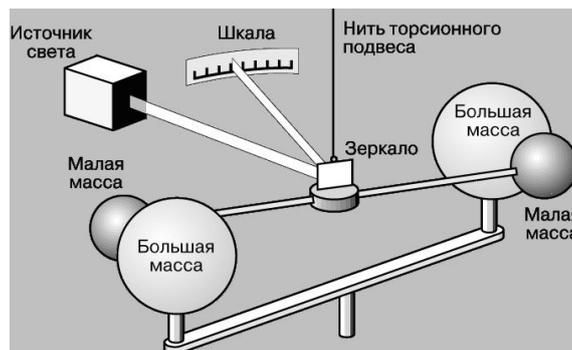
Масса Земли примерно равна  $6 \times 10^{24}$  кг.

Для того чтобы измерить её, во-первых нужно знать её размеры – радиус около 6400 км, эта величина давно известна из геометрических и астрофизических наблюдений. После этого можно уже делать приблизительные прикидки, вычислив объём такого шара и считая плотность не сильно отличающейся от плотности воды. Но это очень не точный способ.

Позже массу Земли вычислили с лучшей точностью с помощью закона всемирного тяготения. Согласно нему, сила, с которой Земля притягивает какое-либо тело, зависит только от массы тела, расстояния до него от центра Земли и самой массы Земли. Но силу, с которой Земля действует на тело очень легко измерить, просто сбросив что-нибудь с высоты, и выяснив, с каким ускорением оно падает. Итак, зная радиус Земли и ускорение тела, массу Земли легко вычислить по формуле закона всемирного тяготения!

Точное измерение массы Земли затруднено, поскольку это эквивалентно измерению гравитационной постоянной ( $G = 6,67 \times 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}$  – силы, с которой притягиваются две точечные массы по 1 кг, находящиеся на расстоянии 1 м), известной с наименьшей точностью из-за относительной слабости гравитационной силы.

Классический опыт, проведённый в 1797-1798 годах британским учёным Генри Кавендишем по сути, позволил определить эту величину с помощью крутильных весов.



#### 54. «Центр масс цепи»

Если подвесить тяжёлый груз к среднему звену, то оно опустится и цепная линия изменит свою форму. Сила, действующая со стороны замка на цепь (вес), совершит работу, за счёт которой центр масс поднимется, потенциальная энергия увеличится и равновесие станет неустойчивым. Если убрать замок, то цепь вернётся в устойчивое положение, а оно, как известно, характеризуется минимумом потенциальной энергии.

Значит, центр масс свободно висящей цепи находится ниже, чем у цепи с замком.

#### 55. «Шар с полостью»

Положить на чаши весов по три шара. Здесь могут быть два случая:

Если одна из чаш перевешивает, искомым является один из трёх шаров на другой чаше. Два из них кладут на чаши, по одному на каждую, и производят второе взвешивание. Искомый шар находится на той чашке, которая оказывается легче. Если же при втором взвешивании чаши находятся в равновесии, то искомым будет третий шар.

Если весы будут в равновесии, искомым является один из трёх оставшихся шаров. Второе взвешивание двух из оставшихся шаров позволит найти шар с полостью.

#### 56. «Как раскачать маятник»

Надо сообщать небольшие толчки штативу в такт колебаниям одного из маятников. Получая с каждым толчком новый запас энергии, он постепенно раскачивается (резонанс). Эти толчки не смогут сильно раскачать второй маятник, т.к. он имеет другой период колебаний.

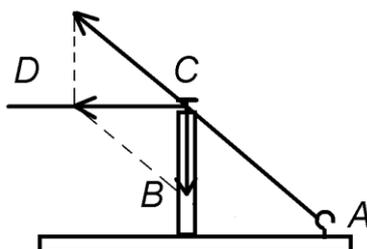
#### 57. «Всплывёт ли цилиндр»

Цилиндр будет плавать, т.к. гидростатическое давление на погружённое вводу тело зависит от высоты уровня воды в сосуде и не зависит от её объёма. Поэтому и обусловленная этим давлением выталкивающая архимедова сила не зависит от объёма воды в сосуде.

#### 58. «Автоматическая поилка для кур»

Вода выливается из сосуда  $A$  в сосуд  $B$  через трубку  $D$  тех пор, пока не закроет нижний конец трубки  $C$ . После этого воздух в сосуд  $A$  через трубку  $C$  уже не поступает, в нём образуется разрежение и вода перестаёт выливаться.

#### 59. «Где оборвётся нить»



Нить оборвётся на участке  $AC$ , т.к. сила, действующая на оттяжку  $AC$ , больше силы натяжения горизонтального участка  $CD$ , что видно из рассмотрения треугольника сил, построенного для данного случая.

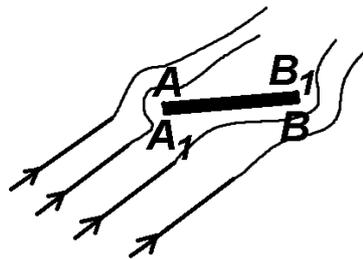
#### 60. «Соревнование тележек»

Сила тяжести гири сообщает ускорение двум телам: самой гире и тележке  $A$ ; сила руки приложена только к тележке  $B$ , следовательно, в этом случае (согласно II закону Ньютона) тележка  $B$  будет двигаться с большим ускорением.

### 61. «Поющая птичка и сова»

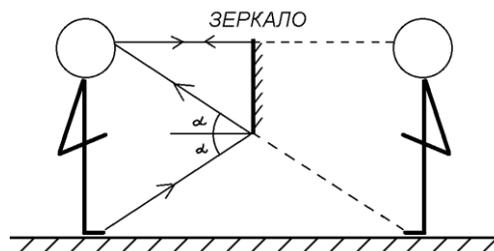
Вода, втекающая в сосуд  $A$ , вытесняет из него воздух, который, проходя по трубке, вызывает свист. Заполнив сифон, вода начинает переливаться через него в сосуд  $B$ , который в конце концов перетянет груз  $C$ , и сова повернётся к птичке. В этот момент через сифон из сосуда  $A$  вытекает больше жидкости, чем втекает. Поэтому птичка не свистит. Затем вступает в действие нижний сифон. Вода из сосуда  $B$  выливается, груз  $C$  перетягивает, сова отворачивается, и птичка начинает свистеть. Далее процесс повторяется.

### 62. «Диск Рэлея»



Если плоскость диска параллельна воздушному потоку, то он находится в неустойчивом равновесии. При случайном повороте диска скорость воздушного потока в точках  $A_1$  и  $B_1$  станет меньше, а давление больше, чем в точках  $A$  и  $B$ , что приведёт к появлению пары сил, вращающих диск по часовой стрелке (см. рис.). В устойчивом положении диск расположится поперёк воздушного потока.

### 63. «Размер зеркала»



Высота зеркала должна быть не менее половины роста.

### 64. «Красно-зелёная лампа»

Чувствительность сетчатки глаза к красным лучам (в месте, на которое падает изображение красной лампы) уменьшается из-за утомления. Поэтому, когда на это место падают лучи от белого сектора, глаз сильнее всего реагирует на зелёные лучи, входящие в состав белого света.

При вращении диска в обратную сторону, подобного эффекта не наблюдается, так как сетчатка глаза за время движения чёрного сектора успевает отдохнуть.