



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Рубцовский индустриальный институт (филиал)
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»

В.В. Борисовский

**ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО
И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ
(теория и практика)**

Методическое пособие
для студентов всех направлений

Рубцовск 2013

УДК 530.1

Борисовский В.В. Динамика поступательного и вращательного движений (теория и практика): Методическое пособие для студентов всех направлений/ Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2013.- 50 с.

Пособие представляет собой краткую теорию механики – динамику. Приведены практические примеры, в основном из повседневной жизни, с подсказками и подробными ответами.

Пособие предназначено для студентов технических специальностей и может быть использовано старшеклассниками и преподавателями физики.

Рассмотрено и одобрено на заседании
НМС Рубцовского индустриального
института
Протокол № 6 от 19.09.2013г.

Рецензент:

к.т.н., доцент П.А. Люкшин

© Рубцовский индустриальный институт, 2013

Содержание

1. Динамика поступательного движения материальной точки твердого тела	4
1.1. Первый закон Ньютона (закон инерции)	4
1.2. Второй закон Ньютона (основной закон динамики поступательного движения тел)	4
1.3. Третий закон Ньютона (закон взаимодействия)	5
1.4. Закон сохранения импульса (количества движения)	5
1.5. Силы упругости и трения	6
1.6. Центробежные силы	7
1.7. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета. Силы инерции	8
2. Динамика вращательного движения твердого тела	9
2.1. Основной закон динамики вращательного движения	10
2.2. Момент инерции тел геометрически правильной формы	11
3. Задачи и вопросы	12
4. Подсказки	23
5. Ответы и решения	27

Динамика занимается изучением общих законов взаимодействия материальных тел и изменений в их движении. Поэтому динамика является основным разделом механики.

Основные законы динамики были сформулированы И.Ньютоном в 1687 году. Они представляют собой обобщение результатов многовекового человеческого опыта

1. Динамика поступательного движения материальной точки и твердого тела

1.1. Первый закон Ньютона (закон инерции)

Первый закон Ньютона гласит: любое тело сохраняет состояние покоя или прямолинейного равномерного движения до тех пор, пока воздействие на это тело со стороны других тел не вызовет изменение этого состояния.

Стремление тела сохранить состояние покоя или равномерного прямолинейного движения называется **инертностью**. Количественной мерой инертности тела является **масса**, измеряется в килограммах (кг).

Физическая величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или полей, называется **силой**. Сила, как и любая векторная величина, считается заданной, если известны ее численное значение, направление и точка приложения. Если на тело действует несколько сил, а на практике так и бывает, но результирующая этих сил равна нулю, то в этом случае также выполняется первый закон Ньютона. В математической форме это утверждение имеет вид:

$$a=0 \text{ или } F_{рез}=0.$$

1.2. Второй закон Ньютона (основной закон динамики поступательного движения тел)

Второй закон Ньютона устанавливает связь между динамическими и кинематическими величинами: ускорение a , приобретенное телом под действием силы F , пропорционально этой силе и обратно пропорционально массе тела

$$a = k \frac{F}{m}, \quad (1.1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от выбора единиц измерения. Если все величины выражены в единицах одной системы, то $k=1$ и второй закон примет вид:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \text{ или } \vec{F} = m\vec{a}. \quad (1.2)$$

Из уравнения (1.2) видно, что ускорение совпадает по направлению с действующей силой.

Второй закон Ньютона можно записать в другой форме. Если ускорение $a=dv/dt$, тогда $F = m \frac{dv}{dt}$, или, внося массу m под знак дифференциала, получим:

$$F = \frac{d(mv)}{dt}. \quad (1.3)$$

Вектор $\vec{p} = m\vec{v}$ называется **импульсом**, или **количеством движения тела**, и совпадает по направлению с вектором скорости \vec{v} . Уравнение (1.3) запишем в виде

$$Fdt = dp. \quad (1.4)$$

Вектор $\vec{F} \cdot dt$ называется **импульсом силы \vec{F}** , действующим в течение малого промежутка времени dt , и имеет с силой одно направление.

Из (1.3) следует определение единицы силы – ньютона (Н) $1 \text{ Н} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$.

1.3. Третий закон Ньютона (закон взаимодействия)

При любом взаимодействии двух тел силы, с которыми тела действуют друг на друга, равны по величине и направлены в противоположные стороны, т.е.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \quad (1.5)$$

где \vec{F}_{12} - сила действия первого тела на второе, \vec{F}_{21} - сила действия второго тела на первое.

Взаимодействие тел наблюдается как при прямом действии (контакте), так и при действии на расстоянии (притяжение Земли и Солнца). Силы, возникающие при взаимодействии двух тел, всегда имеют одну природу, но никогда не уравновешивают друг друга, так как приложены к разным телам.

1.4. Закон сохранения импульса (количества движения)

Следствием второго и третьего законов Ньютона является закон сохранения импульса (количества движения). Он имеет место в **изолированной** (замкнутой) системе тел. Такой системой является группа тел, на которые не действуют **внешние** силы. Силы взаимодействия между телами, входящими в изолированную систему, называются **внутренними**.

Рассмотрим простейшую изолированную систему, состоящую из двух взаимодействующих тел с массами m_1 и m_2 . Скорость первого тела до взаимодействия была v_1 , после взаимодействия v'_1 ; второго тела до - v_2 , после - v'_2 .

Импульсы сил взаимодействия тел согласно уравнению (2.4) можно записать:

$$\left. \begin{aligned} \vec{F}_{12} \cdot t &= m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1, \\ \vec{F}_{21} \cdot t &= m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Так как по третьему закону Ньютона $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$, то

$$m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1 = -(m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2),$$

или, после преобразования, получаем:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2, \quad (1.7)$$

т.е. векторная сумма импульсов двух тел до и после взаимодействия равна.

Опыты показали, что это положение справедливо для любого количества тел, входящих в изолированную систему. Оно получило название – **закон сохранения импульса**: в изолированной системе векторная сумма импульсов

тел, входящих в эту систему, остается постоянной при любых взаимодействиях тел этой системы между собой.

Применение закона сохранения импульса дает возможность выполнять расчеты взаимодействия тел, не зная действующих между ними сил. Этот закон настолько часто применяется и выполняется в природе и технике, что его можно отнести к одному из основных законов природы.

Особый интерес представляет собой применение закона сохранения импульсов для изолированной системы, состоящей из ракеты и вытекающих из нее газов при сгорании. Ракета – аппарат, способный придать в движение без опоры (без внешней силы). Поэтому реактивный двигатель – единственный двигатель космических ракет и кораблей.

В природе реактивное движение используют некоторые животные. Например, кальмары, спруты, медузы и некоторые моллюски, передвигающиеся посредством отдачи воды, выбрасываемой ими из особых полостей тела.

1.5. Силы упругости и трения

Силы, возникающие при контакте тел, обусловлены характером взаимодействия между молекулами. Такими силами являются силы упругости и трения.

Между частицами (молекулами), входящими в состав твердого тела, действуют силы притяжения и отталкивания. Каждая частица испытывает воздействие со стороны всех соседних частиц, и ее равновесное состояние соответствует тому, что равнодействующая этих сил равна нулю. При действии внешних сил частицы смещают из первоначальных положений равновесия, при этом изменяются форма и размеры тела. Это явление носит название **деформация**. Перемещению частиц при деформации препятствуют силы взаимодействия между ними. Если сдвиг частиц был небольшим, то после прекращения действия внешней силы частицы за счет внутренних сил возвращаются в исходные положения. Деформацию такого типа называют упругой, а внутренние силы, возникающие при этом, называются упругими силами.

При продольном растяжении стержня длиной l и сечением S процесс деформации прекращается, когда упругие силы становятся равными растягивающей силе F . При этом стержень растянется на величину Δl , которая будет пропорциональна силе F

$$F = \frac{ES}{l} \Delta l, \quad (1.9)$$

где E – модуль упругости или модуль Юнга. Величина $\frac{ES}{l} = k$ называется коэффициентом жесткости. Учитывая, что сила упругости всегда направлена в сторону, противоположную деформации (приложенной силы), получим:

$$F_{\text{упр}} = -k\Delta l. \quad (1.10)$$

Соотношение (1.10) носит название **закона Гука**.

Силы трения проявляются при движении контактирующих тел или их частей относительно друг друга. Природа этих сил может быть различной, но в

результате их действия всегда происходит превращение механической энергии в энергию теплового движения их частей.

Трение, возникающее при относительном перемещении соприкасающихся твердых тел, называется **внешним**. **Внутренним трением (вязкостью)** называют явление возникновения касательных сил, препятствующих перемещению частей одного и того же тела по отношению друг к другу (трение в жидкостях и газах).

Внешнее трение между поверхностями двух соприкасающихся твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки называется **сухим**. Сухое трение бывает двух типов: **трение покоя** (или статистическое трение) и **трение скольжения**. Если к телу, находящемуся в покое, при соприкосновении с другим телом, прикладывать возрастающую силу, параллельную плоскости соприкосновения, то при изменении этой силы от нуля до некоторого предельного значения F_0 движение тела не происходит; при $F > F_0$ тело приходит в движение. Предельное значение F_0 силы трения покоя пропорционально величине N силы нормального давления тела на опору:

$$F_0 = f_0 N, \quad (1.11)$$

где f_0 - безразмерный коэффициент статического трения.

Когда тело приходит в движение, начинается скольжение тел относительно друг друга. Возникающее при этом трение называется **трением скольжения**. Сила трения скольжения пропорциональна силе N нормального давления:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N, \quad (1.12)$$

где μ - безразмерный коэффициент трения скольжения; $\mu < 1$. Сила нормального давления направлена перпендикулярно (нормально) к поверхности, вдоль которой тело движется или способно двигаться. Сила трения всегда направлена в противоположную сторону направления движения. Тело труднее сдвинуть с места, чем затем поддерживать его движение, поэтому коэффициент трения покоя f_0 больше коэффициента трения скольжения для любой пары соприкасающихся тел.

1.6. Центростремительные силы

При движении тела по окружности с радиусом кривизны R тело обладает центростремительным ускорением a_n , которое направлено к центру окружности, и его величина равна $a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$.

По второму закону Ньютона, это центростремительное ускорение вызывает центростремительная сила, приложенная к телу со стороны связей. Роль центростремительной силы могут выполнять: сила натяжения нити, сила трения, гравитационная сила и т.д.

Если связь оборвалась, то центростремительная сила исчезла и тело будет продолжать движение по инерции по направлению вектора линейной скорости в момент отрыва, т.е. по касательной к окружности. Величина центростремительной силы равна

$$F_{\text{ц.с}} = \frac{mv^2}{R} = m\omega^2 R. \quad (1.13)$$

1.7. Инерциальные и неинерциальные системы отсчета.

Силы инерции

Механическое движение относительно и его характер зависит от системы отсчета. Системы отсчета, в которых выполняется первый закон Ньютона (закон инерции), называются **инерциальными системами отсчета**. Это системы, которые либо покоятся, либо движутся, равномерно и прямолинейно относительно какой-то другой инерциальной системы.

Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением, называются **неинерциальными**. В них законы Ньютона несправедливы, однако если кроме сил взаимодействия тел друг на друга, ввести силы инерции, то законы динамики можно применять. Силы инерции обусловлены ускоренным движением системы отсчета относительно измеряемой системы: 1) при ускоренном поступательном движении системы отсчета; 2) при вращающейся системе отсчета, когда тело покоится или когда движется.

При поступательном ускоренном движении системы отсчета, например, троллейбуса при наборе скорости с остановки, его ускорение направлено вперед и на пассажиров действует сила инерции, направленная назад, т.е. пассажира, сидящего по ходу троллейбуса, сила инерции прижимает к спинке сиденья. Наоборот, при торможении троллейбуса сила инерции направлена вперед и пассажир отдаляется от спинки сиденья. Таким образом, сила инерции $F_{и}$ равна:

$$F_{и} = -m\vec{a}_c, \quad (1.14)$$

где \vec{a}_c - ускорение системы отсчета.

Если на тело со стороны связей действует сила, удерживающая тело на окружности, называемая центростремительной, то, согласно третьему закону Ньютона, тело действует на связь с такой же по величине силой, направленной от центра и называемой поэтому **центробежной силой инерции**. Следовательно, связи рвутся под действием центробежных сил. Вращая камень на нити, наша рука испытывает именно центробежную силу. Центробежная сила направлена по прямой от оси вращения и равна:

$$F_{ц.б} = -m\omega^2 R. \quad (1.15)$$

Действию центробежных сил инерции подвергаются пассажиры в движущемся транспорте на поворотах; летчики при выполнении фигур высшего пилотажа; центробежные силы инерции широко используются в технике: в центробежных насосах, сепараторах, регуляторах Уатта и т.д.

При проектировании и изготовлении быстро вращающихся деталей машин - роторов турбин, компрессоров, электродвигателей и генераторов, винтов самолетов и других - принимаются специальные меры для уравнивания центробежных сил инерции.

Если тело движется относительно вращающейся системы отсчета, то кроме центробежной силы появляется еще одна сила инерции, называемая силой Кориолиса, или кориолисовой силой инерции. Рассмотрим, как она возникает.

Возьмем диск, расположенный горизонтально, который вращается вокруг вертикальной оси. Запустим из точки O в точку A шарик со скоростью V . Если диск не вращается, то шарик будет катиться по прямой OA (рис.1).

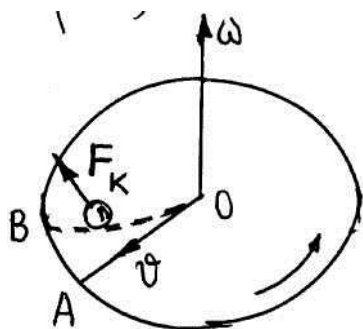


Рис.1

Если диск вращается в направлении, указанном стрелкой, то шарик будет катиться по кривой OB . Следовательно, шарик ведет себя относительно вращающейся системы отсчета так, как если бы на него действовала некоторая сила F_k , перпендикулярная к вектору скорости V . Сила F_k и есть кориолисова сила инерции, которая определяется по формуле:

$$F_k = 2m \cdot V \cdot \omega, \quad (1.16)$$

где m – масса движущегося тела, ω – угловая скорость вращающейся системы отсчета.

Земля – вращающаяся система отсчета, но идущие по поверхности Земли люди не замечают действие кориолисовой силы только потому, что ее величина мала вследствие сравнительно медленного вращения Земли. Однако именно сила Кориолиса приводит к тому, что все реки, текущие в северном полушарии Земли в самых разных направлениях, подмывают сильнее правые берега, а в южном – левые. По этой же причине ветры и морские течения в северном полушарии заворачивают направо, а в южном – в противоположную сторону.

Сила Кориолиса исчезает только в том случае, когда скорость предмета направлена вдоль оси вращения системы. Если движение происходит в перпендикулярном направлении, то сила Кориолиса максимальна.

2. Динамика вращательного движения твердого тела

В динамике вращательного движения твердого тела, помимо кинематических характеристик, вводятся две новые величины – момент силы и момент инерции. Рассмотрим твердое тело произвольной формы, имеющее ось вращения O_1O_2 и вращающееся под действием силы F . Силу F разложим на три составляющие: параллельную оси вращения $F_{||}$, перпендикулярную оси вращения F_{\perp} и касательную к окружности радиусом r F_{τ} (рис. 2).

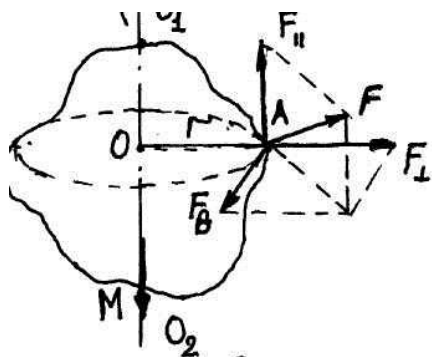


Рис.2

Силы $F_{||}$ и F_{\perp} могут вызвать лишь перемещение в направлении или перпендикулярно оси вращения, поэтому при рассмотрении вращательного движения они исключаются. Сила F_{τ} вызывает вращение тела, и ее называют **вращающей силой**. Действие вращающей силы зависит не только от ее численного значения, но и от расстояния от оси вращения до направления действия силы. Это расстояние называется плечом l , а произведение силы F_{τ} на плечо l

называется **вращающим моментом** или **моментом силы относительно оси**:

$$M = F_{\tau} \cdot l. \quad (2.1)$$

Момент силы – вектор, он направлен вдоль оси, причем векторы \vec{F}_B и \vec{M} образуют правовинтовую систему (рис.2).

2.1. Основной закон динамики вращательного движения

Пусть имеется твердое тело, которое может вращаться вокруг закрепленной оси. При этом любая точка тела будет описывать при своем движении окружность с центром, находящимся на оси вращения.

Разобьем все тело на частицы малой массы Δm_i , где i – обозначает номер частицы. К каждой такой частице применим второй закон динамики:

$$F_i = \Delta m_i \cdot a_i = \Delta m_i \cdot \varepsilon \cdot r_i,$$

где a_i - касательное ускорение, ε - угловое ускорение, r_i - радиус окружности для i -го тела. Вращающий момент i -го тела равен

$$M_i = F_i r_i = \Delta m_i \cdot r_i^2 \cdot \varepsilon.$$

Сумма вращающих моментов, действующих на каждую частицу тела, определяет момент внешней силы F_δ :

$$M = \varepsilon \cdot \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2.$$

Величину $\sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2$ обозначают символом J и называют моментом инерции твердого тела:

$$J = \sum_{i=1}^n \Delta m_i r_i^2, \quad (2.2)$$

тогда вращающий момент, действующий на твердое тело относительно закрепленной оси, запишется в виде:

$$M = J\varepsilon. \quad (2.3)$$

Уравнение (2.3) выражает основной закон динамики вращательного движения.

Если тело сплошное и однородное, оно представляет собой совокупность множества точек с бесконечно малыми массами dm и момент инерции тела определяется интегралом по всему объему

$$J = \int r^2 dm. \quad (2.4)$$

Момент инерции тела зависит от того, относительно какой оси вращается тело. Наиболее просто осуществить интегрирование уравнения (2.4) для случаев, когда ось вращения проходит через центр тяжести тела.

Приведем ряд формул для моментов инерции некоторых тел:

1) момент инерции точечного тела с массой m , расположенного на расстоянии r от оси:

$$J = mr^2; \quad (2.5)$$

2) момент инерции однородного тонкого обруча, кольца, тонкостенного цилиндра относительно оси симметрии:

$$J = mR^2, \quad (2.6)$$

где R – радиус обруча, кольца, цилиндра;

3) момент инерции однородного сплошного шара радиусом R относительно оси, проходящей через центр шара:

$$J = \frac{2}{5} mR^2; \quad (2.7)$$

4) момент инерции однородного стержня относительно оси, проходящей через середину стержня, перпендикулярно к его длине l :

$$J = \frac{1}{12} ml^2; \quad (2.8)$$

5) момент инерции однородного сплошного диска радиусом R относительно оси, проходящей через центр его симметрии:

$$J = \frac{mR^2}{2}. \quad (2.9)$$

Если известен момент инерции J_0 данного тела относительно оси, проходящей через центр тяжести этого тела, а необходимо найти момент инерции J относительно параллельной оси, проведенной на расстоянии a от оси, проходящей через центр тяжести, то можно воспользоваться **формулой Штейнера**:

$$J = J_0 + ma^2. \quad (2.10)$$

2.2. Закон сохранения момента импульса

При вращательном движении двух тел при их взаимодействии выполняется третий закон Ньютона для моментов сил (вращающих моментов):

$$\vec{M}_{12} = -\vec{M}_{21}, \quad (2.11)$$

где M_{12} – вращающий момент, действующий со стороны первого тела на второе, M_{21} – вращающий момент, действующий со стороны второго тела на первое.

При вращающем моменте M угловое ускорение, если начальная угловая скорость была ω_0 , а через промежуток времени $\Delta\tau$ стала ω , равно

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta\tau},$$

и уравнение (2.3) примет вид

$$M = J \frac{\omega - \omega_0}{\Delta\tau},$$

или

$$M\Delta\tau = J\omega - J\omega_0. \quad (2.12)$$

Величина $M\Delta\tau$ называется **импульсом момента сил** (или импульсом вращающего момента), а величина, равная произведению момента инерции тела J на его угловую скорость, – **моментом импульса**.

Если два вращающихся тела взаимодействуют друг с другом в течение времени $\Delta\tau$, то импульсы моментов сил, действующих на тела, равны и противоположны по направлению:

$$M_{12} \cdot \Delta\tau = -M_{21} \cdot \Delta\tau.$$

Тогда согласно уравнению (2.12) можно записать

$$J_1(\omega'_1 - \omega_1) = -J_2(\omega'_2 - \omega_2), \quad (2.13)$$

где J_1 и J_2 – моменты инерции первого и второго тела, ω_1 и ω_2 – соответствующие их угловые скорости до взаимодействия, ω'_1 и ω'_2 – после взаимодействия. Преобразуем уравнение (2.13) к виду

$$J_1\omega_1 + J_2\omega_2 = J_1\omega'_1 + J_2\omega'_2. \quad (2.14)$$

Отсюда следует, что сумма моментов импульсов тел до и после взаимодействия равны.

Полученный результат будет справедлив для любой системы взаимодействующих тел, если внешние силы отсутствуют (изолированная система). Тогда

$$\sum_{i=1}^n J_i \omega_i = const. \quad (2.15)$$

Это равенство выражает **закон сохранения момента импульса**: если суммарный момент всех внешних сил, действующих на систему тел относительно произвольной неподвижной оси, равен нулю, то векторная сумма моментов импульсов тел системы не изменяется с течением времени.

3. Задачи и вопросы

1. **Разрыв провода.** Между двумя опорами натянут провод. К середине провода подвешивается тяжелый груз. В каком случае вероятность разрыва провода больше: когда провод провисает или натянут почти горизонтально?

2. **Застрявший автомобиль на лесной дороге.** Легковой автомобиль застрял в грязи на лесной дороге. Водитель, имея в распоряжении очень длинный веревочный трос, сумел вытащить из грязи автомобиль без посторонней помощи. Как он сумел это сделать?

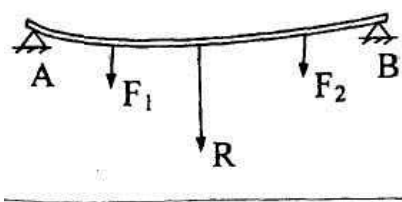


Рис. 3

3. **Прогиб доски.** К доске, лежащей на опорах A и B, приложены силы F_1 и F_2 (рис.3). Изменится ли прогиб доски, если заменить эти силы их равнодействующей R, приложенной к центру доски?

4. **Равновесие проволоки.** Кусок однородной проволоки, подвешенной на нити за середину, находится в равновесии в горизонтальном положении. Останется ли проволока в равновесии, если один конец куска согнуть?

5. **Равновесие рычагов.** Два рычага находятся в равновесии (рис.4). На первом уравновешены два груза из одного материала, массы которых равны $2m$ и m , на втором – два разных по массе груза, которые также равны $2m$ и m , но имеют одинаковый объем. Нарушится ли равновесие рычагов, если погрузить их в воду?

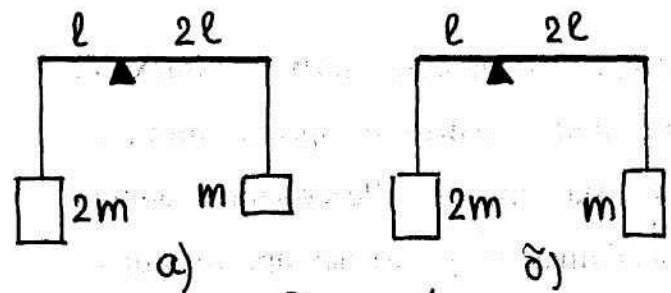


Рис. 4

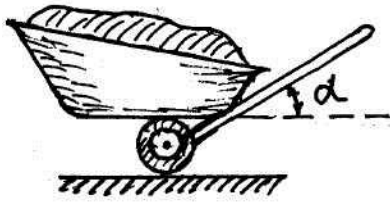


Рис. 5

6. **Как перемещать тачку?** Рабочий перевозит на тачке (рис.5) песок. Один раз тянет тачку с грузом за собой, другой раз толкает ее впереди себя. Ручка тачки в обоих случаях составляет один и тот же угол с горизонтом. В каком случае рабочий должен прилагать большую силу для передвижения тачки?

7. **Как встать со стула?** Если вам скажут, что вы не сможете встать со стула, вы этому вряд ли поверите. Но при этом вам будет поставлено следующее условие: необходимо сесть на стул и, держа спину прямо, не пододвигая ноги под стул, попробовать встать. Никакие усилия мускулов не помогут вам встать, пока вы не подвините ноги под стул или не подадитесь корпусом тела вперед. Что является причиной такого парадокса?

8. **Как сдвинуть с места вагон?** Как легче сдвинуть с места железнодорожный вагон: прилагая силу к корпусу вагона или прилагая ее к верхней части обода колеса?

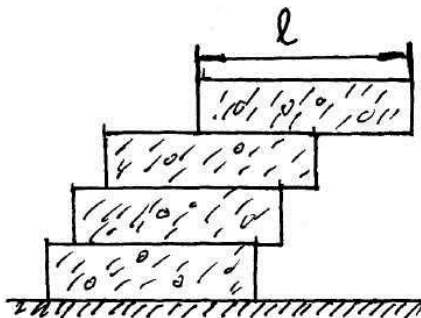


Рис. 6

9. **Как выложить карниз?** Каменщик выкладывает карниз здания из четырех кирпичей. Кирпичи положены один на другой так, что часть каждого кирпича выступает над нижележащим (рис. 6). Определить наибольшие длины выступающих частей кирпичей, при которых кирпичи в карнизе еще будут находиться в равновесии без раствора. Длина каждого кирпича равна l .

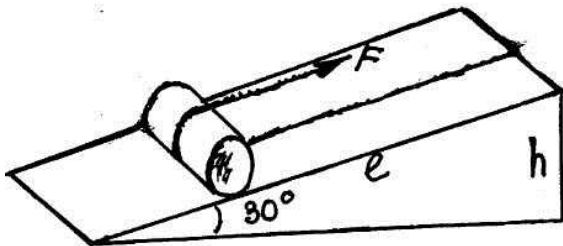


Рис. 7

10. **Подъем бочки по наклонной плоскости.** По наклонной под углом 30° плоскости два человека закатывают тяжелую бочку в кузов грузовика. Сможет ли один человек закатить такую же бочку при помощи веревки, как показано на рис.7? Какой выигрыш в силе получается при таком подъеме?

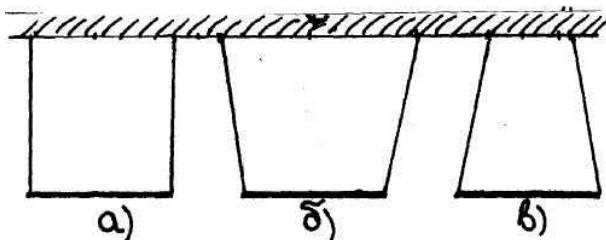


Рис. 8

11. **Как подвешивать качели?** Качели можно подвешивать тремя способами (рис.8). При каком способе подвешивания качелей веревки будут испытывать наименьшее напряжение?

12. **Вес гири больше предела измерения динамометра.** Динамометр (или силомер) – прибор для измерения силы. Простейший (пружинный) динамометр предназначен в основном для измерения веса тела. Вес тела определяется по величине растяжения пружины. В быту такой прибор называют пружинными весами.

жинными весами или безменом. Можно ли с помощью пружинных весов, рассчитанных на 200 Н, взвесить двухпудовую гирию? Если можно, то как это сделать?

13. Трехкратный выигрыш в силе. Как необходимо соединить подвижный и неподвижный блоки, радиусы которых отличаются в два раза, чтобы получить выигрыш в силе в три раза? Трением и массой блоков можно пренебречь.

14. Часы в космическом корабле. В космическом корабле при наличии состояния невесомости какими часами следует измерять время: маятниковыми, песочными или пружинными?

15. Гибкая пружина. Гибкая легкая пружина с небольшой жесткостью удерживается за один конец. Затем пружину отпускают, и она начинает свободно падать в вертикальном положении. В каком случае пружина будет длиннее: когда висит или когда падает?

16. Сила давления в полете. Человек прыгает со стола, держа в руках тяжелую гирию. С какой силой гирия давит на руку человека в то время, когда он находится в воздухе?

17. Сила тяжести днем и ночью. На все тела на Земле действует сила притяжения Солнца. Ночью, когда Солнце находится под ногами, эта сила складывается с силой притяжения Земли; днем, когда Солнце находится над головой, - из нее вычитается. Следовательно, ночью все тела должны быть тяжелее, чем днем. Верно ли такое утверждение?

18. Период вращения Луны. Если бы произошел невероятный случай, в результате которого масса Луны увеличилась, а вращение продолжалось по той же орбите, то каков бы стал период вращения Луны?

19. Бег на экваторе и полюсе. Если устроить соревнования в беге на 1 километр в двух точках Земли – на экваторе и на полюсе, то где легче было бы бежать? При этом будем считать, что соревнования проводятся при равных условиях, например, в закрытом помещении?

20. Тонна дерева или тонна железа. Что тяжелее – тонна дерева или тонна железа? Глупый вопрос – скажут одни и ответят, что тонна железа и тонна дерева равны. Другие скажут, что тонна железа тяжелее тонны дерева. А некоторые (их, вероятнее всего, будет меньшинство), скажут, что тяжелее тонна дерева. Так кто же все-таки прав?

21. Вес шариков в ящике. В ящик большого размера насыпали мелкие шарики одинакового размера. В другой, точно какой же ящик насыпали более крупные шарики одинакового диаметра. Какой из ящиков окажется тяжелее: с мелкими шариками или с крупными?

22. Размеры слона. Среди современных млекопитающих, которые обитают на Земле, африканские слоны имеют самые большие размеры. У некоторых из них длина тела доходит до 7,5 м, высота до 4 м и масса до 7,5 т. Обычные места обитания – леса и саванны, расположенные недалеко от воды. Питаются слоны только растениями (листьями, плодами, корой, корнями). Передвигаются обычно шагом, бегать могут только на короткие дистанции. Млекопи-

тающие более крупных размеров, чем слоны, обитают в морях и океанах – это китообразные. У голубого кита, например, тело достигает 33 м, а масса 150 т.

Если сравнивать слонов с более мелкими животными, имеющими примерно такие же внешние формы, то можно заметить, что в строении скелета не сохраняются пропорции. У мелких животных относительно тонкие кости, у слона они отличаются массивностью – мощные толстые кости ног, мощные кости позвоночника. Кроме того, если брать толщину костей по отношению к размеру тела, то у слона она явно больше, чем у мелких животных.

Итак, слоны – самые крупные животные, которые могут передвигаться по поверхности Земли. В связи с этим возникает несколько вопросов. Первый вопрос напрашивается сам собой: почему на суше нет животных крупнее слона? Продолжением первого вопроса являются два следующих: почему крупные животные не бывают грациозными? Почему слон такой флегматичный, а собака, например, очень подвижна? И наконец, почему более крупные животные, чем слон, обитают в морях и океанах?

23. Высота деревьев. Высота деревьев зависит от многих факторов: породы, возраста, характера почвы, степени затемненности, климатических условий. Однако в любом случае она не может быть сколь угодно большой. Высота большинства деревьев составляет примерно 20-25 м. Самыми высокими деревьями на Земле являются эвкалипты – их высота достигает 100 м. Но это уже предел – выше деревья не растут. Почему же деревья не растут до небес?

24. Скорлупа яйца. Уже много лет строители внимательно изучают конструкции, которые встречаются в живой природе. Поражает сочетание прочности и легкости, характерные для этих конструкций. Возьмем скорлупу обыкновенного куриного яйца. Несмотря на очень малую толщину (около 0,3 мм), скорлупа яйца очень прочная. Каждый при желании может убедиться, что не так-то легко раздавить яйцо между ладонями, нажимая на его выпуклые концы. Яйцо легко выдерживает тяжесть тела курицы-наседки, и в то же время легко разрушается, когда клювик слабого птенчика ударяет по скорлупе изнутри. Как объяснить такую разницу в прочности?

25. Вес летом и зимой. Если взять килограммовую гирию и произвести взвешивание на точных весах летом, затем ту же гирию взвесить зимой на тех же весах, то в какое время года вес килограммовой гири будет больше?

26. Вес тела в глубине Земли. Сила гравитационного притяжения тела к Земле по мере увеличения расстояния от земной поверхности убывает. Следовательно, при приближении тела к центру нашей планеты вес его, по-видимому, должен возрастать, а в центре Земли стать равным бесконечности. На самом деле с углублением в Землю тела уменьшаются в весе. Почему?

27. Вереvoчный гамак. Вереvoчный гамак сплетен из тонких и твердых шнуров. Однако почему не жестко лежать на таком гамаке?

28. Вес на пружинных весах. Если встать на пружинные весы, то стрелка покажет некоторый вес. Затем очень резко поднимаем руки вверх и очень быстро возвращаем их вниз на исходное положение. Казалось бы, от этого вес тела не изменится. Стрелка весов, однако, показывает обратное: в первом слу-

чае (при подъеме рук) наблюдается увеличение, во втором (при опускании рук) – уменьшение веса. Объясните это явление.

29. **Вес песчинок в воздухе.** На одной из чашек очень точных рычажных весов стоят песочные часы, уравновешенные гирей. Песок начинает пересыпаться из верхней половины в нижнюю. В каждый момент времени определенное число песчинок находится в воздухе и не оказывает давления на дно нижнего сосуда. Значит, песочные часы должны во время пересыпания песка весить меньше, чем тогда, когда весь песок уже находится в нижнем сосуде. В действительности же часы все время весят одинаково. Чем это объяснить?

30. **Взвешивание птицы.** Закрытый стеклянный колпак с птицей помещен на чашку весов. Пока птица стоит, весы уравновешивают гирями. Если птица взлетит и будет парить внутри колпака, весы должны выйти из равновесия, так как давление птицы на чашку весов станет меньше. Так ли это в действительности?

31. **Трение скольжения.** Во время движения одного тела относительно другого при трении скольжения происходит разрушение зацепившихся друг о друга выступов шероховатостей на соприкасающихся поверхностях. Для уменьшения трения необходимо делать соприкасающиеся поверхности тел возможно более гладкими. Однако, как показывает опыт, целесообразно уменьшать шероховатости этих поверхностей лишь до определенного предела. Дальнейшее уменьшение шероховатостей приводит не к уменьшению, а к возрастанию сил трения. Почему?

32. **Кто кого тянет?** Силой, движущей поезд, является сила трения колес тепловоза (электровоза) о рельсы, а сила трения между рельсами и колесами вагонов является тормозящей. Но колеса тепловоза и вагонов сделаны из одного и того же материала, а вес вагонов гораздо больше веса тепловоза. Почему же тепловоз в состоянии двигать состав?

33. **Угол наклона шероховатой поверхности.** Как определить угол наклона шероховатой поверхности, имея в наличии деревянный брусок и динамометр?

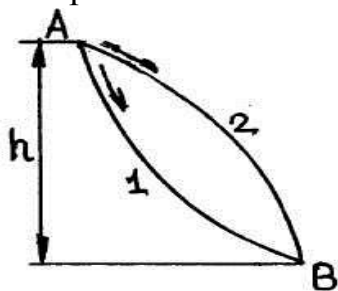


Рис. 9

34. **Тело на наклонной плоскости.** Два абсолютно одинаковых тела одновременно начинают соскальзывать из точки А в точку В по двум дугам А1В и А2В (рис. 9) с одинаковыми радиусами кривизны. Какое тело соскользнет раньше, если коэффициент трения в обоих случаях одинаков?

35. **Капли дождя.** На падающую каплю дождя действуют две силы: постоянная сила тяжести, под действием которой капля вначале движется с ускорением, и сила сопротивления, которая растет с увеличением скорости падения. Сила сопротивления растет до тех пор, пока не станет равной силе тяжести. С этого момента изменение скорости прекращается, и далее капля начинает дви-

гаться с постоянной скоростью. Скорость падения зависит от размера капель. Какие капли дождя падают быстрее – крупные или мелкие? И почему?

36. **Падающий шар.** Два шара одинакового диаметра падают с одинаковой высоты. Один шар изготовлен из алюминия, второй – из стали. Какой шар упадет на Землю раньше?

37. **Парашют.** После раскрытия парашюта скорость падения парашютиста уменьшается, так как увеличивается сила сопротивления воздуха, и через некоторое время она становится постоянной. Чему равна действующая на парашют сила сопротивления воздуха, когда парашютист опускается с постоянной скоростью?

38. **Сила сопротивления воздуха при падении парашютиста.** После отделения от самолета парашютист падает с ускорением. По мере увеличения скорости растет сила сопротивления воздуха, которая пропорциональна скорости падения тела, а при больших скоростях пропорциональна скорости в квадрате (см. «Сопротивление воздуха»). Чему равна максимальная сила сопротивления?

39. **Полет бомбы.** С самолета, летящего горизонтально с постоянной скоростью, сбрасывается бомба. Где будет находиться самолет, когда бомба достигает цели? Впереди или сзади точки падения бомбы?

40. **Легче удерживать или двигать?** Состояние покоя и прямолинейного равномерного движения – это, в принципе, одинаковые состояния. Все зависит от системы отсчета. Если санки удерживать на склоне снежной горки или двигать их по нему равномерно, то затрачивать придется одинаковое усилие. Так ли это?

41. **Груз в кузове автомобиля.** На середину кузова грузового автомобиля поставлен груз. Автомобиль трогается с места. Какая сила действует на груз в этот момент? Куда она направлена? Какая сила действует на груз при остановке?

42. **Гвоздь в бревне.** Почему крепко засевший в бревне гвоздь легче вытащить, если при вытаскивании одновременно вращать его вокруг собственной оси?

43. **Коэффициент трения стержня шариковой ручки.** Если нажимать

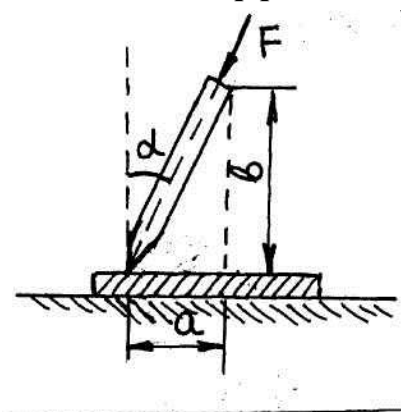


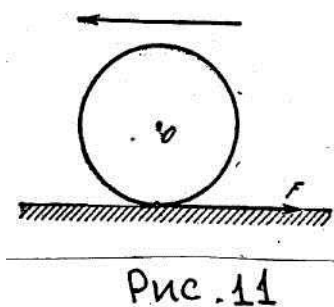
Рис 10

пальцем на верхний конец шариковой ручки (или карандаша), опирающуюся на твердую поверхность листа бумаги, одновременно наклоняя ее, то, пока ручка образует небольшой угол с перпендикуляром к поверхности (рис. 10), она будет послушно следовать за пальцем руки. Как только угол наклона ручки превысит некоторое максимальное значение $\alpha_{\text{макс}}$, она выскользнет из-под пальца, как бы сильно ни нажимать на нее. Проведите этот простой эксперимент и оцените коэффициент трения между шариком ручки и поверхностью, на которую она опирается.

44. **Монета, катящаяся по поверхности.** Если монету поставить на горизонтальную поверхность ребром и привести в движение, то вначале катящаяся по поверхности монета, находясь в вертикальном положении (без наклона), движется по прямой, а затем, наклоняясь, начинает двигаться криволинейно. Почему это происходит?

45. **Удары по бильярдному шару.** Те, кто наблюдал за игрой в бильярд, обращали внимание на различные удары, которые производят профессиональные игроки. Три самых простейших удара производят в центр шара, по верхней и нижней частям шара. Во всех случаях сила удара одинаковая, а характер движения будет разный. При ударе кием по нижней части бильярдного шара он будет двигаться замедленно, а при ударе по верхней части – первое время ускоренно. Центральный удар приведет к равномерному движению. Почему при одинаковой силе удара шары движутся по-разному?

46. **Автомобиль при торможении.** Быстро движущийся автомобиль тормозит перед светофором. Если внимательно наблюдать за поведением автомобиля со стороны, то можно заметить, что передняя часть автомобиля в момент торможения опускается вниз. Почему это происходит?



47. **Диск катится по поверхности.** По горизонтальной плоскости катится круглый диск (рис.11). Так как сила трения F направлена вправо, то скорость диска будет уменьшаться. Но момент этой силы относительно центра диска O направлен против часовой стрелки, и, следовательно, скорость вращения диска должна увеличиваться. Как разрешить полученное противоречие?

48. **Трение шин автомобиля.** Современный автомобиль – это сложная машина, созданная трудом большого числа работников различных отраслей науки и техники многих стран. Основное назначение автомобиля – транспортировка людей и грузов с заданной эффективностью по экономичности, экологичности и безопасности. Основными энергетическими установками автомобиля являются двигатель внутреннего сгорания или дизельный двигатель, в которых происходит преобразование энергии сгорания топлива в механическую работу. Для оценки потребностей мощности и расхода топлива автомобилями необходимо иметь представление о факторах, влияющих на работу автомобиля, и это поможет водителю усовершенствовать свое управление автомобилем и научит экономить топливо. Первым фактором и чуть ли не основным, влияющим на мощность двигателя, является трение шин о дорогу. Оцените, каким должен быть коэффициент трения шин о дорогу для легкового автомобиля массой 1 т, который разгоняется до 100 км/ч за 10 с.

49. **Соппротивление воздуха.** Когда автомобиль трогается с места, мощность двигателя расходуется на преодоление сил трения шин о дорогу (см. «Трение шин автомобиля»), на преодоление сопротивления воздуха и на движение с ускорением. При движении с постоянной скоростью мощность расходуется на трение шин и сопротивление воздуха. Другие источники потерь мощности, такие как трение в подшипниках и тепловые потери в шинах, зависят

главным образом от числа оборотов двигателя; эти потери остаются примерно постоянными при любой скорости. Что касается сопротивления воздуха при движении автомобиля (и любых тел), то оно начинает очень сильно проявляться при высоких скоростях. Попробуйте оценить мощность, затрачиваемую на преодоление сопротивления воздуха, и силу сопротивления.

50. Заклинивание колес автомобиля. Если возникает необходимость быстро остановить автомобиль, следует ли резко нажимать на педаль тормоза, и, следовательно, заклинивать колеса?

51. Скорость капель дождя. Скорость падения капель дождя определяется размерами. С большей скоростью падают крупные капли (см. ответ к задаче 35). Оцените эту скорость падения дождевых капель. Как она зависит от высоты, на которой находятся тучи?

52. Трение дерева по дереву. Имеется березовая доска длиной меньше одного метра и березовый кубик. Как с помощью только метровой линейки определить коэффициент трения кубика по доске?

53. Трение деревянного бруска. Имеется деревянный брусок в виде прямоугольного параллелепипеда, у которого одно ребро значительно превышает два других. Как с помощью одной линейки определить коэффициент трения бруска о поверхность пола в комнате?

54. Как барон Мюнхгаузен вытащил себя из болота? По достоверным сведениям из рассказа барона Мюнхгаузена, он, однажды увязнув в болоте, вытащил себя и лошадь за волосы. Какие законы физики сумел нарушить барон?

55. По примеру Мюнхгаузена. В предыдущем вопросе мы пришли к выводу, что барон Мюнхгаузен не мог вытащить себя вместе с лошадью из болота за волосы. Но разве не так поступает велосипедист, желая въехать на тротуар или какое-либо возвышение? Ведь в тот момент, когда переднее колесо велосипедиста подходит к кромке тротуара, велосипедист подтягивает руль к себе. При этом передняя часть велосипеда поднимается, и он без толчка въезжает с проезжей части улицы на тротуар. Почему же то, что не могло удасться барону Мюнхгаузену, выполняет велосипедист?

56. Движущийся стул. Как известно, движение центра масс тела может измениться только под действием приложенной к нему внешней силы, однако вы можете проехать через комнату на стуле, не касаясь пола ногами. Как это сделать и чем же обусловлена в этом случае внешняя сила?

57. Разрыв поезда. Когда неопытный машинист тепловоза или электроваза резко трогает железнодорожный состав с места, то при этом иногда сцепки между вагонами разрываются. Почему, в каком месте состава и при каких условиях чаще всего может происходить разрыв сцепок?

58. Как трогается железнодорожный состав? Чтобы сдвинуть с места тяжелый железнодорожный состав, опытный машинист сначала дает задний ход, подавая состав немного назад, а потом уже дает передний ход. Почему таким способом легче стронуть состав с места?

59. Рукоятка молотка. Какими способами насаживают молоток на рукоятку, а лопату или вилы на черенок? Эти способы применял человек испокон

веков, не задумываясь о том, почему так. Объясните, что происходит в этих случаях?

60. Пружина между тросом и крюком. При подъеме очень тяжелых в несколько тонн грузов в подъемных кранах между тросом и крюком, к которому подвешивается груз, иногда ставится пружина. Почему необходимо ставить пружину при подъеме тяжелых грузов и что это дает?

61. Человек на зимней дороге. В зимнее время люди получают травмы при различных падениях, особенно на скользкой дороге. Для того, чтобы избежать падения, наиболее опасные участки посыпают песком. Но не всегда такая «операция» дает положительный результат. Быстро идущий человек, переходя с посыпанного песком участка на скользкую дорогу, может упасть назад (на спину), а при переходе со скользкой дороги на посыпанную песком - наклоняется вперед и может потерять равновесие. Почему это происходит?

62. Молотки. При работе молотком частенько не задумываются о том, каким молотком необходимо пользоваться при выполнении той или иной работы. Каким молотком – легким или тяжелым – должен пользоваться скульптор для работы с долотом при создании скульптуры из камня или гранита? Каким молотком лучше забивать гвозди? Когда упругий удар (с отдачей молотка) выгоднее неупругого? Тяжелее или легче должен быть копер для забивания свай? Каким молотком – легким или тяжелым – лучше пользоваться при ковке металла?

63. Наклон самолета и корабля на повороте. Самолет при повороте наклоняется в сторону поворота, а корабль – в противоположную сторону. Почему?

64. Предмет на листе бумаги. На гладком столе лежит лист плотной бумаги, на нем стоит гиря. Каким образом можно вытянуть бумагу из-под гири, не придерживая ее?

65. Абсолютно честное соревнование. Два друга отправились кататься по озеру в тихую безветренную погоду на двух совершенно одинаковых по форме и размерам лодках. Во время прогулки решили устроить соревнование на скорость. Желая сделать поединок абсолютно честным, приятели решили распределить имеющуюся у них поклажу таким образом, чтобы вес обеих лодок был одинаковым.

Как удалось выполнить свое намерение, пользуясь оказавшейся у них длинной веревкой?

66. Ускорение поезда. Трогаясь со станции, поезд некоторое время движется практически равноускоренно. Как определить величину ускорения в этот период с помощью нити, стограммовой гири и линейки?

67. Рыбак в лодке. Рыбак в лодке держит один конец каната, а второй бросает рыбаку, стоящему на берегу. Рыбак на берегу начинает тянуть канат, при этом лодка, естественно, движется к берегу. Затем лодку возвращают в исходное положение, и теперь оба рыбака тянут канат в противоположные стороны. Если рыбаки прилагают одинаковые усилия в обоих случаях и затрачивают одинаковое время, то в каком из указанных случаев лодка пройдет большее расстояние?

68. **Перетягивание каната.** В хорошо известной забаве по перетягиванию каната участвует 8 человек, по 4 с каждой стороны. Изменится ли сила натяжения каната, если один конец привязать к столбу, а второй конец будут тянуть все 8 человек?

69. **Трение на вращающемся диске.** Если поставить деревянный кубик на шероховатый диск близко к оси вращения, то он будет вращаться вместе с диском. Если же расстояние до оси вращения будет большим, кубик, как правило, сбрасывается с диска. Как определить коэффициент трения дерева, из которого изготовлен кубик, о поверхность диска с помощью одной лишь линейки, зная число оборотов диска в минуту?

70. **Равновесие масс тел.** Имеется набор гирек от 100 г до 1 кг и линейка с делениями. Как с их помощью определить приближенную массу некоторого тела, если она не особенно сильно отличается от массы одной из гирек?

71. **Фехтование на палках.** Каким местом при фехтовании палками нужно ударять их друг о друга, чтобы не чувствовать отдачу? Палку держат одной рукой за ее конец. Длина палки в два раза больше длины руки от плеча до кисти.

72. **Направление вращения платформы.** На вращающейся круглой платформе стоит человек. Платформа со всех сторон закрыта, так что окружающие предметы не видны. Как узнать направление движения платформы с помощью небольшого стального шарика?

73. **Устойчивое вращение книги.** Если перевязать книгу с твердым переплетом резинкой или тонким шнуром, чтобы она не раскрывалась, и подбросить ее несколько раз вверх, чтобы она вращалась последовательно вокруг различных осей, то вращение вокруг каких осей будет наиболее устойчивым?

74. **Направление вращения ротора электродвигателя кофемолки.** Можно ли, не разбирая электрическую кофемолку, определить направление вращения ротора ее электродвигателя?

75. **Шины большого диаметра.** Для того, чтобы автомобиль двигался быстрее, решили на колеса поставить шины большого диаметра. Будет ли автомобиль в этом случае двигаться быстрее?

76. **Походка курицы и утки.** Утка при ходьбе переваливается с боку на бок, а курица нет, хотя шаг у курицы и утки примерно одинаков. Почему у курицы и утки разная походка?

77. **Аэростат с веревочной лестницей.** К свободному аэростату, находящемуся в покое, масса которого равна M , привязана веревочная лестница. На лестнице находится человек массой m . Что произойдет с аэростатом, если человек начнет равномерно подниматься по лестнице со скоростью v_0 ? С какой скоростью и в каком направлении будет перемещаться аэростат?

78. **Сила удара.** Два шарика, один стальной, другой пластилиновый, одинаковой массы, производят удар о стенку с одинаковой скоростью. Какой шарик действует на стенку с большей силой?

79. **Удар теннисной ракеткой.** При игре в большой теннис один спортсмен совершает удар ракеткой по мячу, второй, принимающий подачу, делает ракеткой встречный удар с таким же усилием, как и первый. Какой максималь-

ной скорости может достичь мяч при встречном упругом ударе по сравнению с первоначальной скоростью?

80. **Парусная лодка.** В безветренную погоду решили привести в движение парусную лодку потоком воздуха от мощного вентилятора, находящегося в лодке. Можно ли разогнать лодку таким способом? Что получится, если дуть мимо паруса?

81. **Бросок камня.** На берег реки бросают камень один раз с нагруженной баржи, другой раз – с легкой надувной резиновой лодки. Если бросок сделан с одинаковым усилием, то в каком случае камень полетит дальше?



Рис. 12

82. **Горка с одинаковыми телами.** Горка 1 с закрепленными на ней телами 2 и 3 покоится на идеально гладкой горизонтальной поверхности (рис. 12). Горка и оба тела имеют одинаковую массу. Сначала с горки соскальзывает тело 2. После соскальзывания тела 2 начинает соскальзывать тело 3. В каком направлении поедет горка и с какой скоростью после соскальзывания обоих тел, если пренебречь трением и сопротивлением воздуха?

83. **Идеально гладкая поверхность.** Представьте себе, что вы находитесь в центре горизонтальной площадки, на которой отсутствует трение, например на идеально гладком катке. Как бы вы смогли сойти с этой площадки?

84. **У кого больше скорость?** Братья стоят на коньках на гладком льду. Старший брат толкает младшего, и они начинают катиться в противоположные стороны, но младший с заметно большей скоростью, чем старший. «Давай теперь я толкну тебя», - говорит младший. Вопреки ожиданиям он снова едет с большей скоростью, чем старший брат, причем во столько же раз больше, что и в первый раз. Почему так происходит?

85. **Бег по резиновой ленте.** Человек решил бежать по резиновой замкнутой ленте, натянутой на двух горизонтальных роликах, трение в осях которых равно нулю. На первый взгляд кажется, что это невозможно: человек не может передать импульс ни ленте, ни роликам, так как их полный импульс равен нулю. Следует ли из этого, что человек останется на месте?

86. **Облучение кристалла нейтронами.** При облучении тонкой кристаллической пластинки потоком нейтронов с ее поверхности, противоположной бомбардируемой, вылетают атомы, причем направление вылета зависит только от ориентации атомов в кристалле и не зависит от направления потока нейтронов. Объясните это явление.

87. **Опытный игрок в мяч.** Опытный игрок в мяч, ловя мяч, расслабляет руки и слегка подается назад вместе с мячом. Зачем?

88. **Реактивный двигатель.** В реактивном двигателе тяга создается реакцией (отдачей) вытекающего из него рабочего тела. В прочной камере сгорания сжигается горючая смесь; продукты сгорания, имеющие чрезвычайно большую скорость (3000 м/с при сжигании водорода в кислороде, несколько меньше для других видов топлива), выбрасываются через плавно расширяюще-

еся сопло, противоположное движению. Даже сравнительно небольшие количества продуктов сгорания при таких скоростях создают в двигателе большой импульс. С созданием реактивных двигателей люди получили реальную возможность осуществлять полеты в любой газовой среде и даже в безвоздушном пространстве.

В каких известных вам устройствах используются реактивные двигатели?

89. Двигатель на гоночном автомобиле. На некоторых европейских гоночных автомобилях двигатель стоит не спереди и не сзади, а посередине. В Европе гонки иногда проходят прямо на улицах городов, поэтому гонщику то и дело приходится поворачивать автомобиль на большой скорости. Какое преимущество имеет расположение двигателя в центре?

90. Как перемещаются кальмары и медузы? Среди обитателей рек, морей и океанов есть много беспозвоночных животных; в первую очередь это головоногие моллюски (осьминоги, кальмары и каракатицы) и медузы. Моллюски имеют торпедообразное туловище со щупальцами от 2 см до 18 м. У медуз - тело в виде колокола или зонтика и по краям зонтика щупальцы до 30 см длиной. У всех этих животных, в отличие от рыб, отсутствуют плавники и хвост, с помощью которых рыбы перемещаются в воде.

А как и с помощью чего перемещаются в воде головоногие моллюски и медузы?

91. Вращение фигуриста. Почему, прижимая руки к телу, фигурист на льду начинает вращаться быстрее? Почему гимнаст, выполняя сальто, в начальной фазе полета сгибает колени и прижимает их к груди?

92. Поворот космонавта. Космонавт находится в состоянии невесомости, свободно «плавает» в космической станции. Каким образом он может повернуться на 180° вокруг продольной оси?

93. Вращение обруча. Металлический обруч вращается вокруг оси, проходящей через центр тяжести. Изменится ли его угловая скорость, если повысить температуру окружающей среды?

94. Падающая кошка. Всем известно, что если бросить кошку вверх ногами, она все равно приземлится на лапы. Даже бесхвостые кошки обладают этой загадочной способностью. Но если момент внешних сил равен нулю, то момент импульса кошки должен сохраняться. А если это так, то каким образом кошка переворачивается в процессе падения на 180° ?

4. Подсказки

1. Приложенную к проводу силу можно разложить на две составляющие, направленные вдоль провода.

2. Смотрите подсказку к задаче № 1.

3. Прогиб доски зависит от действующих сил и их точки приложения.

4. Для равновесия тела необходимо, чтобы сумма моментов всех сил относительно оси вращения была равна нулю.

5. На тело, погруженное в жидкости, действует сила Архимеда, которая определяется весом вытесненной телом жидкости.

6. Сила нормального давления на почву является результирующей силы тяжести и силы тяги.
7. Чтобы тело стояло устойчиво, вертикальная линия, проведенная через центр тяжести, должна проходить через основание тела.
8. Колесо вагона, как и любое другое колесо, при передвижении вращается вокруг точки касания с опорой.
9. Для равновесия необходимо, чтобы центр тяжести вышележащих кирпичей находился на продолжении линии среза нижележащего кирпича.
10. Наклонная плоскость дает выигрыш в силе и перекинута веревка дает также выигрыш в силе.
11. Сила натяжения нити – величина векторная.
12. Необходимо применить разложение сил с помощью подвижного блока, роль которого выполняет гиря.
13. Один блок должен быть неподвижным, второй – подвижным.
14. В космическом корабле наблюдается невесомость.
15. При свободном падении все части тела двигаются с одинаковым ускорением.
16. Все тела, находящиеся в полете, двигаются с одинаковым ускорением.
17. Груз и весы, с помощью которых производят взвешивание, двигаются с одинаковым ускорением.
18. Период времени на орбите определяется линейной скоростью движения.
19. Вес тела меняется в зависимости от географической широты.
20. На тело, погруженное в жидкость или газ, действует сила Архимеда.
21. Следует рассмотреть соотношение заполненного и незаполненного объемов ящика.
22. Увеличение веса животного приводит к повышению нагрузки на кости (не всегда пропорционально весу), а прочность костей не беспредельная.
23. Чем больше высота дерева, тем больше нагрузка на нижнее сечение основания дерева.
24. Приложенное усилие, действующее на выпуклые поверхности, можно разложить на две или три составляющие.
25. Солнце в разные времена года находится от Земли на различных расстояниях.
26. На глубине Земли притягивающие части земного шара находятся по разные стороны от тела.
27. Сила тяжести распределяется по большой площади веревок.
28. При движении с ускорением возникает инерциальная сила, действующая на основание.
29. При падении песчинок в песочных часах, они действуют с силой на дно сосуда.
30. Птица в полете для создания подъемной силы отбрасывает воздух вниз.
31. При малом расстоянии между молекулами начинают проявляться силы притяжения между ними.

32. Коэффициент трения скольжения значительно больше коэффициента трения качения.
33. Необходимо сравнить силы, необходимые для перемещения бруска вверх и вниз по наклонной плоскости.
34. Сила трения зависит от коэффициента трения и силы нормального давления.
35. Сила тяжести зависит от массы тела, а сила сопротивления – от его сечения.
36. Смотрите подсказку к задаче 35.
37. Результирующая всех сил, действующих на тело, при равномерном прямолинейном движении равна нулю.
38. Смотрите подсказку к задаче 37.
39. При полете бомбы в воздухе возникает сопротивление воздуха.
40. При движении возникает сила трения.
41. Сила трения направлена в сторону, противоположную направлению движения или направлению возможного движения.
42. Коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя.
43. Определение угла наклона ручки позволяет найти силы нормального давления и трения.
44. При движении монеты без наклона действуют силы тяжести и реакции опоры, при движении с наклоном добавляется сила трения.
45. Характер движения зависит от дополнительного вращения шара, при котором возникает сила трения.
46. При резком торможении автомобиля возникают две силы, расположенные в разных точках: сила трения и сила инерции.
47. При качении диска или колеса на поверхности происходит небольшое вдавливание.
48. Для оценки коэффициента трения шин автомобиля необходимо учесть, за какое время автомобиль может разогнаться до 100 км/ч.
49. Для определения сопротивления воздуха за систему отсчета необходимо взять автомобиль, на который движется поток воздуха.
50. Коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя.
51. Сила сопротивления воздуха при движении капель дождя, как и других тел, пропорциональна квадрату скорости и сечению капель.
52. При определенном угле наклона доски кубик, лежащий на ней, начинает соскальзывать.
53. К бруску, стоящему вертикально, прикладывают силу на разных высотах и наблюдают за поведением бруска.
54. Обратите внимание на законы динамики (Ньютона).
55. Велосипедист едет по Земле.
56. На стул действуют две силы: сила трения и сила инерции.
57. Сила инерции возникает в неинерциальных системах отсчета.
58. Возникает сила упругости, которая уменьшает силу инерции.
59. Используются инерциальные свойства тел.
60. Сила упругости пружины компенсирует силу инерции.

61. Человек при ходьбе с постоянной скоростью усилие ног расходует на преодоление сил трения. И та, и другая сила может привести к вращению вокруг центра тяжести.

62. При ударе молотка происходит потеря энергии, зависящая от размеров молотка и тела, по которому производится удар.

63. При движении по окружности возникает центростремительная сила.

64. Гирия обладает инерциальными свойствами.

65. Действие одинаковых сил для тел разной массы вызывает движение с разными ускорениями.

66. Движение систем отсчета с ускорением приводит к действию на тела силы инерции.

67. При взаимодействии двух тел силы действия одного тела на другое равны по величине и направлены в противоположные стороны.

68. Смотрите подсказку к задаче 67.

69. Кубик удерживается на вращающемся диске за счет центростремительной силы, роль которой выполняет сила трения.

70. Необходимо линейку положить посередине на какую-либо опору и применить условие равновесия рычага.

71. Необходимо воспользоваться законом сохранения момента импульса и основным законом динамики вращательного движения.

72. Применяя законы Ньютона для тел на равномерно вращающейся круглой платформе, необходимо учитывать, что вращающаяся платформа не является инерциальной системой отсчета.

73. Характер вращения зависит от момента инерции вокруг различных осей.

74. Когда тело двигается с места, возникает сила инерции.

75. Мощность двигателя автомобиля остается неизменной.

76. У курицы и утки разная величина вращающего момента силы тяжести относительно точки опоры.

77. Человек-аэростат – замкнутая система тел, в которой выполняется закон сохранения импульса.

78. Сила определяется скоростью изменения импульса.

79. При упругом ударе может меняться направление скорости, но не будет меняться энергия. Если же при упругом ударе увеличивается энергия, то увеличивается и скорость.

80. Закон сохранения импульса выполняется только в изолированной системе тел.

81. Следует посмотреть решение задачи 77.

82. Необходимо применить закон сохранения импульса в двух случаях соударения.

83. Смотрите подсказку к задаче 80.

84. Смотрите подсказку к задаче 80.

85. Смотрите подсказку к задаче 80.

86. Импульс передается в направлении ближайшей частицы.

87. Сила удара зависит от быстроты изменения скорости.

88. Реактивные двигатели могут использоваться на летательных аппаратах с крыльями и без них.

89. У автомобиля с двигателем в центре меньше момент инерции.

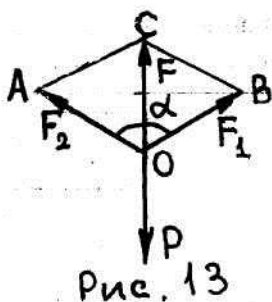
90. Головоногие моллюски и медузы перемещаются с помощью своеобразного реактивного двигателя.

91, 92, 93. Необходимо выполнение закона сохранения момента импульса.

94. Смотрите подсказку к задаче 91.

5. Ответы и решения

1. Провод рвется тем легче, чем он меньше провисает, т.е. располагается ближе к горизонтальному положению. Действительно, сила тяжести груза P находится в равновесии с равнодействующей силой F сил F_1 и F_2 (рис. 13). Силы F_1 и F_2 действуют вдоль провода от центра к опорам и являются силами натяжения.



Предположим, что в результате действия силы тяжести груза угол между силами F_1 и F_2 составит 120° . Тогда треугольник сил OAC (или OBC) будет равносторонним и сила натягивания провода будет равна силе тяжести груза. Если же угол α будет меньше 120° , то сила натяжения становится меньше силы тяжести груза. И наоборот, чем ближе силы F_1 и F_2 к горизонтальному направлению, тем больше становятся их значения. Когда провод принимает почти горизонтальное положение, силы натяжения становятся очень большими и провод легко может разорваться.

2. Для того, чтобы сдвинуть застрявший в лесу автомобиль с места, водитель воспользовался следующим приемом. Один конец длинной веревки он привязал к автомобилю, другой конец к дереву, по возможности натянув ее как можно сильнее.

Затем, потянув веревку посередине перпендикулярно ее направлению, можно тяжестью своего тела легко сдвинуть автомобиль с места. При этом следует заметить, чем длиннее будет веревка, тем легче это сделать.

Затем, потянув веревку посередине перпендикулярно ее направлению, можно тяжестью своего тела легко сдвинуть автомобиль с места. При этом следует заметить, чем длиннее будет веревка, тем легче это сделать.

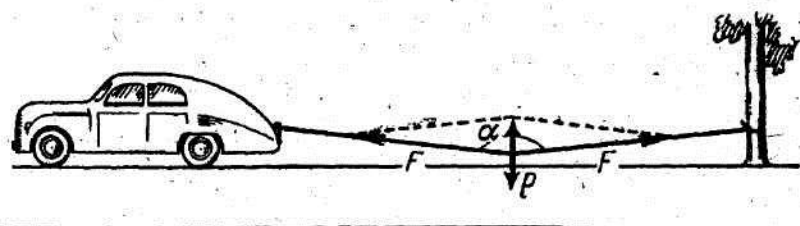


Рис. 14

Ответ на вопрос, почему это произошло, аналогичен решению предыдущей задачи. Если веревка уже натянута, то сила P , действующая перпендикулярно к веревке, может создать очень большое натяжение.

Это видно из того, что сила P должна быть равной векторной сумме сил натяжения F двух концов веревки, сходящихся в точке приложения силы P (рис. 14). И если угол α близок к 180° , то сила натяжения F во много раз превосходит силу P , с которой человек действует на веревку.

3. Прогиб у доски увеличится. Это особенно ясно становится в случае, когда силы F_1 и F_2 приложены вблизи опор A и B . Тогда прогиба почти не будет, но он будет иметь место под действием силы R (рис. 3). Следует заметить, что равнодействующая двух сил, приложенным к разным точкам деформируемого

тела, не эквивалентна этим силам. Понятие равнодействующей справедливо лишь для сил, приложенных к абсолютно твердому телу.

4. При равновесии однородной проволоки центры тяжести концов проволоки находятся на одинаковом расстоянии от точки подвеса и, естественно, вращающие моменты будут тоже одинаковыми. Вращающий момент равен произведению силы F на кратчайшее расстояние между линией действия силы и осью вращения, называемое плечом силы, $M=Fl$.

Если один конец проволоки согнуть, то его центр тяжести переместится ближе к точке подвеса, соответственно, уменьшится плечо силы тяжести и вращающий момент. Равновесие нарушится, и согнутый конец поднимется вверх.

5. На первом рычаге грузы имеют объемы, пропорциональные их массам. При погружении грузов в воду силы Архимеда, действующие на плечи рычага, будут соответственно пропорциональны объемам. Поэтому относительное изменение сил, действующих на рычаг, будет одно и то же для обоих концов рычага. Следовательно, у первого рычага при погружении в воду равновесие не нарушится.

На втором рычаге оба груза имеют одинаковый объем, поэтому под водой за счет силы Архимеда «потеряют в весе» одно и то же значение, а так как массы грузов разные, то относительная «потеря веса» будет больше для груза, который имеет меньшую массу. Отношение сил, действующих на плечи рычага, изменится, и равновесие нарушится. Опустится тот конец рычага, для которого относительная потеря веса меньше, т.е. перетянет груз $2m$.

6. Для перемещения тачки по земле рабочему необходимо преодолевать силу трения, которая зависит от особенностей и силы давления на нее. Свойства почвы характеризуются коэффициентом трения μ ; сила давления тачки на почву направлена перпендикулярно к поверхности почвы и является силой нормального давления N . Зная коэффициент трения μ и силу нормального давления N , можно найти силу трения $F_{\text{тр}} = \mu N$.

Если рабочий тянет тачку с грузом за собой, прикладывая силу F к ручкам тачки, то сила нормального давления будет меньше силы тяжести на величину

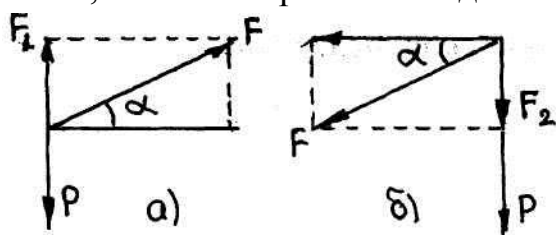


рис 15.

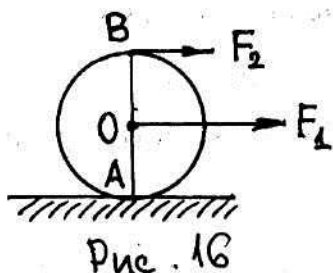
вертикальной составляющей силы F ($N_1 = P - F_1 = P - F \sin \alpha$) (рис. 15, а). Если рабочий толкает тачку перед собой, то сила нормального давления будет больше силы тяжести на величину вертикальной составляющей силы F ($N_2 = P + F_2 = P + F \sin \alpha$) (рис. 15, б).

Так как N_2 больше N_1 , то, толкая тачку перед собой, рабочий вынужден преодолевать большую силу трения $F_{\text{тр}} = \mu N_2$ и, следовательно, прилагать большее усилие.

7. Чтобы понять, почему прямо сидящий человек, не наклоняясь и не подвигая ноги под стул, не может встать со стула, необходимо рассмотреть равновесие тел вообще и человека в том числе. Стоящий предмет не опрокиды-

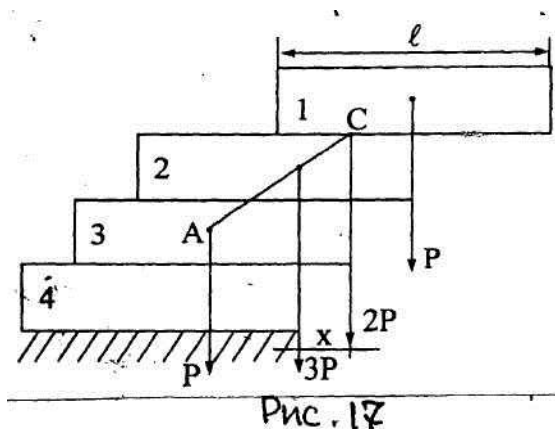
вается, если вертикальная линия, проведенная из центра тяжести тела, проходит через площадь основания данного тела. У человека, сидящего на стуле, вертикальная линия из центра его тяжести проходит через площадь основания стула, поэтому, чтобы подняться со стула, необходимо или наклониться вперед, чтобы вертикальная линия проходила через центр тяжести человека и площадку, ограниченную стопами ног, или подвинуть стопы ног к этой линии. «Падающие» башни в Пизе и Болонье не падают, несмотря на свой наклон, так как отвесная линия из их центра тяжести не выходит за пределы площади основания.

8. Когда колесо катится по поверхности, оно в любой момент времени поворачивается вокруг точки касания А (рис. 16). Если сила приложена к корпусу вагона, то ее действие передается на ось колеса вагона (точка О).



При приложении силы в верхней части обода (точка В) плечо силы увеличивается в два раза и для того, чтобы вагон сдвинулся с места, можно прикладывать к ободу вдвое меньшую силу.

9. Точка приложения силы тяжести каждого кирпича лежит в центре кирпича на середине его длины. Следовательно, первый кирпич еще будет находиться в равновесии по отношению ко второму кирпичу, когда центр тяжести его будет расположен на продолжении линии среза второго кирпича, т.е. наибольшая длина свободного конца первого кирпича будет равна $l/2$ (рис.17).



Первый и второй кирпичи должны находиться в равновесии относительно третьего. Центр тяжести первого и второго кирпичей, взятых вместе, будут расположены от края второго кирпича на расстоянии $l/4$. На эту длину и может быть выдвинут второй кирпич относительно третьего.

Теперь должны находиться в равновесии три кирпича относительно нижнего, четвертого кирпича. Центр тяжести трех

кирпичей находится на линии АС, проходящей через центр тяжести первого и второго кирпичей, вместе взятых, и центром тяжести третьего кирпича. Положение центра тяжести трех кирпичей определяется из уравнения $P \left(\frac{l}{2} - x \right) = 2Px$ (рис. 17), откуда $x = l/5$, т.е. 3-й кирпич может выступать над четвертым

не более, чем, на $1/6$ своей длины.

10. Для того, чтобы поднять бочку на высоту h , необходимо совершить работу против сил тяжести Ph , если же бочку закатывать на ту же высоту h по наклонной плоскости, то работа будет равна Fl . Следовательно, $Fl = Ph$, или $F = P \frac{h}{l} = P \sin \alpha = 0.5P$, т.е. выигрыш в силе в два раза. Так как бочку закатывают два человека, то каждому и приходится преодолевать силу $0,25P$.

Если для подъема бочки применять веревку (рис.7), то для того, чтобы закатить бочку на высоту h , необходимо выбрать веревку длиной $2l$, и тогда $Ph = F2l$, или $F = \frac{Ph}{2l} = \frac{P}{2} \sin \alpha = 0,25P$. Таким образом, закатывая бочку с помощью веревки, один человек может заменить двух. При этом получается четырехкратный выигрыш в силе.

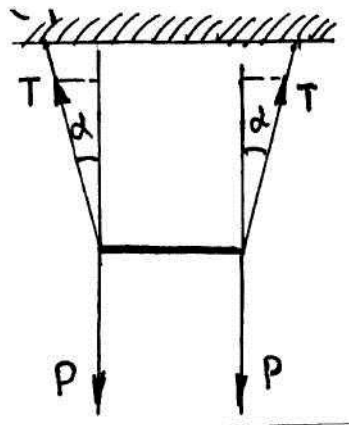


Рис. 18

11. Если при подвешивании качелей веревки составляют некоторый угол между перпендикуляром к плоскости качелей и веревкой (рис.18), то из условия равновесия имеем: $T \cos \alpha = P$, где T – сила натяжения веревки, P – сила тяжести качелей и $T = P / \cos \alpha$. Отсюда следует: чем больше угол α , тем

меньше $\cos \alpha$ и больше сила натяжения при одинаковой силе тяжести. Следовательно, веревки будут испытывать меньшее напряжение при $\alpha = 0$, т.е. когда веревки висят вертикально и параллельно друг другу.

12. Двухпудовую гирию, вес которой равен 314 Н, можно взвесить пружинными весами, рассчитанными на 200 Н, с помощью веревки. Один конец веревки необходимо привязать к какому-либо горизонтальному стержню, а второй пропустить под ручкой гири и привязать к весам, которые подвешены к тому же стержню. В этом случае весы будут показывать половину веса, т.е. полученный результат измерения необходимо умножить на два, и будем иметь истинный вес гири.

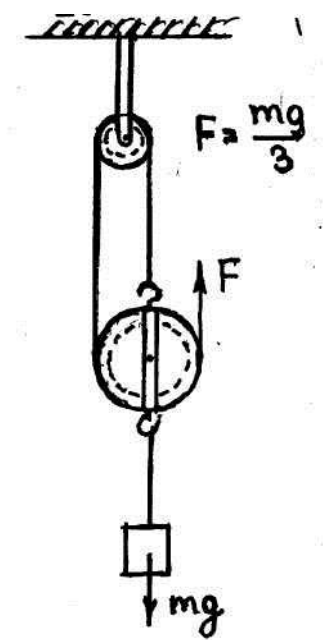


Рис. 19

13. Для трехкратного выигрыша в силе необходимо взять два блока, диаметры которых отличаются в два раза. Меньший блок подвешивается к опоре и является неподвижным, больший – с помощью каната, перекинутого через меньший блок, находится в висающем состоянии (рис.19) и будет перемещаться в вертикальном направлении. Такое соединение двух блоков канатом позволяет получить трехкратный выигрыш в силе.

14. В космическом корабле наблюдается состояние невесомости, следовательно, отсутствует сила тяжести, поэтому маятниковые и песочные часы работать не будут. В часах, которые приводятся в действие сжатой пружиной, жесткость пружины не зависит от того, есть сила тяжести или нет, поэтому пружинные часы в невесомости работать будут.

15. Если гибкую тонкую пружину подвесить за один конец, то под давлением собственного веса пружина растянется. При свободном падении все части

пружины будут двигаться с одинаковым ускорением и размеры пружины меняться не будут. Следовательно, длиннее будет висящая пружина.

16. Сила давления на неподвижную опору определяется весом тела, равным силе тяжести. Если опора будет двигаться вниз с ускорением свободного падения, то вес тела, действующий на опору, станет равным нулю, т.е. сила давления будет равна нулю. При прыжке со стола и человек, и гири двигаются с одинаковым ускорением свободного падения, поэтому сила давления тяжелой гири на руку в полете будет равна нулю.

17. Сила притяжения Солнца действует не только на груз, находящийся на весах, но и на Землю и поэтому сообщает грузу и весам одинаковые ускорения. Поэтому сила притяжения Солнца не изменяет растяжение пружин, т.е. не влияет на показания весов. Так же, как сила притяжения Земли не растягивает пружину, если груз вместе с пружиной и подставкой, к которой она прикреплена, свободно падает на Землю, так и сила притяжения Солнца не растягивает пружину, так как подставка вместе с Землей «падает» на Солнце. Это падение выражается в том, что Земля в своем движении по орбите обладает центростремительным ускорением, как раз равным тому ускорению свободного падения, которым обладала бы она на любое другое тело, помещенное на орбиту Земли и не имеющее начальной скорости. Следовательно, вес тел на Земле днем и ночью один и тот же.

18. Луна движется по орбите вокруг Земли в результате силы гравитационного притяжения, которая обуславливает ускорение свободного падения. Ускорение свободного падения на расстоянии, равном радиусу орбиты Луны, не зависит от массы и является центростремительным ускорением. Скорость движения на орбите также не зависит от массы Луны, и, следовательно, период вращения (время одного оборота вокруг Земли) меняться не будет.

19. Земля не является идеальным шаром; она сплюснута у полюсов, т.е. расстояние от центра Земли до тела, находящегося на поверхности у полюса, несколько меньше, чем в других местах, а значит, и сила тяготения на полюсах наибольшая (сила обратно пропорциональна квадрату расстояния R^2). Таким образом, вес любого тела на полюсе Земли больше, чем на экваторе. Всякое тело, перенесенное с полюса на экватор, уменьшается в весе приблизительно на 0,05 его веса на полюсе. Так как сила тяготения на экваторе меньше, то и бежать на экваторе будет легче, чем на полюсе.

20. По закону Архимеда, на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу вытесненной телом жидкости или газа. Следовательно, любое тело, находящееся в воздухе, теряет из своего веса столько, сколько весит вытесненный телом объем воздуха.

Дерево и железо так же будут терять в воздухе часть своего веса. Чтобы получить истинный вес этих тел, нужно потерю прибавить к их весу. Тонна дерева занимает больший объем, нежели тонна железа, поэтому истинный вес (вес тела плюс вес воздуха) тонны дерева больше истинного веса тонны железа.

21. Если радиус шариков равен R , а объем ящика равен V , то объем, занятый шариками, будет равен V_x . При заданном значении радиуса шариков R

объем V_x , очевидно, пропорционален объему V , т.е. $V_x = kV$, где k - безразмерный коэффициент. Безразмерный коэффициент не может зависеть от размерной величины R . Следовательно, он является некоторой абсолютной константой, и тогда объем V_x не зависит от радиуса R . Значит, и вес рассматриваемых шариков не зависит от их радиуса, и оба ящика будут иметь одинаковый вес.

22. На суше нет животных крупнее слона и, вероятнее всего, размеры слона являются предельными. Попробуем в этом разобраться, проведя некоторый сравнительный анализ. Допустим, размеры слона в 8 раз больше размеров какого-либо животного, тогда объем и соответственно масса слона будут в $8^3=512$ раз больше. Если предположить пропорциональность в строении скелетов, то сечение костей ног слона должно быть в $8^2=64$ раза больше, чем у мелкого животного. Но в таком случае кости слона испытывали бы в 8 раз более высокую нагрузку (давление). Так как прочность костей у всех животных примерно одинакова, то очевиден вывод: площадь сечения костей у слона должна быть не в 64, а в 512 раз больше. Таким образом, если длина каждой кости возрастает у слона в 8 раз, то ее толщина в $\sqrt{512}=22,6$ раза; иными словами, отношение длины кости к ее диаметру не сохраняется, а уменьшается (в 2,8 раза) – кости и весь скелет в целом становятся более массивным. При определенных размерах тела животного даже увеличение сечения костей не позволит удерживать собственный вес, кости начнут разрушаться.

Таким образом, законы механики и пределы прочности костей определяют некоторые предельные размеры животных. Животное огромных размеров неизбежно становится толстым и неповоротливым, а при росте величины животного его потребность в пище становится больше способности к ее добычанию - такой вид обрекается на вымирание.

В морях и океанах условия существования иные, чем на суше. Сила тяжести в них уравнивается выталкивающей силой, и поэтому неудивительно, что в морях много крупных животных и рыб. Кит, например, при менее массивном скелете имеет более значительные размеры, нежели слон.

23. Высота деревьев ограничивается тем, что слишком высокое дерево не выдерживает собственной тяжести. Допустим, что все размеры дерева увеличились в 10 раз, тогда объем и, соответственно, масса дерева возрастут в $10^3=1000$ раз. Площадь основания, принимающая на себя тяжесть дерева, увеличится в 100 раз. Следовательно, нагрузка на единицу площади сечения увеличится в 10 раз. При высоте дерева 25 метров и плотности 600кг/м^3 на квадратный сантиметр будет приходиться масса 1,5 кг. При увеличении размеров дерева в 100 раз на 1 см^2 уже будет давить гиря массой 150 кг; такая сила попросту раздавит стержень сечением 1 см^2 .

Есть еще (и притом более жесткое) ограничение высоты деревьев: высота должна быть такой, чтобы соки смогли подняться по стволу до самых верхних веток. Подниматься вверх соки заставляет осмотическое давление и капиллярное давление (см. «Молекулярная физика»).

24. Основная причина прочности скорлупы яйца – ее геометрическая форма, при которой усилие, приложенное снаружи к какой-либо точке, передается на всю поверхность. Это можно пояснить на примере арки, сложенной из

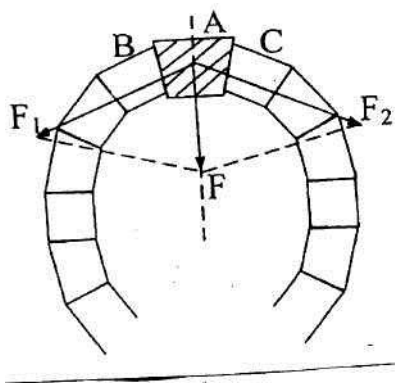


Рис. 20

каменной; форма арки напоминает форму яичной скорлупы в разрезе (рис.20). Пусть на верхний камень А действует сила F , направленная вертикально вниз. Под действием этой силы камень А не сдвинется вниз, а лишь сильно прижмется к соседним камням В и С и будет давить на них с силами F_1 и F_2 . В свою очередь, камни В и С передадут давление на другие камни. Поэтому силе, давящей на арку с внешней стороны, довольно трудно разрушить все сооружение. Зато относительно легко разрушить арку силой, действующей снизу (с внутренней стороны). Прочность скорлупы объясняется точно так же.

25. Когда в северном полушарии зима, Земля проходит наиболее близкую к Солнцу часть своей орбиты – перигелий. Следовательно, зимой Солнце сильнее притягивает любые предметы, находящиеся на поверхности Земли, чем летом. Днем сила солнечного притяжения вычитается из силы земного притяжения, поэтому вес предмета равен разности этих сил. Ночью же силы солнечного и земного притяжения складываются. Следовательно, зимней ночью гиря весит больше всего. Летом Земля проходит участки орбиты, наиболее удаленные от Солнца – афелий, поэтому летом в дневное время гиря будет весить меньше всего. Таким образом, зимой гиря весит больше, чем летом.

26. Если считать плотность Земли постоянной по всему объему, то с углублением в Землю вес тела не увеличивается, а уменьшается, так как притягивающие части земного шара расположены по разные стороны от него.

27. Чтобы ответить на вопрос: почему веревочный гамак не жесткий, рассмотрим, как можно проткнуть лист картона или тонкой фанеры стержнем, например, диаметром 3 мм, с плоским концом. В этом случае необходимо приложить большое усилие. Однако легко можно проткнуть фанеру, сделав из этого стержня шило. Прикладывая в обоих случаях одинаковые силы, получаем различные давления. Во втором случае вся сила сосредоточена на острие шила; в первом случае – та же сила распределена на большую площадь конца стержня; следовательно, давление шила гораздо больше, нежели давление тупого стержня при одном и том же усилии рук.

Итак, теперь можно легко дать ответ на вопрос о гамаке. Когда человек ложится в гамак, вес человеческого тела распределяется на довольно большую площадь веревок, давление будет маленькое и лежать будет не жестко.

28. Изменение показаний весов можно объяснить с помощью третьего закона Ньютона. Этот закон гласит, что тела действуют друг на друга силами, направленными вдоль одной прямой, равными по абсолютному значению и противоположными по направлению. В данном случае при быстром подъеме рук на нас действует (толчок) вниз (инерциальная сила), которая увеличит давление на опорную площадку весов. При резком опускании рук вниз тело получает толчок вверх, который приводит к уменьшению силы давления на опорную площадку весов. Следовательно, при таких движениях рук показание пружинных весов будет больше, чем при медленном движении.

жинных весов будет меняться. Аналогичная ситуация будет наблюдаться, если человек будет резко приседать и резко подниматься.

29. Потеря веса, происходящая от того, что часть падающих песчинок находится в воздухе, полностью компенсируется той силой, с которой другие песчинки в этот момент ударяют о дно нижнего сосуда. Потеря будет только в тот момент, когда песчинки только начинают двигаться, не долетев до дна.

30. Когда птица будет парить под колпаком, равновесие весов не нарушится, так как птица все время должна отбрасывать воздух вниз, чтобы создать подъемную силу, поддерживающую ее в воздухе. При этом отбрасываемый вниз воздух будет создавать добавочное давление на дно, средняя величина которого будет равна весу птицы. Во время взлета и резких движений птицы величина этого давления может измениться, тогда стрелка весов начнет колебаться около положения равновесия.

31. Возрастание сил трения, когда поверхности соприкасающихся тел становятся очень гладкими, связано с тем, что между частицами тел с гладкими поверхностями, вплотную прилегающими друг к другу, действуют значительные силы межмолекулярного притяжения. Поэтому «эффективная» сила нормального давления может значительно превосходить силу нормального давления. Силы межмолекулярного притяжения очень быстро убывают с увеличением расстояния между частицами.

32. Если тело покоится, то для того, чтобы сдвинуть его с места, к телу нужно приложить силу, большую максимально возможной силы трения покоя. Сила трения пропорциональна коэффициенту μ и силе нормального давления N (в нашем случае это вес тепловоза и вес вагонов) $F_{тр} = \mu N$. Так как вес вагонов больше веса тепловоза, то, казалось бы, сила трения вагонов должна быть больше, чем тепловоза. Однако все наоборот – сила трения тепловоза больше, чем вагонов. Это связано с тем, что трение колес вагонов о рельсы – это в основном трение качения, а трение колес тепловоза о рельсы – трение скольжения, а коэффициент трения скольжения значительно больше коэффициента трения качения. Иногда, чтобы увеличить коэффициент трения скольжения, на рельсы из специального устройства на тепловозе под колеса сыпят песок.

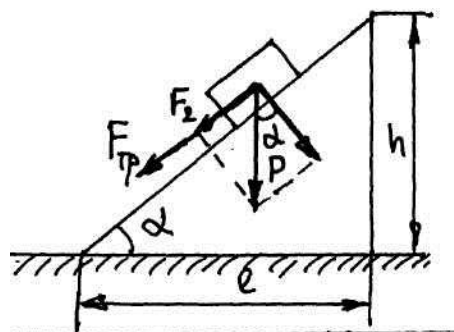


Рис. 21

33. Чтобы привести брусок в равномерное движение вверх по наклонной плоскости, необходимо приложить силу F_1 , равную сумме силы трения $F_{тр}$ и составляющей силы тяжести бруска, направленной параллельно наклонной плоскости $F = P \sin \alpha$ (рис.21): $F_1 = F_{тр} + P \sin \alpha$, где P – сила тяжести бруска.

Аналогично получаем значение силы F_2 , необходимой для приведения бруска в равномерное движение вниз: $F_2 = F_{тр} - P \sin \alpha$.

Вычитая из первого уравнения второе, имеем $F - F_2 = 2P \sin \alpha$, откуда $\sin \alpha = \frac{F_1 - F_2}{2P}$.

Так как силы F_1 , F_2 и P можно найти с помощью динамометра, это выражение позволяет рассчитать синус угла наклона, а затем по таблицам найти величину угла.

При небольшом наклоне можно обойтись и без таблиц, так как при малых углах (до 15°) $\sin \alpha \approx \alpha$, но угол α выражен в радианах (рад.). В этом случае $\alpha \approx \frac{F_1 - F_2}{2P}$. В одном радиане 57,3 градуса, поэтому, умножив полученную величину на 57,3, будем иметь примерное значение угла наклона в градусах.

34. В точке А оба тела обладают одинаковым запасом потенциальной энергии по отношению к точке В, поэтому при отсутствии потерь на трение в точку В тела придут с одинаковой энергией движущегося тела (кинетической энергией) и одинаковой скоростью. Но у нас часть работы будет теряться на работу сил трения. Сила трения зависит от коэффициента трения и силы давления на поверхность со стороны тела. Коэффициент трения в обоих случаях одинаков, а сила давления на выпуклую поверхность меньше, чем на вогнутую. От выпуклой поверхности тело пытается как бы оторваться, а в вогнутую – тело как бы вдавливается. Следовательно, сила трения на выпуклой поверхности меньше, чем на вогнутой, и поэтому тело по выпуклой поверхности соскользнет (меньше потери на трение) быстрее и с большей скоростью.

35. При увеличении размеров падающей капли дождя ее сила тяжести увеличивается пропорционально объему, т.е. пропорционально радиусу в третьей степени, а сила сопротивления – пропорциональна сечению капли, т.е. пропорциональна радиусу в квадрате. Поэтому при увеличении радиуса капли сила тяжести увеличивается быстрее, чем сила сопротивления, и, следовательно, постоянная скорость, с которой капли падают на землю, растет по мере увеличения ее размеров. Поэтому крупные капли дождя падают быстрее, чем мелкие.

36. Оба шара имеют одинаковое сечение, и при одинаковой скорости они будут испытывать одинаковую силу сопротивления воздуха. На шар при падении действуют две силы: сила тяжести, направленная вертикально вниз, и сила сопротивления, направленная вертикально вверх. Если сила тяжести шара $P = mg$, и сила сопротивления $F_{\text{сопр}}$, то ускорение, с которым движется шар, будет больше у шара, имеющего большую массу (стальной шар), так как сила сопротивления для обоих шаров одинакова (она зависит от сечения шара). Следовательно, стальной шар упадет быстрее, чем алюминиевый.

37. Сила сопротивления воздуха для парашюта с парашютистом растет с увеличением скорости, а сила тяжести не меняется, поэтому, когда сила сопротивления становится равной силе тяжести, парашютист начинает двигаться с неизменной скоростью. Таким образом, когда парашютист опускается с постоянной скоростью, сила сопротивления парашюта равна силе тяжести парашюта и парашютиста.

38. Максимальная сила сопротивления воздуха для парашюта при падении равна силе тяжести парашютиста (см. решение задачи 37).

39. Самолет летит по горизонтали с постоянной скоростью. Бомба летит по параболе, так как ее движение складывается из движения по горизонтали с

начальной горизонтальной скоростью, равной скорости самолета, и ускоренного падения по вертикали. При отсутствии сопротивления воздуха скорость бомбы по горизонтали была бы равна скорости самолета и он все время находился бы над бомбой, и в момент падения на землю бомбы тоже. В действительности, вследствие существования силы сопротивления воздуха, горизонтальная скорость бомбы все время уменьшается и бомба отстает от самолета. Поэтому падение на землю и взрыв бомбы происходит не под самолетом, а далеко позади.

40. Для удержания санок на склоне снежной горы потребуется меньшее усилие, чем при равномерном их подъеме, так как при движении необходимо преодолевать еще силу трения.

41. Когда грузовик двигается с места, то груз, лежащий в кузове, стремится, в силу инерциальных свойств, назад. В этот момент на груз начинает действовать сила трения, направление которой противоположно направлению возможного движения, то есть сила трения направлена в сторону движения автомобиля. При остановке инерциальная сила направлена вперед, а сила трения – назад.

42. Коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя, поэтому сдвинуть гвоздь с места вначале очень трудно как в осевом направлении, так и при вращении вокруг собственной оси. Но за счет использования рычага действие силы, вращающей гвоздь, усиливается и гвоздь двигается с места. Теперь гвоздь легче вытаскивать при одновременном вращении, так как уменьшается коэффициент трения и, соответственно, сила трения, которую необходимо преодолеть при вытаскивании гвоздя.

43. Для того, чтобы сдвинуть с места тело, в нашем случае, шариковую ручку, необходимо преодолеть силу трения, которая зависит от силы нормального давления и свойства поверхности. Давление на поверхность создается силой тяжести ручки $P=mg$ и перпендикулярной к поверхности составляющей давления пальца на ручку F_N , т.е. $N = mg + F\cos\alpha$ (рис.22). Свойства поверхности определяются коэффициентом трения $\mu = F_{тр}/N$.

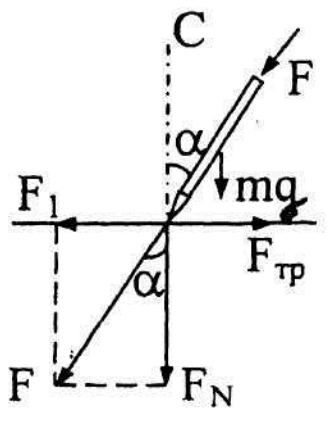


Рис. 22

Сила трения $F_{тр}$ направлена в сторону, противоположную направлению движения ручки, и равна численно составляющей силы давления пальца на плоскость $F_1 = F\sin\alpha$. Сила давления пальца на ручку много больше силы тяжести ручки, и для оценки коэффициента трения силой тяжести ручки можно пренебречь, тогда $\mu = \frac{F\sin\alpha_{\max}}{F\cos\alpha_{\max}} = \operatorname{tg}\alpha_{\max}$. Максимальное значение угла наклона ручки α_{\max} при проведении опыта с ручкой, например, составляет порядка 30° , тогда $\mu \approx 0,57$.

Сила трения $F_{тр}$ направлена в сторону, противоположную направлению движения ручки, и равна численно составляющей силы давления пальца на плоскость $F_1 = F\sin\alpha$. Сила давления пальца на ручку много больше силы тяжести ручки, и для оценки коэффициента трения силой тяжести ручки можно пренебречь, тогда $\mu = \frac{F\sin\alpha_{\max}}{F\cos\alpha_{\max}} = \operatorname{tg}\alpha_{\max}$. Максимальное значение угла наклона ручки α_{\max} при проведении опыта с ручкой, например, составляет порядка 30° , тогда $\mu \approx 0,57$.

44. У монеты, катящейся в вертикальном положении, сила тяжести P и сила реакции опоры уравнивают друг друга, поэтому они не могут искривить траекторию монеты (рис. 23, а). У наклоненной монеты (рис. 23,б) сила

реакции опоры N по прежнему равна силе тяжести монеты, но, кроме того, возникает сила трения $F_{\text{тр}}$, действующая вдоль плоскости (см. решение задачи 43).

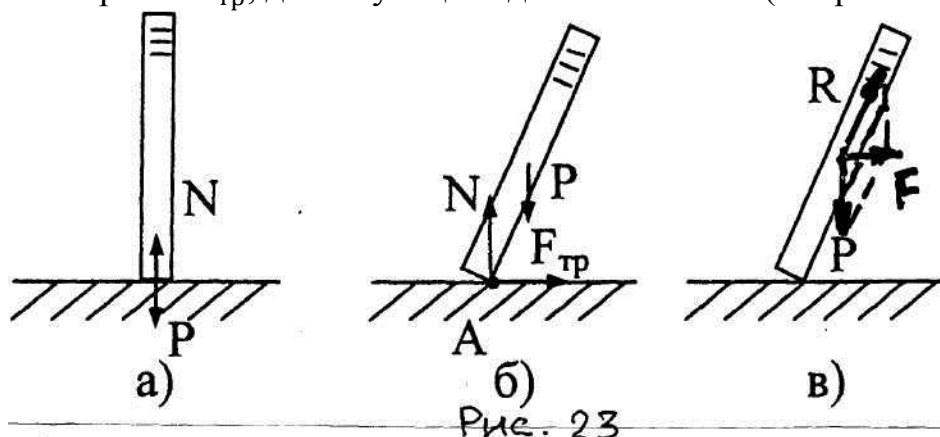


Рис. 23

Ее появление обусловлено тем, что при наклонном положении монеты должно было бы возникнуть скольжение точки касания монеты с плоскостью влево (рис. 23, б). Появляется сила трения, препятствующая возникновению скольжения. Результирующая R сил реакции опоры N и $F_{\text{тр}}$ оказывается наклонной к плоскости (рис. 23, в). Результирующая сила тяжести P и силы реакции R направлена горизонтально в сторону наклона и вызывает искривленные траектории движения центра тяжести монеты.

45. Шар будет двигаться замедленно, если сила трения будет направлена против движения, и ускоренно, если эта сила направлена по движению. Направление силы трения противоположно направлению скорости, с которой происходит скольжение в точке касания шара с поверхностью (точка A) (рис.24, а). Скорость скольжения в этой точке зависит от соотношения двух скоростей: скорости поступательного движения шара V_0 и скорости вращения вокруг центра тяжести V .

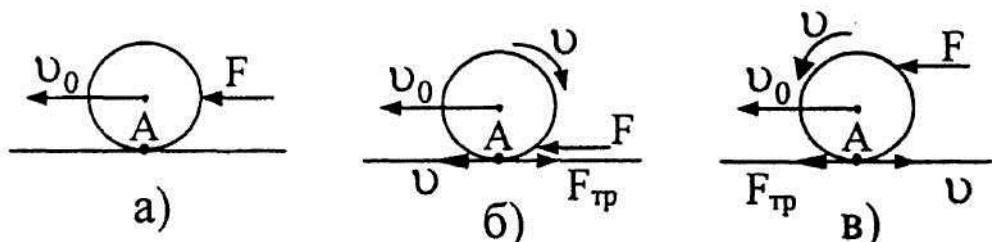


Рис. 24

При низком ударе (шар вращается по часовой стрелке (рис.24, б)) скорость в точке касания, обусловленная вращением, направлена вперед и возникает скольжение, также направленное вперед. Поэтому появляется сила трения, направленная назад, которая замедляет движение.

При высоком ударе (рис. 24, в) шар вращается против часовой стрелки. При достаточно высоком ударе, когда скорость вращения шара велика (больше скорости поступательного движения), возникает скольжение, направленное назад. Появляется сила трения, направленная по движению, и шар движется ускоренно.

46. При торможении автомобиля на его колеса со стороны земли начнет действовать сила трения $F_{тр}$. Чтобы рассмотреть, как влияет эта сила на движение центра тяжести автомобиля, представим себе (рис. 25), что к центру тяжести приложены две силы F_1 и F_2 , равные по величине силе трения $F_{тр}$. Мы можем это сделать, так как приложение двух равных и противоположно направленных сил F_1 и F_2 движения автомобиля не нарушает. Но теперь нетрудно видеть, что сила F_2 тормозит автомобиль, а пара сил F_1 и $F_{тр}$ вызывает вращение, указанное стрелкой, т.е. опускание передней части автомобиля.

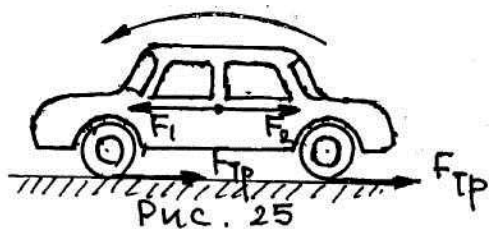


Рис. 25

Можно объяснить опускание передней части автомобиля по-другому. При торможении на колеса действует сила трения со стороны земли, направленная назад. Сила инерции, приложенная к центру тяжести автомобиля при торможении, направлена вперед. Возникает вращающий момент этой пары сил, под действием которого и опускается перед автомобиля.

47. Трение диска о плоскость является трением качения и поэтому не может быть сведено к горизонтальной силе F , как было бы в случае трения скольжения. При качении диска он слегка вдавливается в плоскость, вследствие чего на него действует сила R , направленная так, как показано на рис. 26. Поскольку горизонтальная составляющая этой силы направлена вправо, скорость диска уменьшается. Вместе с тем момент этой силы относительно точки O направлен по часовой стрелке и, следовательно, тормозит вращение диска.

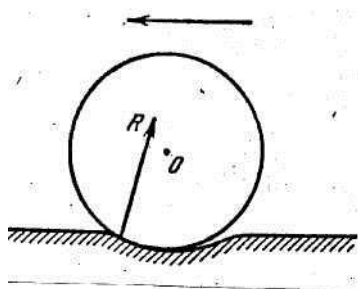


Рис. 26

48. При отсутствии трения для равномерного движения автомобиля по горизонтальному участку шоссе не потребовалось бы затрат мощности. Затраты мощности необходимы всякий раз при ускорении автомобиля, например, когда он трогается с места или обгоняет другой транспорт. Нормальным показателем легкового автомобиля считается, если он разгоняется до 100 км/ч за 10 с. Оценим, достаточно ли силы трения между покрытием шоссе и шинами автомобиля для достижения этого ускорения $a = \frac{v}{t} = 2,8 \text{ м/с}^2$. Необходимая сила трения $F_{тр} = ma$. На шины ведущих колес действует сила нормального давления, равная половине силы тяжести автомобиля $mg/2$, так что отношение силы трения к силе нормального давления составляет $\frac{2a}{g} \approx 0,5$. Следовательно, коэффициент трения должен быть не менее 0,5. Это близко к максимально достижимому значению коэффициента трения шин, применимых в легковых автомобилях. Большее ускорения удастся достичь в гоночных и спортивных автомобилях за счет специальных шин и большей нагрузки на ведущие колеса.

Для использования предельной силы трения автомобиль массой 1 т должен иметь мощность порядка 70 кВт (≈ 95 л.с.), чтобы развить скорость 100 км/ч за 10 с.

49. При малой скорости движения воздух практически полностью обтекает автомобиль, и сопротивление воздуха в этом случае будет минимальным. При высоких скоростях движения автомобиля (более 50 км/ч) сопротивление воздуха начинает резко увеличиваться и, соответственно, возрастают потери

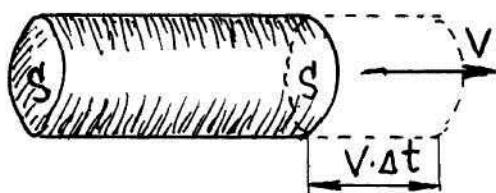


рис. 27

мощности двигателя и расход топлива. Вычислим мощность, которую необходимо затратить для преодоления сопротивления воздуха.

Воздух, находящийся непосредственно перед автомобилем, приобретает кинетическую энергию $\Delta m v^2 / 2$, где Δm - масса воздуха, увлекаемого за интервал времени Δt , v - скорость автомобиля. Как видно из рис. 27, $\Delta m = \rho \cdot S \cdot v \cdot \Delta t$, где $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха, S - среднее значение площади поперечного сечения автомобиля. Для того, чтобы воздух привести в движение, автомобиль должен за интервал времени Δt потерять энергию, которую приобрел воздух $\Delta E = \frac{\Delta m v^2}{2} = \frac{1}{2} \rho S v^3 \Delta t$; а потеря мощности, обусловленная сопротивлением воздуха, равна $\frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho S v^3 = \Delta N$.

Поскольку мощность движущегося автомобиля равна произведению силы сопротивления на скорость $\Delta N = F_{\text{сопр}} v$, то силу сопротивления воздуха получим в виде $F_{\text{сопр}} = \frac{1}{2} \rho S v^2$. Следует заметить, что среднее значение площади поперечного сечения воздушной массы S , которая движется со скоростью, равной или близкой скорости автомобиля, будет несколько меньше сечения автомобиля. Воздух над крышей у боковых дверей автомобиля «проскальзывает» мимо, приобретая лишь незначительную скорость.

50. Коэффициент трения скольжения меньше коэффициента трения покоя. Поэтому, когда колеса крутятся (т.е. имеют контакт с дорогой), со стороны дороги на них действует сила трения больше, чем в том случае, когда они скользят. На сухом ровном асфальте коэффициент трения покоя (колеса не проскальзывают) достигает значения 0,8, тогда как при скольжении он не превышает 0,6. Когда начинается скольжение («заклинивание» колес), асфальт и шины могут расплавиться, и тогда автомобиль будет двигаться по тонкому слою жидкости. Чтобы затормозить, автомобиль с заклиненными колесами (при прочих равных условиях) должен пройти расстояние на 20% больше, чем при вращающихся колесах. Поэтому автомобиль останавливается быстрее всего, если к тормозам прикладывать усилие, чуть меньше того, при котором колеса заклиниваются (в этом случае говорят не допускать «юз»). Следует также заметить, что при скольжении колес возникает опасность бокового «заноса» автомобиля, так как при этом движение вбок может быть вызвано даже очень малой силой.

51. Сила сопротивления воздуха, действующая на капли дождя, пропорциональна произведению квадрата скорости капель v на площадь поперечного сечения S , а также зависит от плотности воздуха ρ , $F_{\text{сопр}} \approx \frac{1}{2} \rho S v^2$ (см. ответ к задаче 49). Поперечное сечение капли равно $S = \pi r^2$, где r - радиус капли, и

тогда $F_{\text{сопр}} \approx 1,5pr^2v^2$. После отрыва от тучи скорость капле должна увеличиваться, соответственно, увеличивается сила сопротивления воздуха. Когда она становится равной силе тяжести капли, скорость падения с этого момента становится постоянной. Приравняв силу тяжести и силу сопротивления $mg = 1,5pr^2v^2$ и приняв радиус капли примерно 2 мм, получим скорость падения порядка $6\text{м/с} \approx 22\text{ км/ч}$.

Так как скорость капель определяется только силой тяжести и размерами, то она не зависит от высоты, на которой находится туча.

52. Кубик помещаем на середину доски, затем берем за один конец доски и начинаем постепенно поднимать ее до тех пор, пока кубик не начнет скользить вниз. Это произойдет в тот момент, когда составляющая силы тяжести вдоль наклонной плоскости сравняется с силой трения (рис.28).

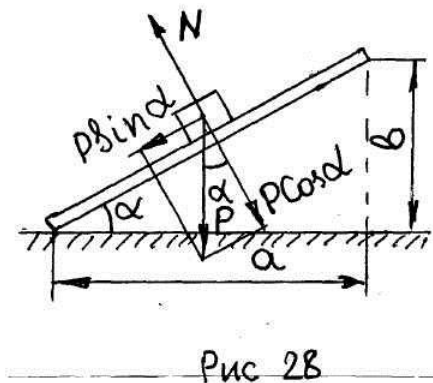


Рис 28

Составляющая силы тяжести вдоль наклонной доски равна $P \sin \alpha$, а сила трения определяется по формуле $F_{\text{тр}} = \mu N = \mu P \cos \alpha$. Приравняв эти силы $\mu P \cos \alpha = P \sin \alpha$, найдем коэффициент трения кубика по доске:

$$\mu = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}.$$

Измерив линейкой a и b , найдем коэффициент трения.

53. Если к бруску приложить на небольшом расстоянии h от основания горизонтально направленную силу F (рис. 29), превышающую силу трения $F_{\text{тр}} = \mu P$ (μ - коэффициент трения, P - сила тяжести бруса), брусок придет в движение. Если же сила приложена достаточно высоко, брусок может, не трогаясь с места, опрокинуться. Это будет в том случае, когда момент силы F относительно оси, проходящей перпендикулярно к плоскости чертежа через точку A , окажется больше момента силы тяжести P относительно той же оси $F \cdot a > P \cdot a/2$, где a - ширина бруска.

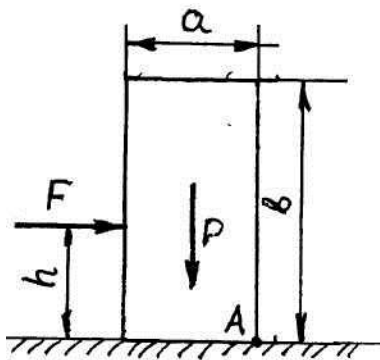


Рис. 29

Необходимо найти точку приложения силы F , в которой наблюдается переход от одного случая к другому. Тогда коэффициент трения может быть найден из системы: $F = \mu P$ и $F \cdot h = P \cdot a/2$, решая которую, получаем

$$\mu = a/2h.$$

Отсюда видно, что экспериментальное определение коэффициента трения таким способом возможно в том случае, если высота бруска b удовлетворяет условию

$$b > a/2\mu.$$

54. Если верить рассказу, Мюнхгаузену «удалось» собственными усилиями (их можно назвать внутренними силами) поднять центр тяжести системы

«всадник-лошадь» над поверхностью земли. Чтобы тело начало двигаться, на него должно подействовать другое тело, т.е. сила извне (внешняя). Так как барон действовал только внутренними силами, то он сдвинуть с места самого себя не мог. Нарушается первый закон динамики.

Тем более нарушается второй закон динамики, так как тело должно двигаться с ускорением, а силы нет. Нарушается также закон сохранения энергии.

55. Мюнхгаузену «удалось» собственными усилиями (внутренними силами) поднять центр тяжести системы «всадник-лошадь» над поверхностью земли. Велосипедист же, подтягивая руль на себя и поднимая колесо над земной поверхностью, одновременно притягивает себя к рулю. При этом центр тяжести системы «велосипед-человек» остается на прежнем уровне.

Так как велосипедист движется по земле, система «велосипед-человек» не замкнута и ее центр масс может быть поднят за счет реакции опоры (земли). Велосипедист в цирке, катящийся на двух колесах, затем поднимает переднее колесо и продолжает ехать на одном заднем. При этом высота центра масс увеличивается за счет отталкивания от земли.

56. Внешняя сила создается в результате трения между стулом и полом. Когда вначале вы «бросаете» свое тело вперед, стул не скользит. В это время сила трения сообщает системе тело-стул ускорение, и центр масс системы приобретает скорость. В дальнейшем центр масс по инерции движется вперед, а сила трения направлена назад и препятствует движению стула.

57. Гладкая горизонтальная поверхность и тело, лежащее на ней, находятся в покое. Если поверхность под действием какой-либо силы начинает двигаться с увеличением скорости, движется с ускорением a , то тело стремится остаться на месте, то есть начинает относительно поверхности двигаться с ускорением в противоположную сторону. На тело как бы действует сила, которую называют силой инерции. Она численно равна произведению массы тела m на ускорение поверхности a и направлена в противоположную сторону ускорению поверхности ($F=ma$). Сила инерции, например, прижимает нас к спинке кресла, когда трогается с места троллейбус или автобус. Она же может привести и к разрыву поезда.

Сцепки между вагонами выдерживают определенную силу натяжения. Если тепловоз резко трогается с места, то на сцепки начинает действовать сила инерции, возникает напряжение растяжения, иногда превышающее предел прочности сцепки, и происходит разрыв. Так как сила инерции пропорциональна массе, которую необходимо сдвинуть с места, то, вероятнее всего, разрыв произойдет в сцепках, ближайших к тепловозу, где сила инерции наибольшая.

58. Тяжелый железнодорожный состав трудно сдвинуть с места, когда сцепки между вагонами находятся в натянутом состоянии. В этом случае сила тяги тепловоза (электровоза) должна сообщить ускорение всему составу сразу (см. «Разрыв поезда»), возникает большая сила инерции. Если вначале дать задний ход, то сцепки между вагонами будут ослаблены и даже сжаты. При той же силе тяги тепловоз сможет сообщить значительно большее ускорение сначала ближайшей к нему части состава, а затем поочередно и всем остальным

вагонам. Следует заметить, что этому будут способствовать и силы упругости сцепок при их сжатии.

59. Молоток, лопату, вилы насаживают на рукоятку (черенок) ударами рукоятки (черенка) о массивный неподвижный предмет или ударами по рукоятке (черенку) каким-либо предметом, например, обухом топора по торцу рукоятки. В первом случае используется сила инерции движущегося молотка, во втором – сила инерции покоящегося молотка. Следует заметить, что легче насаживать более тяжелый молоток, так как в этом случае будет больше сила инерции.

60. Любой трос имеет определенную прочность на разрыв. Если груз в начале подъема резко трогается с места, то на трос начинает действовать сила тяжести груза и сила инерции (см. «Разрыв поезда»), которая при очень тяжелом грузе может во много раз превышать силу тяжести. Суммарное действие сил тяжести и инерции может превысить предел прочности троса, и он разорвется. Чтобы не произошел разрыв, необходимо увеличивать сечение троса или между тросом и крюком поставить пружину.

Во втором случае возникающая сила инерции действует сначала на пружину, она растягивается, и сила упругости пружины почти полностью компенсирует силу инерции; на трос при этом будет действовать практически только сила тяжести груза. Таким образом, отпадает необходимость в увеличении сечения троса.

61. При движении с постоянной скоростью усилие ног человека (F) расходуется на преодоление сил трения о дорогу ($F_{тр}$), т.е. $F=F_{тр}$. Каждая из этих сил должна приводить к вращению вокруг центра тяжести человека в точке O (рис.30).



До тех пор, пока силы равны и направлены в разные стороны, человек находится в равновесии. При переходе с песчаной дороги на скользкую сила трения уменьшается, а усилие ног остается прежним, равновесие нарушается и ноги «вырываются» вперед, а человек в результате вращения падает назад. При переходе со скользкой дороги на песчаную больше становится сила трения, и человек в результате вращения наклоняется вперед.

62. Если цель состоит в том, чтобы деформировать деталь (как, например, при ковке), то лучше применять неупругий удар. При каждом таком ударе молоток будет терять тем большую часть своей энергии, чем меньше его масса. Поэтому при ковке лучше пользоваться легким молотком.

При забивании сваи (гвоздя) желательно передавать ей возможно большую кинетическую энергию, чтобы возможно меньшая энергия терялась на деформацию. Следовательно, в этом случае лучше пользоваться тяжелым молотком. Скульптору тоже лучше пользоваться тяжелым молотком.

63. Летчик при помощи рулевого управления наклоняет самолет для того, чтобы за счет наклона возникала необходимая центростремительная сила. С кораблем это сделать невозможно; поэтому при повороте корабль отклоняется вследствие инерции в противоположную сторону. Аналогичная ситуация по-

вторяется для мотоцикла и автомобиля. Мотоцикл наклоняется в сторону поворота, а автомобиль – в противоположную сторону. При крутом повороте на большой скорости возникающая сила инерции может опрокинуть автомобиль.

64. Для того, чтобы убрать лист бумаги из-под гири, нужно резким движением дернуть лист, и покоящаяся гиря из-за инерциальных свойств останется на месте.

65. Если приятели будут подтягиваться друг к другу за веревку, то ускорения лодок будут одинаковыми только в том случае, если будут равны массы лодок с нагрузкой. В том случае, если массы не равны, то ускорения будут определяться так: $a_1 = F/m_1$ и $a_2 = F/m_2$.

Пути, пройденные лодками до встречи, поскольку время их движения одинаковы:

$$S_1 = a_1 t^2 / 2 \text{ и } S_2 = a_2 t^2 / 2.$$

Таким образом в равенстве масс лодок с поклажей и самими рыбаками могут быть уверены, добившись равенства путей, проходимых лодками до встречи. Сравнить пройденные пути легко, отмерив веревкой равные расстояния.

66. Привязываем, например, стограммовую гирьку к нити и подвешиваем полученный маятник к потолку вагона. При равноускоренном движении поезда на гирьку действует инерциальная сила $F=ma$, где m – масса гирьки, a – ускорение поезда. Сила F является равнодействующей силы тяжести P и силы натяжения нити T .

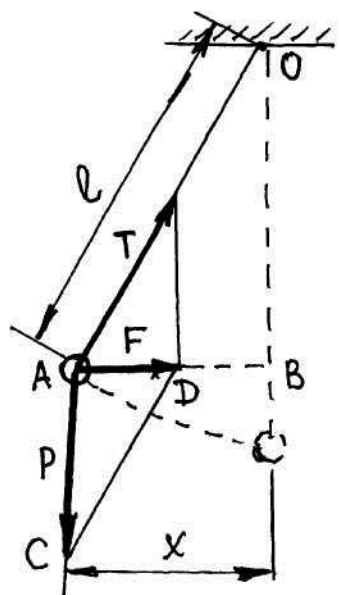


Рис. 31

Из подобия треугольников AOB и ACD (рис. 31) имеем:

$$\frac{AD}{AC} = \frac{AB}{OB} \text{ или } \frac{ma}{mg} = \frac{x}{\sqrt{l^2 - x^2}},$$

откуда получаем

$$a = g \frac{x}{\sqrt{l^2 - x^2}},$$

где l – длина нити, x – отклонение от положения равновесия, отсчитанное по горизонтали.

Таким образом, измерив длину подвеса и отклонение маятника, можно рассчитать ускорение поезда.

67. Путь, пройденный лодкой, будет одинаковым, так как на лодку в обоих случаях действует одинаковая сила со стороны рыбака, который стоит на берегу.

68. Когда за канат тянут по 4 человека с разной стороны, то силу натяжения определяют только 4 человека. Представить это можно, если за тело отсчета принять любую из команд.

Когда один конец каната привязан к столбу, а за второй тянут 8 человек, телом отсчета является столб и сила натяжения увеличится вдвое.

69. Чтобы кубик массой m вращался вместе с диском по окружности, равной R , делая n оборотов в секунду, к нему должна быть приложена со стороны диска центростремительная сила

$$F_{ц.с.} = \frac{mv^2}{R} = 4\pi^2 n^2 mR,$$

где v – линейная скорость центра тяжести кубика. Роль центростремительной силы играет сила трения $F_{тр} = \mu mg$.

Увеличивая постепенно радиус R , определяем его значение $R_{кр}$, при котором кубик перестанет удерживаться на вращающемся диске и сбрасывается с него. Измерив линейкой $R_{кр}$ и приравнявая $F_{ц.с.} = F_{тр}$, находим коэффициент трения:

$$\mu = 4\pi^2 n^2 R_{кр} / g.$$

70. Определение неизвестной массы тела с помощью линейки и гирьки иллюстрируется на рис. 32. Необходимо, например, на ребро трехгранного напильника положить середину линейки с делениями. Затем тело, массу которого необходимо определить, ставят на один конец линейки, подбирают соответствующую гирьку и ставят на другой конец линейки так, чтобы система тело-гирька находилась в равновесии. Тогда из условия равновесия рычага

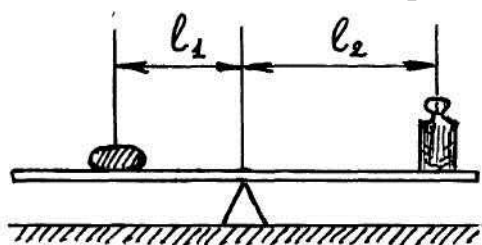


Рис. 32

можно найти искомую массу m_x . Величины l_1 и l_2 отсчитываются по делениям на линейке, а m_0 равна массе соответствующей гирьки. В равенстве, выражающем условие равновесия рычага, массу линейки можно не учитывать, так как относительно оси вращения момент этой силы равен нулю.

$$m_x g l_1 = m_0 g l_2$$

71. При фехтовании палками длина палки составляет примерно две длины руки от плеча до кисти. Если палку держат одной рукой за ее конец, то при размахе линейная скорость конца палки (точка В) будет в три раза больше скорости кисти руки, которая держит палку (точка А) (рис.33).

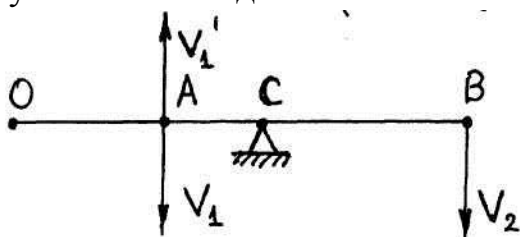


Рис. 33

В момент удара о другую палку (точка С) начинается вращение вокруг точки удара; отношение скоростей при вращении тоже должно быть равно трем, тогда скорости точки А в одну и в другую стороны должны быть равны и отдачи в руку не будет. Для этого длина палки должна быть поделена в отношении 1:3; поэтому удар должен быть проведен на расстоянии 3/4 длины палки от руки.

72. На неподвижное относительно вращающейся системы тело действует центробежная сила инерции, которая стремится удалить тело от оси вращения. Если же тело приходит в движение относительно вращающейся системы, появляется, независимо от направления движения тела, еще одна сила, названная в честь французского физика Г. Кориолиса (1792-1843) силой Кориолиса, или ко-

риолисовой силой инерции, действующей под прямым углом к скорости движения тела в радиальном направлении.

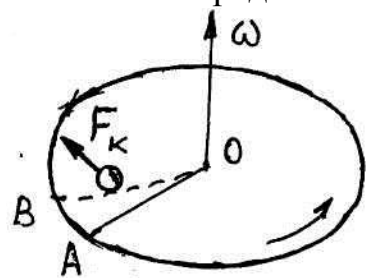


Рис. 34

Появление кориолисовой силы можно обнаружить на следующем примере. Возьмем горизонтально расположенный диск, который может вращаться вокруг вертикальной оси. Прочертим на диске прямую OA в радиальном направлении (рис. 34). Запустим в направлении от O к A шарик со скоростью v . Если диск не вращается, то шарик будет катиться вдоль прямой OA. Если же диск привести во вращение в направлении, указанном

стрелкой, то шарик будет катиться по пунктирной прямой OB, причем его скорость относительно диска V будет изменять свое направление. Следовательно, по отношению к вращающейся системе отсчета шарик ведет себя так, как если бы на него действовала сила F_k , перпендикулярная к вектору скорости V . Сила F_k и есть кориолисова сила, которая определяется по формуле:

$$F_k = 2m \cdot V \cdot \omega,$$

где m – масса движущегося тела, V – скорость тела в радиальном направлении, ω – условная скорость вращающейся системы.

Земля – вращающаяся система отсчета, но люди, идущие по поверхности Земли, не замечают действия кориолисовой силы только потому, что ее величина мала вследствие сравнительно медленного вращения Земли. Однако именно сила Кориолиса приводит к тому, что все реки, текущие в северном полушарии в самых разных направлениях, подмывают сильнее правые берега, а в южном – левые (этот закон был сформулирован русским географом К.М. Бэрмом в 1857 году). По этой же причине ветры и морские течения в северном полушарии заворачивают направо, а в южном – в противоположную сторону.

Сила Кориолиса исчезает только в том случае, когда скорость предмета направлена вдоль оси вращения системы. Если движение происходит в перпендикулярном направлении, то сила Кориолиса максимальна.

Используя сведения о силе Кориолиса, можно определить направление вращения платформы с помощью небольшого стального шарика следующим образом. Необходимо встать в центре лицом к периферии платформы и покачать шарик от себя. Из-за вращения платформы и появляющейся по этой причине силы Кориолиса траектория его не будет прямой линией. Если наблюдается отклонение направо, вращение происходит против часовой стрелки (если смотреть на платформу сверху), и наоборот.

Отметим, что задачу можно решить, и не привлекая силу Кориолиса, а на основании первого закона динамики (закона инерции).

73. Как показывает опыт и расчеты, устойчивым является вращение вокруг осей, соответствующих максимальному и минимальному моментам инерции тела. Вращение же вокруг оси, соответствующей промежуточному значению момента инерции, неустойчиво, и всякое малое возмущение в этом случае приводит к беспорядочному движению.

74. Держа в руке кофемолку, в момент включения ощущается толчок, стремящийся повернуть ее в сторону, противоположную направлению вращения. То есть выполняется закон сохранения импульса.

75. Для каждого автомобиля существует некое максимальное угловое ускорение, которое можно сообщить колесу при данной мощности автомобиля.

Чем больше диаметр шины, тем большее расстояние проходит автомобиль при каждом обороте колеса и тем больше его линейное ускорение. Однако при ограниченной мощности двигателя установка шин большего диаметра приведет к уменьшению углового ускорения, в результате линейное ускорение останется прежним. Быстрее автомобиль двигаться не будет. А если учесть, что масса шин будет больше, то линейное ускорение даже станет меньше.

76. У утки лапы расставлены шире, чем у курицы. Поэтому ее центр тяжести находится дальше от точки опоры и за время шага, который у утки и у курицы примерно одинаков, утка поворачивается на больший угол, чем курица: больше момент силы тяжести относительно точки опоры, и поэтому больше угловое ускорение и угловая скорость вращения.

77. До начала движения человека сумма импульсов человека и аэростата равна нулю. При движении человека вверх по лестнице аэростат должен начать опускаться вниз с такой скоростью U , чтобы сумма импульсов аэростата и человека по-прежнему осталась равной нулю.

Скорость человека относительно земли будет $v_1 = v_0 - U$, так как при движении человека вверх со скоростью v_0 лестница вместе с аэростатом будет опускаться вниз со скоростью U . Импульс человека будет равен mv_1 , импульс аэростата равен $-MU$, и сумма импульсов человека и аэростата

$$m(v_0 - U) - MU = 0,$$

отсюда: $U = \frac{mv_0}{M+m}$.

78. Сила F является мерой действия одного тела на другое; при этом у тела массой m в результате действия силы изменяется скорость от v_1 до v_0 за промежуток времени Δt : $F = m \frac{v_1 - v_2}{\Delta t} = \frac{mv_1 - mv_2}{\Delta t}$. Таким образом, зная скорость до и после взаимодействия, можно найти силу, действующую на это тело.

Стальной шарик в результате удара о стенку упруго отталкивается и летит в обратном направлении, поэтому изменение скорости будет равно $\Delta v = v_1 - (-v_2) = v_1 + v_2$. Пластилинный шарик при ударе прилипнет к стенке (неупругий удар), и изменение скорости для него будет равно $\Delta v = v_1 - 0 = v_1$. Так как изменение скорости для стального шарика больше, то и сила, действующая на стенку, будет больше.

79. Теннисный мяч, летящий со скоростью V , налетает на подставленную ракетку (находящуюся в покое), в результате упругого соударения полетит в обратную сторону со скоростью V . Если же к ракетке прикладывать усилие и она будет двигаться со скоростью v , то относительно ракетки мяч полетит в обратную сторону со скоростью $2V$. А так как ракетка перемещается в ту же сторону со скоростью V , то относительно корта скорость будет равна $3V$.

Все рассуждения будут верны, если все удары будут абсолютно упругими и нет сопротивления воздуха.

80. В первом случае лодка и вентилятор представляют собой замкнутую систему, поэтому лодка останется на месте. Во втором случае лодка станет двигаться в направлении, обратном потоку воздуха.

81. До броска камня на берег легкая надувная лодка (или груженная баржа), человек и камень находятся в покое и, естественно, общий импульс всей системы равен нулю. После броска камня массой m на берег лодка (баржа) с человеком массой M начнет двигаться от берега (отдача) со скоростью U , а камень полетит на берег со скоростью, которая будет равна скорости броска v минус скорость лодки U . Камень получает импульс $m(v-U)$, равный импульсу лодки (баржи) с человеком $m(v-U)=MU$. Из равенства импульсов найдем скорость лодки (баржи) с человеком после броска: $U = \frac{mv}{m+M}$.

Из полученного уравнения следует, так как масса груженной баржи с человеком будет намного больше массы камня, то баржа после броска практически останется на месте и камень с баржи полетит дальше, чем с легкой надувной резиновой лодки.

82. После соскальзывания тела 2 горка с телом 3 поедет со скоростью v_1 , в два раза меньше скорости v_0 тела 2, так как из закона сохранения импульса $0 = mv_0 + 2mv_1$ и $v_1 = -v_0/2$. Горка с телом 3 поедет в правую сторону (рис.12). Тело 3 соскальзывает относительно движущейся горки, обладая такой же начальной потенциальной энергией, как и тело 2, и, следовательно, такой же начальной скоростью v_0 , но относительно горки. Тогда горка должна двигаться в левую сторону с такой же скоростью. Так как эта скорость будет превышать примерно в два раза скорость движения горки вправо, то горка после соскальзывания тела 3 будет двигаться в левую сторону.

83. Сдвинуться с места на идеально гладкой поверхности можно только одним способом. Необходимо создать подобие реактивного двигателя, бросая с силой какие-либо предметы. Бросать их нужно в одном направлении, чтобы сила реакции отталкивала вас к какому-либо краю площадки.

84. Мера механического движения, определяемого массой движущегося тела m и его скоростью v , называется количеством движения или импульсом. Импульс тела равен произведению массы этого тела на его скорость и направлена так же, как скорость: $\vec{p} = m\vec{v}$. Когда братья толкают друг друга, и неважно, кто кого, они приобретают одинаковые импульсы, направленные в противоположные стороны. Скорость движения младшего брата после отталкивания всегда будет больше – во столько раз, во сколько раз его масса будет меньше массы старшего брата.

85. При движении человека относительно ленты со скоростью v лента начнет двигаться в обратном направлении со скоростью U , и тогда импульс человека массой m относительно земли будет равен $m(v-U)$. Резиновая лента с роликами массой M будет иметь импульс MU . До начала движения человека суммарный импульс всей системы был равен нулю, после начала импульс движения человека и импульс ленты также будет равен нулю $m(v-U)-MU=0$. Тогда

скорость ленты $U = \frac{mv}{M+m}$, а человека относительно земли $(v - U) = \frac{mv}{M+m}$, т.е. человек не останется на месте, а будет перемещаться.

86. Рассмотрим модель простейшей кристаллической решетки. Одинаковые шары расставлены так, что их центры образуют узлы квадратной решетки. Зазоры между ближайшими шарами одинаковы и очень малы по сравнению с их радиусами (рис.35).

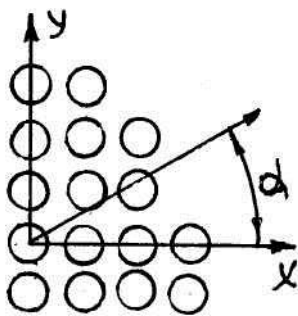


Рис. 35

Одному из этих первоначально покоящихся шаров сообщили скорость v под углом α к стороне квадратной ячейки (в результате упругого столкновения нейтрона с атомом). Два ближайших шара получают скорости, направленные по взаимно перпендикулярным сторонам ячейки, а первоначально движущийся шар остановится. В дальнейшем переходит передача этих скоростей следующим шарам, находящимся в соответствующих рядах.

Последний шар, находящийся в ряду, вылетает с противоположной стороны всегда в одном направлении независимо от угла падения шара на поверхность.

87. Чтобы остановить мяч, игрок должен действовать на мяч со средней силой $F = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$, где Δv - изменение скорости мяча и Δt - время, в течение которого мяч останавливается. Расслабляя руки и подаваясь назад, игрок в мяч увеличивает время Δt и тем самым ослабляет силу, с которой он должен действовать на мяч, а значит, и силу удара. Неопытный игрок, наоборот, напрягает руки, и человек тем самым увеличивает силу удара, рискуя при этом упустить мяч.

88. Реактивное движение реактивных двигателей используется в снарядах, ракетах, самолетах. Реактивный снаряд – это неуправляемый в полете снаряд современных наземных, авиационных и морских реактивных систем залпового огня; доставляется к цели за счет тяги встроенного в него реактивного двигателя. Первый в мире реактивный боевой снаряд создал и практически применил генерал русской армии А.Д. Засядько в 1828-1829 гг. в войне с Турцией. Траектория реактивного снаряда состоит из двух участков: активного, на котором работает реактивный двигатель, и пассивного, на котором снаряд движется по инерции.

Ракета – летательный аппарат, движущийся под действием реактивной силы, возникающей при отбрасывании части собственной массы. Ракета является основным видом летательных аппаратов, полет которых не требует обязательного наличия атмосферы, что позволяет использовать ракеты в качестве технического средства для полета в космическом пространстве. Существует много различных типов ракет.

По числу ступеней ракеты делятся на одноступенчатые и составные (многоступенчатые). Одноступенчатая баллистическая ракета состоит из полезного груза и ракетного блока, образованного из ракетной двигательной установки с топливным отсеком с запасом химического реактивного топлива. Основной характеристикой баллистической ракеты является скорость, которая может быть

достигнута в конце активного участка при движении по прямой (вне атмосферы и поля земного тяготения) под действием только силы тяги реактивного двигателя. Одноступенчатая ракета практически не способна обеспечить необходимую скорость для осуществления космического полета. Для этой цели используется составная ракета – носитель, представляющая собой в исходном состоянии первую ступень, которая начинает работать с момента пуска. На первом этапе активного участка ракетный блок первой ступени отделяется, разгон полезного груза продолжает вторая ступень и т.д. Составная ракета может сообщить полезному грузу значительно большую скорость по сравнению с одноступенчатой ракетой той же стартовой массы при одинаковом запасе топлива и массе полезного груза.

На реактивных самолетах применяется в основном воздушно-реактивный двигатель, в котором основную массу рабочего тела составляет атмосферный воздух. Тепловой цикл этого двигателя включает процессы сжатия воздуха, подвод теплоты и расширение нагретого газа. При истечении газа из реактивного сопла создается реактивная тяга. При использовании химического горючего содержащийся в воздухе кислород служит окислителем и обуславливает высокую экономичность воздушно-реактивных двигателей по сравнению с ракетами. По способу сжатия воздуха, поступающего в камеру сгорания, воздушно-реактивные двигатели делятся на бескомпрессорные, в которых сжатие происходит только в воздухозаборнике за счет кинетической энергии набегающего воздушного потока, и компрессорные, в которых кроме сжатия в воздухозаборнике используется еще компрессор для дополнительного сжатия воздуха. Тяга воздушно-реактивного двигателя зависит от высоты и скорости полета, которая может достичь вершины, равной пяти скоростям звука, т.е. 6000 км/ч.

89. Двигатель, установленный посередине автомобиля, обладает меньшим моментом инерции относительно центра масс автомобиля, поэтому для поворота автомобиля будет нужен меньший момент сил.

90. Головоногие моллюски, которые не имеют ни плавников, ни хвоста, как рыбы, используют для перемещения в воде реактивное движение. Ярким примером такого движения могут быть кальмары. Для быстрого броска кальмар использует реактивный двигатель. Основой его является мантия – мышечная ткань. Она окружает тело моллюска со всех сторон, образуя своеобразный резервуар (мантийную полость), в которую периодически засасывается вода. В мантийной полости находятся жабры и внутренние органы кальмара. Объем мантийной полости составляет почти половину объема тела моллюска. При реактивном способе плавания животное производит засасывание воды через широко открытую мантийную щель внутрь мантийной полости, затем щель плотно закрывается. Сила, вызывающая движение животного, создается за счет выбрасывания струй воды через узкое сопло (воронку), которое расположено на брюшной поверхности кальмара. Это сопло может поворачиваться в любую сторону, и кальмар плавает одинаково хорошо как вперед, так и назад. На забор воды и ее выталкивание животное затрачивает доли секунды. Засасывая воду в мантийную полость в кормовой части тела, кальмар тем самым осуществляет отсос пограничного слоя, предотвращая таким способом срыв потока при не-

стационарном режиме обтекания. Изменяя пропорции выбрасывания воды и частоты сокращения мантии, кальмар легко меняет скорость движения.

На том же принципе основано и движение медузы: сокращением мускулов она выталкивает из-под своего колоколообразного тела воду, получая толчок в обратном направлении. Сходным приемом пользуются при движении сальпы, личинки стрекоз и даже некоторые рыбы.

91. Фигурист, совершающий вращение вокруг вертикальной оси, в начале вращения приближает руки к корпусу, тем самым уменьшая свой момент инерции, а так как момент импульса должен остаться неизменным, то увеличивается угловая скорость вращения. В конце вращения происходит обратный процесс: при разведении рук увеличивается момент инерции и уменьшается угловая скорость, что позволяет легко остановиться.

Гимнаст, выполняя сальто, в начальной фазе полета сгибает колени и прижимает их к груди, уменьшая тем самым момент инерции и увеличивая угловую скорость вращения вокруг горизонтальной оси. В конце прыжка тело выпрямляется, момент инерции возрастает, угловая скорость уменьшается.

92. Для поворота вокруг продольной оси космонавту, находящемуся в состоянии невесомости, необходимо поднять руку над головой и двигать ею по окружности в сторону, противоположную желаемому повороту.

93. При повышении температуры окружающей среды металлический обруч начнет расширяться и радиус обруча увеличится. Увеличение радиуса приведет к увеличению момента инерции, а угловая скорость вращения в соответствии с законом сохранения момента импульса уменьшится.

94. Момент импульса кошки остается постоянным при свободном падении, так как моменты внешних сил отсутствуют. Однако, вытягивая или прижимая к телу передние или задние лапы, кошка может сделать так, что момент инерции передней части ее тела относительно центральной оси окажется отличным от момента инерции задней части тела. Например, если она вытягивает передние лапы, а затем поворачивает заднюю часть тела, то передняя поворачивается в противоположную сторону, но не так быстро и на меньший угол. Поэтому все тело несколько поворачивается в том направлении, в каком поворачивается задняя часть тела. Затем кошка поджимает передние лапы и вытягивает задние. Далее все повторяется сначала и поворот в нужном направлении еще увеличивается. Поворот ускоряется, если кошка еще и вращает хвостом.

Борисовский Василий Васильевич

ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО
И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ
(теория и практика)

Методическое пособие для студентов всех направлений

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано к печати 30.09 .13. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 3,13. Тираж 30 экз. Зак. 131208. Рег. № 60.

Отпечатано в РИО Рубцовского индустриального института
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.