ГЛАВА 4. РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

§ 60 (53). МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ

В обыденной жизни словом "работа" мы называем всякое полезное действие человека или устройства. Например, мы говорим: работает плотник, работает холодильник, работает компьютер. Понятие *работы* в физике несколько иное. Это определенная физическая величина, а значит, ее можно измерить. В *механике* изучают ***механическую работу*** которая ***совершается силой, действующей по направлению траектории перемещаемого ей тела.***

Рассмотрим примеры механической работы.

Тележка передвигается под действием приложенной к ней силы. Сила совершает работу.

При выстреле из ружья сила давления пороховых газов совершает работу – перемещает пулю вдоль ствола, скорость пули при этом увеличивается.

Механическая работа совершается и в том случае, когда сила (например, сила трения), действуя на тело, уменьшает скорость его перемещения.

Из этих примеров видно, что ***механическая работа совершается, когда на тело действует сила и перемещает его. Когда сила*** (например, сила трения) ***противоположна перемещению, работа считается отрицательной.***

На неподвижный груз, висящий на веревке, действует сила тяжести, но груз не перемещается, поэтому механическая работа в этом случае не совершается. Желая передвинуть шкаф, мы с силой на него надавливаем, но если он при этом не перемещается, то механической работы мы не совершаем. ***Если есть сила, а нет перемещения, то нет и работы.***

Можно мысленно представить себе случай, когда тело движется без участия сил (по инерции), в это случае механическая работа также не совершается. ***Без действия на тело силы, не может быть и работы.***

Итак, механическая работа совершается тогда, когда на тело действует сила, и оно перемещается под действием этой силы. Поэтому условились измерять механическую работу произведением силы на путь, пройденный по направлению силы.

В дальнейшем, говоря о механической работе, мы будем кратко называть ее одним словом – *работа*.

а). Рассмотрим сначала простейший случай – постоянная по величине сила F действует в направлении прямолинейного перемещения s. Тогда:

$$\boxed{\text{Работа} = \text{сила} \times \text{путь}; \quad A = F \cdot s. \qquad [1.4,a]}$$

.

Здесь обозначено:

A – механическая работа, *Дж*, то
F – приложенная сила, *Н*;
s – пройденный путь, *м*.

Очень важно уметь рассчитывать работу. Нетрудно понять, что совершенная работа зависит от силы и от длины пути.

Допустим, что мы подняли груз массой 1 кг на высоту 1 м. Для этого нам пришлось приложить силу 9,8 Н. Мы совершили при этом определенную работу. Чтобы поднять на ту же высоту груз массой 5 кг, мы должны приложить силу в 5 раз большую. Совершенная работа в этом случае также будет в 5 раз больше. Ведь работу по поднятию груза массой 5 кг на высоту 1 м можно рассматривать как работу по поднятию груза массой 1 кг на высоту 1 м, повторенную 5 раз.

Поднимем теперь груз массой 1 кг не на 1 м, а, например, на 3 м.

Работа на протяжении первого, второго и третьего метров, очевидно, будет одинакова. Поэтому работа, совершенная по поднятию груза на 3 м, будет в 3 раза больше работы, совершаемой по поднятию его на 1 м.

Рассмотренные примеры показывают, что механическая работа прямо пропорциональна силе и прямо пропорциональна длине пути.

Единица измерения механической работы – 1 *джоуль*=1 *Дж*[1] = 1 *Н·м*.

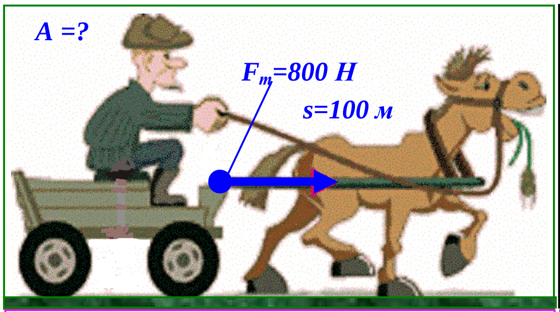


Рис. 1.4. Лошадь передвигает телегу, совершая механическую работу:
A = Fs =800 Н ×100 м = 80000 Дж = 80 кДж

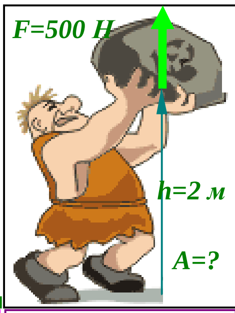


Рис. 2.4. Работа совершается при подъёме камня.

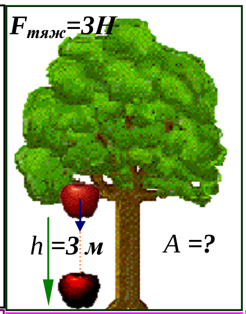


Рис.3.4. Земля притягивает яблоко, оно падает.

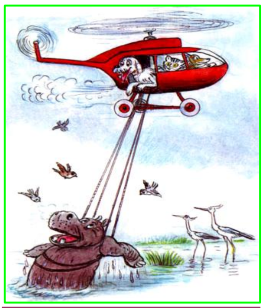


Рис. 4.4. Ох, нелегкая это работа – из болота тащить…

Рис. 5.4. Подводной лодке необходимо пройти путь s =12 км. При скорости движения 30 км/ч лодка испытывает силу сопротивления 20 кН, а при скорости 20 км/ч – 10 кН. Определить работу $A_д$, которую необходимо совершить движущей силе $\boldsymbol{F_д}$ *при движении лодки с этими скоростями.*

Когда лошадь передвигает телегу, она совершает механическую работу, *рис. 1.4*.

Поднимая камень с силой *F=500Н*, на высоту *h=2м*, человек совершает работу *A= Fh =500 Н × 2 м = 1000 Дж = 1 кДж, рис. 2.4.*

Яблоко падает с высоты *h=3м* под действием земного притяжения $F_{тяж}$*=3Н*. Земля совершает работу *A = Fh = 3Н×3м = 9 Дж, рис. 3.4.*

Вспомните сказку К. И. Чуковского: «*Ох, нелёгкая это работа – из болота тащить бегемота*», *рис. 4.4.* Совершается ли механическая работа, когда из болота удаётся вытащить бегемота? А если вытащить его не удастся?

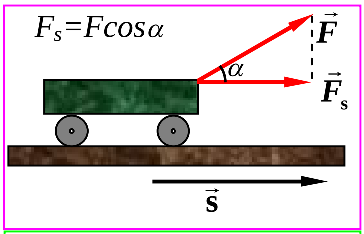


Рис. 6.4. Сила $\vec{F}$ *действует под углом α к перемещению* $\vec{s}$

Если необходимо преодолеть некоторое расстояние *s*, как следует двигаться – быстро или медленно? С малой скоростью двигаться легче, но времени потребуется больше? А в каком случае придётся затратить большую механическую работу? Ведь при большей работе приходится затрачивать больше топлива при передвижении на автомобиле, в поезде, на теплоходе. Решите задачу, представленную на *рис. 5.4.* Полученный результат можно обобщить и на другие виды транспорта. Сделав это, вы сможете правильно выбирать скорость перемещения в различных случаях.

б). *Постоянная сила* $\vec{F}$ *может совершать работу A, действуя под углом α к прямолинейному перемещению* $\vec{s}$ (*рис. 6.4; 7.4*).

Если сила $\vec{F}$ и перемещение $\vec{s}$ составляют между собой некоторый угол α≠0, то работа *A* равна произведению модулей силы и перемещения, умноженному на косинус угла α между векторами силы $\vec{F}$ и перемещения $\vec{s}$:

$$A = F \cdot s \cos\alpha = F_s \cdot s \qquad [1.4,б]$$

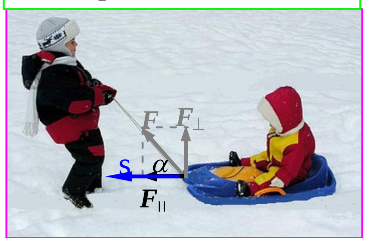


Рис. 7.4. Работу может совершать только составляющая силы $\boldsymbol{F_{||}}$*, направленная по траектории.*

[1] В честь английского ученого Д. Джоуля. Используются также и *килоджоули* (кДж).
1 кДж = 1000 Дж; 1 Дж = 0,001 кДж.

Обратите внимание, что в формулу [*1.4,б*] входят не сила и перемещение, а их *модули*. Поэтому ***механическая работа А – скалярная величина; она не имеет направления и характеризуется лишь численным значением.***

Механическая работа, в зависимости от значения угла α, может быть положительной ($A>0$), *отрицательной* ($A<0$) *или равной нулю* ($A=0$), *см. табл.*

α	$\cos\alpha$	A	Примечание
$\alpha = 0$ $\quad F \parallel \Delta s$	$\cos\alpha = 1$	$A=Fs$	*Сила (движущая) «разгоняет» тело;* $A>0$
$0^0 < \alpha < 90^0$	$\cos\alpha > 0$	$A>0$	
$\alpha = 90^0$; $\quad F \perp \Delta s$	$\cos\alpha = 0$	$A=0$	*Сила «изгибает траекторию» тела*
$90^0 < \alpha < 180^0$	$\cos\alpha < 0$	$A< 0$	*Сила (сопротивления) «тормозит» тело;* $A< 0$
$\alpha = 180^0$ $\quad F \parallel \Delta s$	$\cos\alpha = -1$	$A= -Fs$	

Таким образом, если сила и перемещение сонаправлены или угол между ними острый, то $A>0$, *рис. 1.4 – 3.4; 5.4; 6.4; 7.4.*

Если направление силы противоположно направлению перемещения или составляют с ним тупой угол, то $A<0$.

Так будет, если в примере *рис. 5.4* рассматривать работу A_c силы сопротивления F_c, она будет отрицательной (т. к. $\mathbf{F_д} = -\mathbf{F_c}$): $A_д = -A_c$.

Если же сила перпендикулярна перемещению, то $A=0$, тело движется по инерции, а его траектория представляет собой окружность, причём сила оказывается направленной по её радиусу к центру, *рис. 8.4*.

Именно поэтому планеты движутся по круговым орбитам миллиарды лет, совершая движение по инерции.

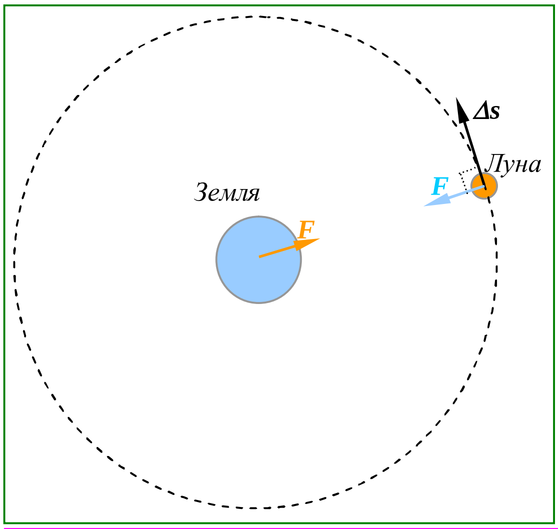


Рис. 8.4. При движении Луны по орбите, на неё действует сила притяжения Земли, перпендикулярная перемещению: $F \perp \Delta s$. *Поэтому она работы не совершает* ($A=0$), *но «изгибает» траекторию Луны, превращая её в окружность.*

Очевидно, что формула [*1.4,а*] является частным случаем более общей формулы [*1.4,б*].

в). Однако возможен ещё более общий случай: действующая сила $\vec{F}(s)$ может при перемещении тела *изменяться*, а траектория перемещения тела может быть *криволинейной.*

В этом случае криволинейную траекторию можно приближённо заменить ломанной (из n прямых отрезков), *рис. 9.4,* и рассматривать элементарную работу ΔA_i, совершаемую силой $\vec{F}_i$ на каждом из перемещений $\Delta\vec{s}_i$ по каждому из «n» малых участков такой траектории, *рис. 9.4 (где условно показано три прямолинейных участка ломаной траектории: n=3).* Элементарная работа на i-том участке представится формулой, аналогичной [*1.4,б*]:

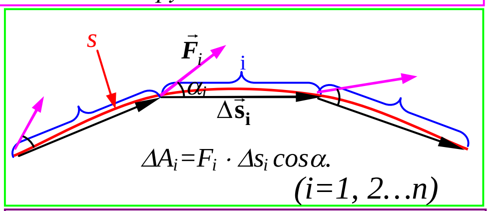


Рис. 9.4. Работа на криволинейной траектории s *с переменной силой Fcosα.*

$$\Delta A_i = F_i \cdot \Delta s_i \cos\alpha. \qquad [1.4,б]^*$$

Искомая работа A на всей траектории s равна сумме работ ΔA_i на всех её участках:

$$A = \Delta A_1 + \Delta A_2 + \ldots + \Delta A_n.$$

Работа A переменной силы $F(s)$ представляется площадью криволинейной трапеции $ABCD$. Точный результат получится лишь *в пределе*, когда траектория будет разбита на очень большое число ($n \to \infty$) очень малых перемещений (Δs_i):

$$A = \text{площадь } ABCD = \lim_{n\to\infty}(\Delta A_1 + \Delta A_2 + \ldots + \Delta A_n),$$

рис. 10.4.

Площадь криволинейной трапеции (*в данном случае ABCD, соответствующий работе A на траектории* s) есть ***интеграл,*** взятый в пределах от начальной до конечной абсциссы (*от A до B*). Поэтому работа переменной силы выражается интегралом:

$$A=\lim(\Delta A_1+\Delta A_2+\ldots+\Delta A_n)=\int_{s_A}^{s_2} F(s)\cos\alpha ds. \qquad [1.4,в]$$

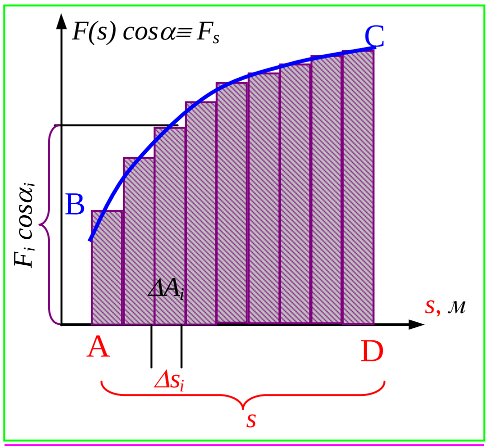


Рис. 10.4. Работа A переменной силы F(s) представляется площадью криволинейной трапеции ABCD, т. к.
$\Delta A_i=F_i\cdot\Delta s_i\cos\alpha_i\equiv F_{si}\cdot\Delta s_i$;
$A=\Delta A_1+\Delta A_2+\ldots+\Delta A_n$. $(n\to\infty)$

Это наиболее общая формула для вычисления механической работы.

Вопросы

1. *Какие два условия необходимы для совершения механической работы?*
2. *От каких двух величин зависит совершенная работа?*
3. *Что принимают за единицу работы?*
4. *Дайте определение единицы работы* 1 *Дж. Какие еще единицы работы вы знаете?*

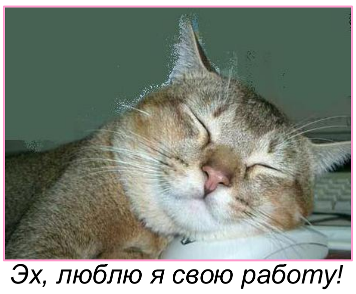
Упражнение

1. В каких из перечисленных ниже случаев совершается механическая работа: мальчик влезает на дерево; девочка играет на пианино; вода давит на стенку сосуда; вода падает с плотины?
2. По гладкому горизонтальному льду катится стальной шарик. Допустим, что сопротивление движению шарика (т. е. трение о лёд, сопротивление воздуха) отсутствует. Совершается ли при этом работа?
3. При помощи подъемного крана подняли груз массой 2500 кг на высоту 12 м. Какая работа при этом совершается?
4. Какая работа совершается при подъеме гидравлического молота массой 20 т на высоту 120 см?

Задание

1. Вычислите механическую работу, которую вы совершаете, равномерно поднимаясь с первого на второй этаж здания школы. Все необходимые данные получите сами, результат запишите в тетрадь.
2. Рассчитайте, какую механическую работу вы совершаете, равномерно проходя 1 км пути по горизонтальной дороге. Результаты запишите в тетрадь.

Указание. Человек, равномерно идя по ровному горизонтальному пути, совершает примерно 0,05 той работы, которая требовалась бы для поднятия этого человека на высоту, равную длине пути.



Эх, люблю я свою работу!

§ 61 (54). МОЩНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ

На совершение одной и той же работы различным машинам, устройствам, лошади, человеку требуется разное время.

Например, подъемный кран на стройке за несколько минут поднимает на верхний этаж здания сотни кирпичей. Если бы эти кирпичи перетаскивал рабочий, то ему для этого потребовалось бы несколько часов, *рис. 11.4*. Другой пример. Гектар земли лошадь может вспахать за 10-12 ч, трактор же с многолемешным плугом эту работу выполнит за 40-50 мин.

Ясно, что подъемный кран ту же работу совершает быстрее, чем рабочий, а трактор – быстрее, чем лошадь.

Рис. 11.4. Кран за минуты сделает то, на что рабочему нужны часы.

Рис. 12.4. Гектар земли лошадь может вспахать за 10-12 ч, трактор же с многолемешным плугом эту работу выполнит за 40-50 мин.

Быстроту выполнения работы характеризуют особой величиной, называемой ***мощностью***. Это основная характеристика любой машины или устройства, используемого для совершения работы.

Мощность равна отношению работы ко времени, за которое, она была совершена.

Чтобы вычислить мощность (среднюю), *надо работу разделить на время, в течение которого совершена эта работа.*

$$\text{мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}},$$

или

$$N = \frac{A}{t}, \qquad [2.4]$$

где N – мощность, A – работа, t – время выполнения работы[1].

Если на движущееся со скоростью $v=s/t$ тело действует сила F, которая совершает работу $A = F\cdot s$, то можно написать:

$$N = F\cdot v \qquad [3.4]$$

Таким образом, **если сила *F* перемещает тело со скоростью *v*, то мощность равна произведению этой силы и скорости тела.**

За единицу мощности принимают такую мощность, при которой в 1 с совершается работа в 1 Дж.

Эту единицу называют ***ваттом*** (Вт) в честь английского ученого *Уатта.*

Итак,

$$1\ \text{ватт} = \frac{1\,\text{джоуль}}{1\,\text{секунда}},\ \text{или}\ 1\ \text{Вт} = 1\ \text{Дж/с}$$

Ватт (*джоуль в секунду*) → 1 Вт (*Дж/с*).

В технике широко используют более крупные единицы мощности - *киловатт* (кВт), *мегаватт* (МВт).

1 МВт = 1 000 000 Вт   *1 Вт == 0,000 001 МВт*
1 кВт = 1000 Вт   *1 Вт = 0,001 кВт*
1 мВт = 0,001 Вт   *1 Вт = 1000 мВт.*

---

[1] Таким образом, *мощность можно определить как скорость совершения работы.*

Для оценки мощности иногда применяется также устаревшая единица мощности – ***лошадиная сила*** (***л. с.***); *1 л. с. = 736 Вт*. Это гораздо больше мощности обычной лошади, которая может работать продолжительное время с мощностью 400 – 500 Вт. Кратковременно лошадь может развивать мощность в несколько кВт.

Человек создаёт двигатели как очень малой, так и большой мощности. Пружинный двигатель ручных часов имеет мощность порядка 10^{-7} Вт, а двигатель океанского теплохода – сотни тысяч кВт. Ещё больше мощность двигателей космических ракет ($2 \cdot 10^7$ кВт), *рис 13.4.*

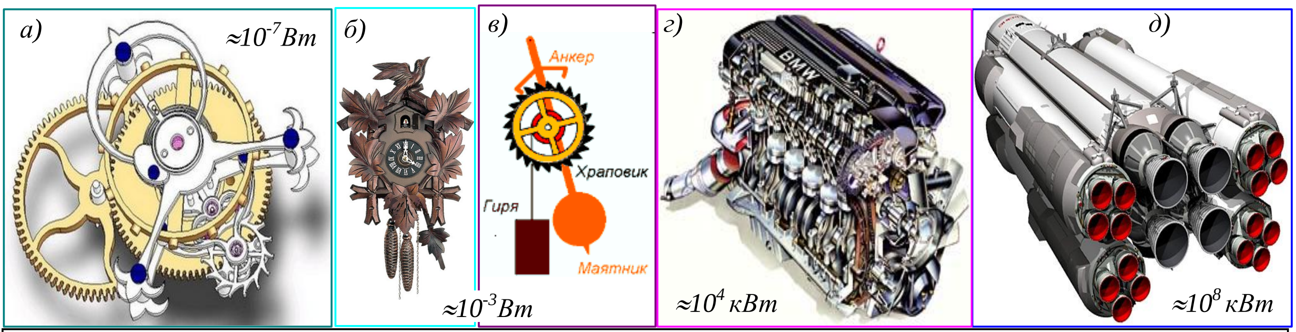


Рис. 13.4. а) Механизм ручных часов с пружиной; б) Часы-ходики с гирями для боя и хода; в) Гиревой привод – двигатель часов-ходиков (схема); г) Двигатель тепловоза. д) Двигатели ракеты-носителя «Энергия»;

Мощность человека при нормальных условиях работы в среднем равна 70-80 Вт. Совершая прыжки, взбегая по лестнице, человек может развивать мощность до 730 Вт, а в отдельных случаях и большую.
Способность кратковременного увеличения мощности – необходимое качество для спортсмена (при прыжках, беге на малые дистанции, при поднятии штанги). Наоборот, при поднятии по лестнице, ходьбе важно при небольшой мощности совершить большую работу, но времен потребуется больше.

Пример:

Гиря часов-ходиков массой $m = 5$ *кг* за сутки опускается на $h=1{,}20$ *м*. Определим мощность $N=?$.

Действующая сила (вес гири) $F = mg = 5кг \cdot 9{,}8м/с^2=49Н$. Совершенная работа $A = F \cdot h = 49\ Н \cdot 1{,}2\ м = 58{,}8$ Дж.

В сутках *24 ч = 86 400 с*. Скорость движения гири v = 1,2 м / 86400 с = 0,000 01389 м/с = $1{,}389 \cdot 10^{-5}$ м/с.

Мощность можно вычислить по любой из рассмотренных формул [2.4] или [3.4]:

$$N = \frac{A}{t} = 58{,}8\ Дж/86400с = 6{,}8 \cdot 10^{-4}\ Вт$$

$$N=F \cdot v= 49\ Н \cdot 0{,}00001389\ м/с=0{,}00068\ Вт =6{,}8 \cdot 10^{-4}\ Вт.$$

Мощность N (*скорость совершения работы*) – величина постоянная, когда за всё время t каждую секунду совершается одинаковая работа. В других случаях отношение $\Delta A/\Delta t$ определяет среднюю мощность (*среднюю скорость совершения работы*) за промежуток времени Δt, в течение которого совершена работа ΔA:

$$N_{ср}=\Delta A/\Delta t. \quad [2.4а]$$

Иногда используется понятие *мгновенной мощности* (*мгновенной скорости совершения работы*)[2]:

$$N = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}. [2.4б]$$

Мощность некоторых двигателей, кВт

Таблица

Автомобиль Волга-3102.	70	Ракета-носитель космического корабля	
Самолет Ан-2	740		
Дизель тепловоза ТЭI0Л	2200	«Восток»	15 000 000
Вертолет Ми-8	2 X 1100	«Энергия»	125 000 000

[2] Вспомните понятия мгновенной скорости и мгновенного ускорения, см. §§ 19, 20.

На каждом двигателе имеется табличка (паспорт двигателя), на которой указаны некоторые данные о двигателе, в том числе и его мощность.

Зная мощность двигателя, можно рассчитать работу, совершаемую этим двигателем в течение какого-нибудь промежутка времени.

Из формулы $N = \frac{A}{t}$ следует, что

$$A = Nt. \qquad [2.4*]$$

Чтобы вычислить работу, необходимо мощность умножить на время, в течение которого совершалась эта работа.

Пример 1. Найти мощность потока воды, протекающей через плотину, если высота падения воды 25 м, а расход воды – 120 м^3 в минуту.

Запишем условие задачи и решим ее.

Дано:
h=25 м
V= 120 м^3
$\rho = 1000\frac{êã}{ì^3}$
t = 60 с
$g = 9{,}8\frac{Í}{êã}$

N – ?

Решение:

Масса падающей воды $m = pV = 1000\ \frac{кг}{м^3}\ 120$ м^3=120000 кг (12·10^4 кг)

Сила тяжести, действующая на воду:

$F=gm = 9{,}8\frac{Н}{кг}\cdot 120000$ кг= 1200000 Н (12·10^{5}Н)

Работа, совершаемая потоком в минуту:

$A=Fh$=1200000 Н·25 м = 30000000 Дж (3·10^{7}Дж)

Мощность $N=\frac{30000000\,Дж}{60\,с}$ = 500000 Вт =0,5 МВт.

Ответ: N=0,5 МВт

Пример 2. Двигатель комнатного вентилятора имеет мощность 35 Вт. Какую работу он совершает за 10 мин?

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:	*СИ*	***Решение:***
N=35Вт		$A=Nt$
t = 10 мин	*600 с*	A = 35 Вт·600 с = 21000 Вт·с = 21000 Дж = 21 кДж
A – ?		
		Ответ: A= 21 кДж

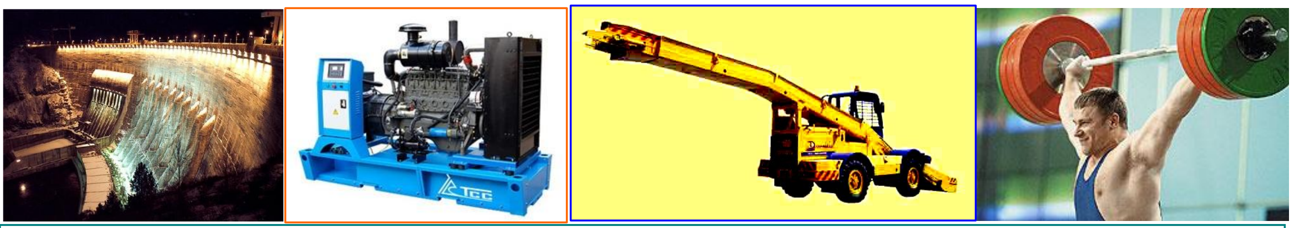
Вопросы

1.Что показывает мощность?
2.Как вычислить мощность, зная работу и время?
3.Как называется единица мощности?
4.Какие единицы мощности используют в технике?
5.Как, зная мощность и время работы, рассчитать работу?

Упражнение

1. С плотины высотой 22 м за 10 мин падает 500 т воды. Какая мощность развивается при этом?
2. Какова мощность человека при ходьбе, если за 2 ч он делает 10000 шагов и за каждый шаг совершает 40 Дж работы?
3. Какую работу совершает двигатель мощностью 100 кВт за 20 мин?

4. Транспортер за 1 ч поднимает 30 $м^3$ песка на высоту 6 м. Вычислите необходимую для этой работы мощность двигателя. Плотность песка $1500\frac{кг}{м^3}$.
5. Выразите в киловаттах и мегаваттах мощность: 2500 Вт; 100 Вт. Выразите в ваттах мощность: 5 кВт; 2,3 кВт; 0,3 кВт; 0,05 МВт; 0,001 МВт.
6. Штангист поднял штангу массой 125 кг на высоту 70 см за 0,3 с. Какую среднюю мощность развил спортсмен при этом?



а) Плотина Саяно-Шушенской ГЭС; б) Дизель-электростанция мощностью 100 кВт; в) транспортёр (устройство для перемещения грузов) ленточный; г) штангист поднял штангу.

Задание

1. Вычислите мощность, которую вы развиваете, равномерно поднимаясь медленно и быстро с первого на второй или третий этаж школы. Все необходимые данные получите сами.

2. Установите по паспорту мощность электродвигателей пылесоса, мясорубки, кофемолки.

3. Установите, на какую мощность рассчитаны двигатели автомобилей, которые вы знаете.

а) Пылесос, мощность электродвигателя 1800 Вт; б) Мясорубка, мощность электродвигателя 1400 Вт; в) Кофемолка, мощность электродвигателя 100 Вт

Водопад Виктория на реке Замбези в Африке – самый большой в мире водопад и одно из мировых чудес природы. Он простирается на 1700 метров в ширину и падает с высоты h=120 м. в ущелье. Многочисленные островки на гребне водопада разделяют водное течение на несколько рукавов. Производимый водопадом плотный туман и громовой рев можно воспринимать с расстояния приблизительно в 40 км. Во время наводнения мощность водного потока составляет примерно 546 миллионов литров воды в минуту. Подсчитайте мощность водопада Виктория. (Ответ: около 11 000 МВт)

§ 62 (55). ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

С незапамятных времен человек использует для совершения механической работы различные приспособления – простые механизмы, *рис. 14.4*.

Рис. 14.4. Примеры простых механизмов, которые человек начал использовать очень давно. С их помощью созданы уникальные сооружения. Механизмы эти в усовершенствованном виде применяются и сейчас.

Каждому известно, что тяжелый предмет (камень, шкаф, станок), который невозможно передвинуть непосредственно, сдвигают с места при помощи *рычага* – лома, достаточно длинной палки, (*рис. 15.4*).

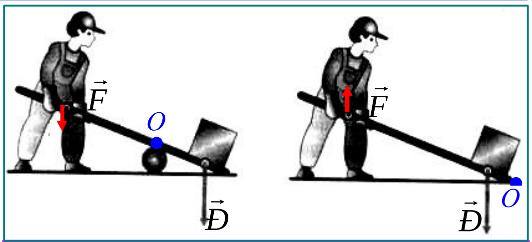


Рис. 15.4. Необходимое усилие можно с помощью рычага уменьшить в несколько раз.

С помощью рычагов три тысячи лет назад при строительстве пирамид в Древнем Египте передвигали и поднимали на большую высоту тяжелые каменные плиты (*рис. 16.4а,б*).

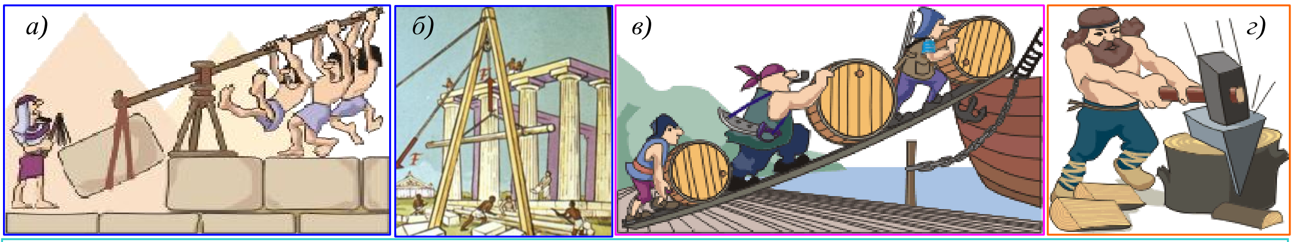


Рис. 16.4. Применение механизмов: а) строительство пирамид в Египте (рычаг); б) подъём строительных балок (блок); в) погрузка бочек (наклонная плоскость); г) раскалывание бревна (клин).

Во многих случаях, вместо того чтобы поднимать тяжелый груз на некоторую высоту, его вкатывают или втаскивают на ту же высоту по *наклонной плоскости* (*рис. 16.4в*) или поднимают с помощью блоков (*рис. 17.4*).

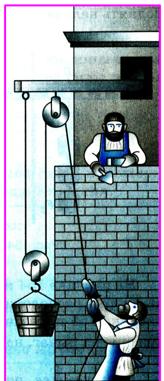


Рис. 17.4. Так можно уменьшить усилие в 2 раза.

Приспособления, служащие для преобразования силы, называют ***механизмами.***

Блок и *ворот* являются разновидностями ***рычага***, а *клин* и *винт* – разновидности ***наклонной плоскости***. В большинстве случаев простые механизмы применяют для того, чтобы получить *выигрыш в силе*, т. е. увеличить силу, действующую на тело, в несколько раз.

Простые механизмы имеются и в бытовых, и во всех сложных заводских и фабричных машинах, которые режут, скручивают и штампуют большие листы стали или вытягивают тончайшие нити, из которых делают ткани. Эти же механизмы можно обнаружить и в современных сложных автоматах.

Механизмы изучаются в специальном разделе прикладной механики – *теории машин и механизмов* (сокращенно – *ТММ*).

Вопросы

1. *Что называют простыми механизмами?*
2. *Для какой цели применяют простые механизмы?*
3. *Какие простые механизмы применяли в Египте при строительстве пирамид, зданий?*

§ 63 (56). РЫЧАГ. РАВНОВЕСИЕ СИЛ НА РЫЧАГЕ

Самый простой и распространенный механизм – ***рычаг.***

Рычаг – это жесткий стержень, который может свободно поворачиваться относительно неподвижной точки, называемой точкой опоры.

На *рис. 14.4* показано, как рабочий для поднятия груза использует в качестве рычага лом. В первом случае рабочий с силой $\vec{F}$ нажимает на конец лома; во втором – приподнимает конец.

Рабочему нужно преодолеть вес груза $\vec{P}$ – силу, направленную вертикально вниз. Он поворачивает для этого лом вокруг оси, проходящей через единственную *неподвижную* точку лома – точку его опоры ***O***. Сила ***F***, с которой рабочий действует на рычаг, меньше силы ***P***. Таким образом, рабочий получает *выигрыш в силе*. При помощи рычага можно поднять такой тяжелый груз, который без рычага поднять нельзя.

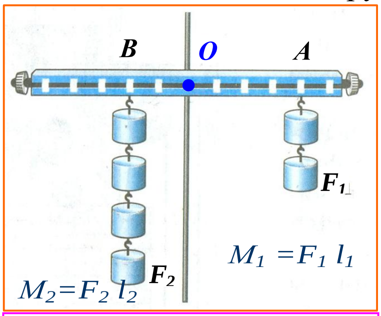


Рис. 18.4. Равновесие рычага 1-го рода: $M_1 = M_2$

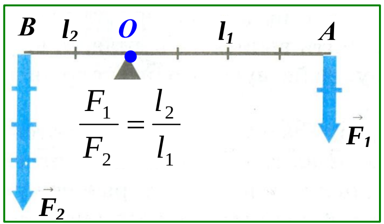


Рис. 19.4. Схема рычага 1-го рода и условие его равновесия.

На *рис. 18.4* изображен рычаг, ось вращения которого ***O*** (точка опоры) расположена *между* точками приложения сил *A* и *B* (такой рычаг называют рычагом *1-го рода*). На *рис. 19.4* показана схема этого рычага. Обе силы F_1 и F_2, действующие на рычаг, направлены в одну сторону.

Кратчайшее расстояние между точкой опоры O и прямой, вдоль которой действует на рычаг сила F, называется плечом силы l.

Чтобы найти плечо силы, надо из точки опоры опустить перпендикуляр на линию действия силы.

Длина этого перпендикуляра и будет *плечом* ***l*** данной силы *F*. На *рис.19.4* показано, что $OA = l_1$ – плечо силы F_1; $OB = l_2$ – плечо силы F_2. Силы, действующие на рычаг, могут повернуть его вокруг оси в двух направлениях: по ходу или против хода часовой стрелки. Так, сила F_1 (см. *рис.19.4*) вращает рычаг по ходу часовой стрелки, а сила F_2 вращает его против хода часовой стрелки.

Условие, при котором рычаг находится в равновесии под действием приложенных к нему сил, можно установить на опыте. При этом надо помнить, что результат действия силы зависит не только от ее числового значения (модуля), но и от того, в какой точке она приложена к телу и как направлена.

К рычагу (*см. рис. 18.4*) по обе стороны от точки опоры подвешивают различные грузы так, чтобы рычаг каждый раз оставался в равновесии. Действующие на рычаг силы равны весам этих грузов. Для каждого случая измеряют модули сил и их плечи. Из опыта, изображенного на *рис. 18.4*, видно, что сила 2 Н уравновешивает силу 4 Н. При этом, как видно из рисунка, плечо меньшей силы в 2 раза больше плеча большей силы.

На основании таких опытов было установлено условие (правило) равновесия рычага.

Рычаг находится в равновесии тогда, когда силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.

Это правило можно записать в виде формулы:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}, \qquad [4.4]$$

где F_1 и F_2 – силы, действующие на рычаг, l_1 и l_2 – плечи этих сил (см. *рис. 19.4*).

Правило *равновесия рычага* было установлено *Архимедом*.

Из этого правила следует, что меньшей силой можно уравновесить при помощи рычага большую силу, нужно для этого подобрать плечи определённой длины. Например, на *рис. 14.4* одно плечо рычага в 3 раза больше другого. Значит, прикладывая в точке *B* силу, например, в 400 Н, можно поднять камень весом 1200 Н. Чтобы поднять еще более тяжелый груз, нужно увеличить длину плеча рычага, на которое действует рабочий.

Пример. Какое усилие F_1 требуется для поднятия с помощью рычага камня массой 240 кг? Плечо усилия l_1=2,4 м, плечо силы тяжести F_2, действующей на камень, l_2=0,6 м.

Дано:
m=240кг
g= 9,8 $\frac{Н}{кг}$
l_1= 2.4 $м$
l_2= 0,6 м

F_1–?

Решение:

По правилу равновесия рычага $\frac{F_1}{F_2}=\frac{l_2}{l_1}$, откуда $F_1 = F_2\frac{l_2}{l_1}$, где F_2– сила тяжести камня: $F_2 = gm = 9,8\frac{Н}{кг}$ ·240 кг = 2400 Н.

Тогда F_1= 2400 Н·$\frac{0,6\,м}{2,4\,м}$ = 600 Н.

Ответ: F_1= 600 Н.

В нашем примере рабочий преодолевает силу 2400 Н, прикладывая к рычагу силу 600 Н. Он получает выигрыш в силе в 4 раза. Но при этом плечо, на которое действует рабочий, в 4 раза длиннее того, на которое действует вес камня (l_1:l_2 = 2,4 м: 0,6 м = 4).

Применяя правило рычага, можно меньшей силой уравновесить большую силу. При этом *плечо меньшей силы должно быть длиннее плеча большей силы*.

Выделяют рычаги трёх типов:

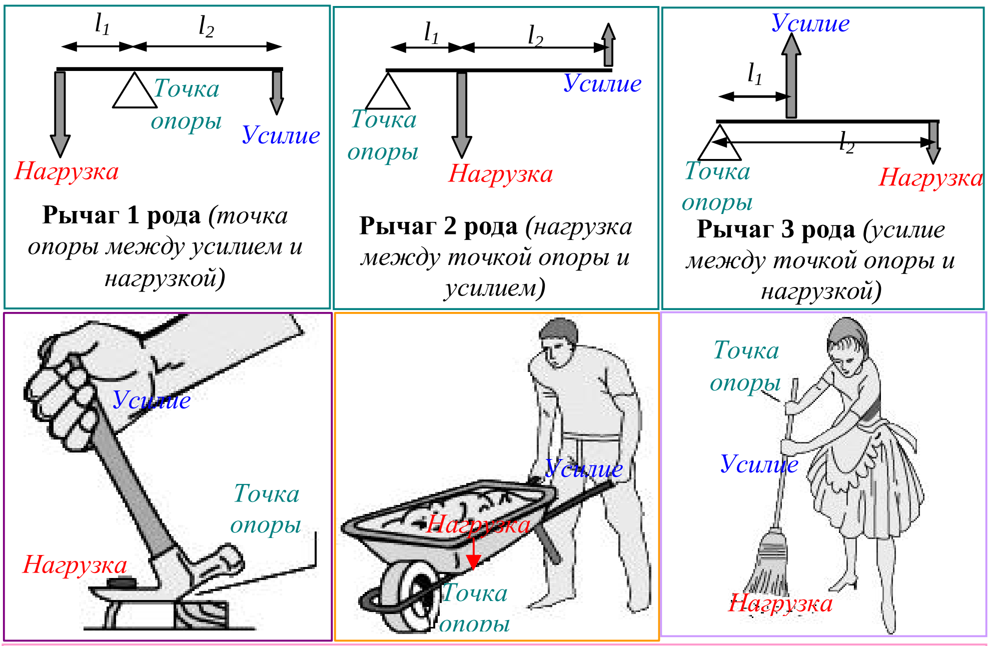
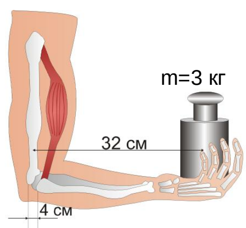


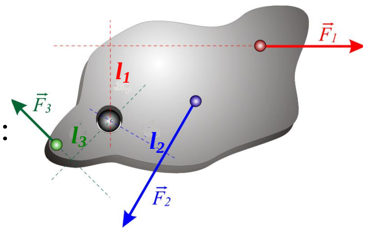
Рис. 20.4 Рычаги 1-го, 2-го и 3-го рода.

Вопросы

1. *Что представляет собой рычаг?*
2. *Что называют плечом силы?*
3. *Как найти плечо силы?*
4. *Какое действие оказывают на рычаг силы?*
5. *В чем состоит правило равновесия рычага?*
6. *Кто установил правило равновесия рычага?*
7. *С какой силой натянута мышца руки на рис. справа?*



§ 64 (57). МОМЕНТ СИЛЫ



Вам известно правило равновесия рычага в виде уравнения:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}. \qquad [4.4]$$

Но это же условие равновесия можно записать и в ином виде, если ввести новую важную физическую величину – момент силы M.

Пользуясь свойством пропорции (*произведение ее крайних членов равно произведению средних членов*), запишем условие [4.4] в таком виде:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

В левой части равенства стоит произведение силы F_1 на ее плечо l_1, а в правой – произведение силы F_2 на ее плечо l_2.

Произведение модуля силы F, вращающей тело, на ее плечо l называется ***моментом силы;*** он обозначается буквой M. Следовательно,

$$\boxed{M = Fl} \qquad [5.4]$$

Момент силы — это физическая величина, характеризующая вращательное действие силы на твёрдое тело.

Рычаг находится в равновесии под действием двух сил, если момент силы M_1, вращающий его по часовой стрелке, равен моменту силы M_2, вращающей его против часовой стрелки, рис. 18.4; 19.4.

Это правило, называемое ***правилом моментов***, можно записать в виде формулы:

$M_1 = M_2$ [4.4*] – другой вид условия равновесия рычага.

Действительно, в рассмотренном нами опыте (§ 56) действующие на рычаг силы были равны 2 Н и 4 Н, их плечи соответственно составляли 4 и 2 деления рычага, т. е. моменты этих сил одинаковы при равновесии рычага.

Момент силы, как и всякая физическая величина, может быть измерена. ***За единицу момента, силы принимается момент силы в 1 Н, плечо которой равно 1 м.***

Эта, единица называется *ньютон-метр* (Н · м).

Момент силы характеризует действие силы и показывает, что оно зависит одновременно и от модуля силы, и от ее плеча. Действительно, мы уже знаем, например, что действие силы на дверь зависит и от модуля силы, и от того, где приложена сила. Дверь тем легче повернуть, чем дальше от оси вращения приложена действующая на нее сила. Гайку легче отвернуть длинным гаечным ключом, чем коротким. Ведро тем легче поднять из колодца, чем длиннее ручка ворота, и т. д.

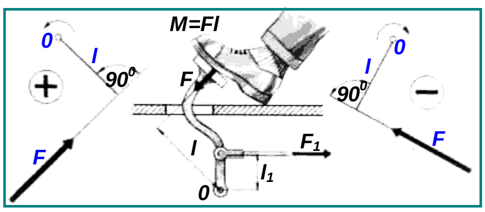
?Вопросы

1. Что называется моментом силы? Как выражается момент силы через модуль силы и ее плечо?

2. В чем состоит «правило моментов»? В каком виде можно записать условие равновесия рычага?

3. Что принимают за единицу момента силы? Как называется эта единица?

Рис. 21.4. Это возможный результат действия момента силы ветра на парус.



§ 65 (58). РЫЧАГИ В ТЕХНИКЕ, БЫТУ И ПРИРОДЕ

Правило рычага (или правило моментов) лежит в основе действия различного рода инструментов и устройств, применяемых в технике и быту там, где требуется выигрыш в силе или в пути. Внимательно рассмотрите примеры на рисунках.

Рис. 22.4. Примером рычага 1-го рода является весло (а – античное парусно-гребное судно; б – плот), рычаг 2-го рода используется в педалях автомобиля (в).

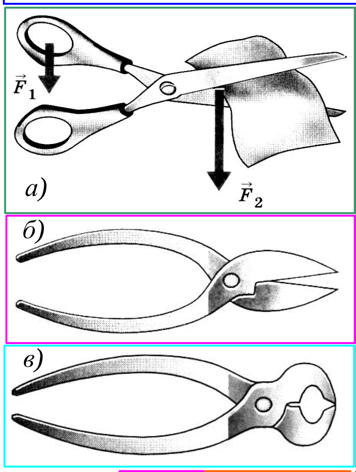


Рис. 23.4. Выигрыш в силе получается при работе со многими инструментами. **Ножницы** *– рычаг 1-го рода, ось вращения которого проходит через винт, соединяющий обе их половины. Действующей силой F_1 является мускульная сила руки человека, сжимающего их; противодействующей силой F_2 – сопротивление того материала, который режут ножницами. В зависимости от назначения ножниц их устройство различно. Ножницы для резки бумаги (а) не требуют большой силы, а длинным лезвием удобнее резать по прямой линии. Поэтому они имеют длинные лезвия и почти такой же длины ручки. У ножниц для резки листового металла (б) ручки гораздо длиннее лезвий, так как сила сопротивления металла велика и для ее уравновешивания плечо действующей силы приходится значительно увеличивать. Еще больше разница между длиной ручек и расстоянием режущей части от оси вращения в кусачках, предназначенных для перекусывания проволоки (в).*

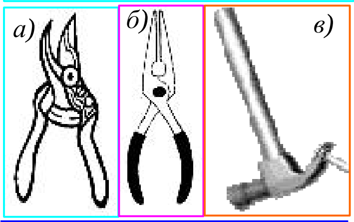


Рис. 24.4. Секатор – ножницы для обрезания растений (а) и плоскогубцы (б) – рычаги 1-го рода. Молоток (в) можно использовать как рычаг 2-го рода.

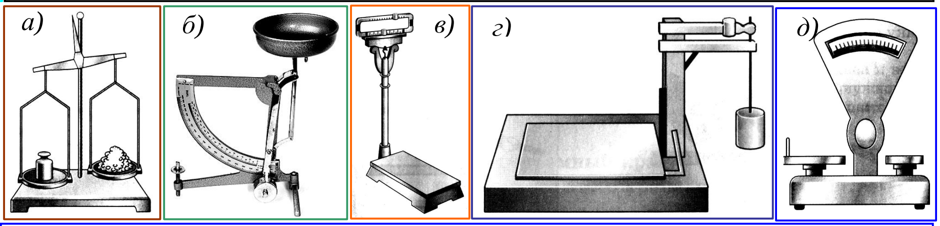


Рис. 25.4. На принципе рычага основано действие рычажных весов. Учебные весы (а) – просто равноплечный рычаг. Одночашечные весы (б) с изменяющимся плечом. Шкальные товарные весы (в). Десятичные (г) весы имеют плечо, к которому подвешена чашка с гирями, в 10 раз длиннее плеча, несущего груз. Это упрощает взвешивание больших грузов. Взвешивая груз на десятичных весах, следует умножить массу гирь на 10. Настольные (д) шкальные весы.

Рис. 26.4. Рычажные весы для взвешивания большегрузных автомобилей (а) и железнодорожных вагонов (б).

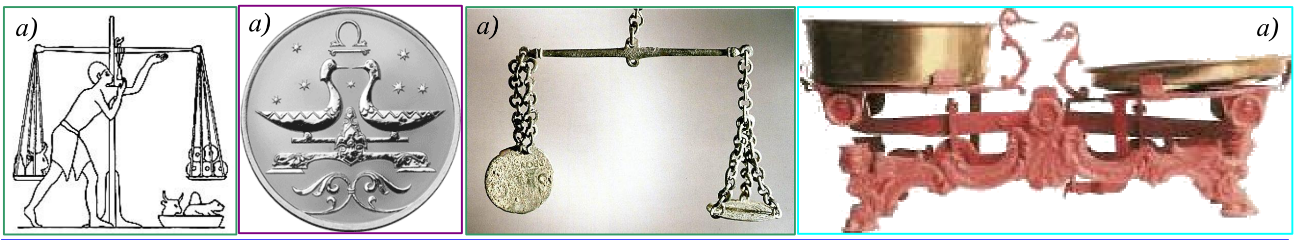


Рис. 27.4. Это просто старинные рычажные весы: а) древнеегипетские весы; б) изображение старинных весов; в) весы для взвешивания монет; г) настольные весы конца XIX – начала XX веков. А сегодня почти все рычажные весы имеют электронную индикацию.

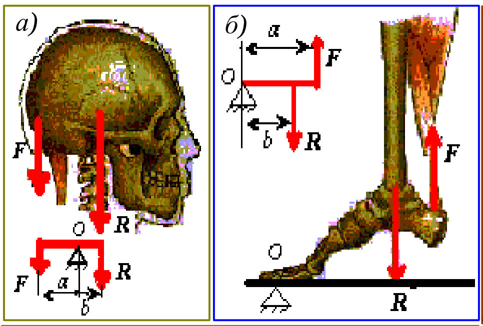


Рис. 28.4. Рычаги встречаются в теле человека и животных: а) условие равновесия рычага на примере черепа; б) свод стопы при подъёме на полупальцы.

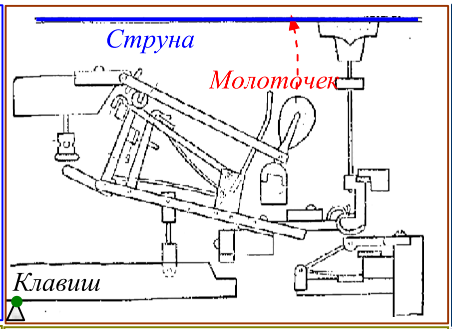
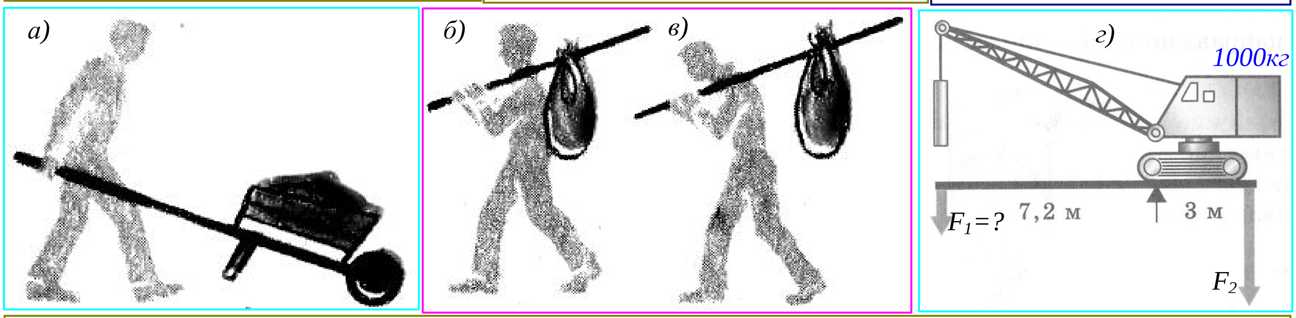


Рис. 29.4. Это сложный рычажный механизм рояля, передающий движение от клавиши молоточку, ударяющему по струне.

Рис. 30.4. Рычаги управления небольшим современным судном на капитанском мостике.



A

Рис. 30.4. Как влияет длина ручек тачки (а) на усилие для её поддержания? При каком положении (б или в) палка сильнее давит на плечо? Какой груз может поднимать кран, если масса его противовеса 1000 кг (г).

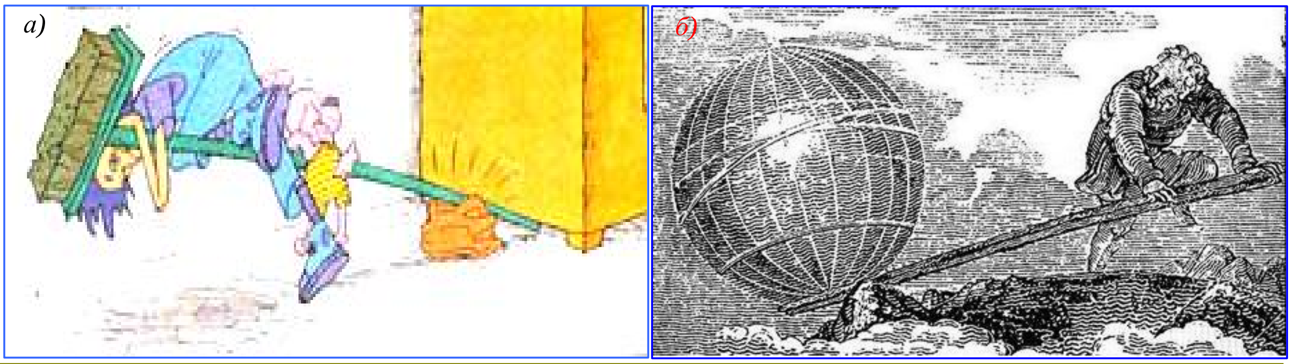


Рис. 31.4. Всё имеет разумные пределы! И применение рычага тоже: а) так Федя приподнимал шкаф, но его вес оказался недостаточным, а швабра слишком короткой; б) а так (как рассказывают «очевидцы») Архимед собирался приподнять земной шар, если бы ему дали точку опоры. Но как потом выяснилось, это тоже оказалось бы невозможным (и не только из-за отсутствия точки опоры). Как вы думаете – почему?

Рычаги различного вида имеются у многих механизмов и машин. Ручка дверного замка, педали или ручной тормоз велосипеда, рукоятки тисков и верстаков, рычаг сверлильного станка и т. д.

Много рычагов можно указать в теле насекомых, птиц, в строении растений.

Вопросы

1. *Пользуясь рис. 23.4, объясните действие ножниц как рычага.*
2. *Почему ножницы для резки листового металла и кусачки дают выигрыш в силе.*
3. *Приведите примеры применения рычагов в быту, в технике, в природе.*
4. *Почему весло изготавливают так, что получается проигрыш в силе?*

§ 66 (59). ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА К БЛОКУ И ВОРОТУ

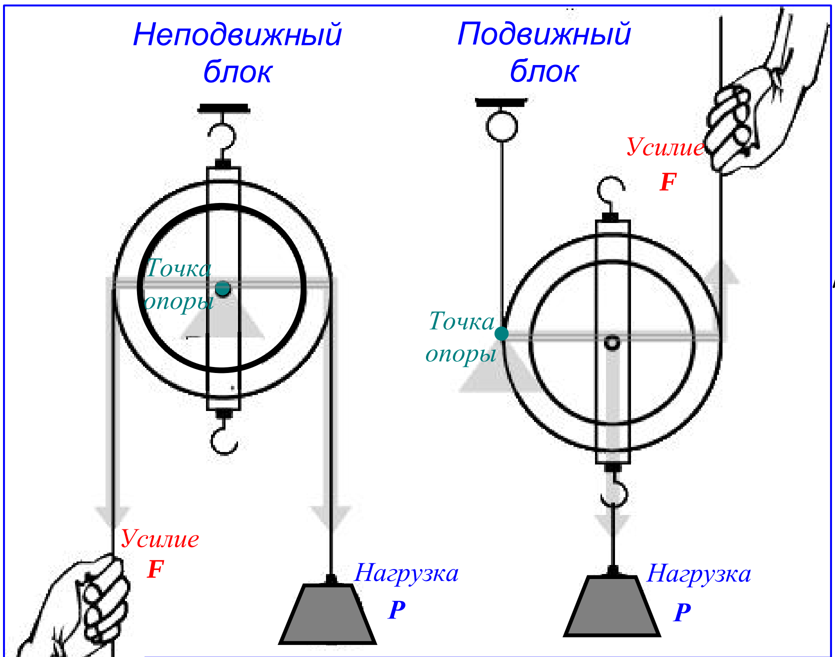


Рис. 32.4. Две разновидности блока – неподвижный и подвижный.

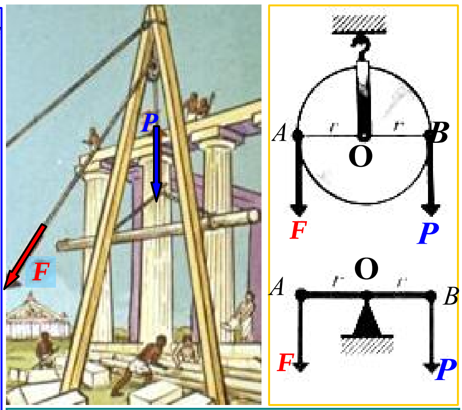


Рис. 33.4. У **неподвижного** *блока ось жестко прикреплена. Его можно рассматривать как равноплечий рычаг 1-го рода. Его плечи сил равны радиусу колеса: OA = OB = r. Условие его равновесия: F r= P r. Такой блок не дает выигрыша в силе (F = P), но меняет направление действия силы.*

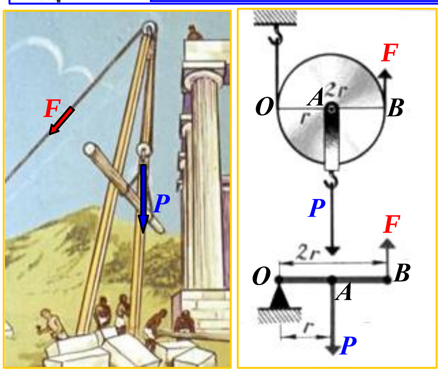


Рис. 34.4. ***Подвижный блок перемещается вместе с грузом. Он подобен*** *неравноплечному рычагу 2-го рода и даёт* ***выигрыш в силе в 2 раза.*** *O – точка опоры рычага; OA – плечо нагрузки* ***P*** *и OB – плечо усилия* ***F****. Так как плечо усилия OB в 2 раза больше плеча нагрузки OA, то при равновесии (F· 2 r= P· r) усилие F в 2 раза меньше нагрузки P: F=P/2. То, что подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза, следует из того, что при равновесии блока моменты сил* ***F*** *и* ***P*** *равны друг другу, см.* ***[4.4*]****. Ведь плечо усилия* ***F*** *равно диаметру блока 2r=OB, а плечо нагрузки P – его радиусу r=OA. При равенстве моментов силы имеют неравные плечи. Значит, меньше та сила, плечо которой больше. Поскольку плечо силы F в 2 раза больше плеча силы P, то сама сила F в 2 раза меньше силы P.*

Блок – это колесо с желобом по окружности для каната или цепи.

Часто на практике применяют комбинацию неподвижного блока с подвижным. Неподвижный блок применяется только для удобства. Он не дает выигрыша в силе, но изменяет направление действия силы, например, позволяет поднимать груз, стоя на земле *(рис. 17.4).*

Простой способ определения выигрыша в силе для блока или системы блоков — по числу параллельных концов каната, удерживающих нагрузку, *рис. 35.4.*

Система блоков и тросов, предназначенная для повышения грузоподъемности, называется **полиспастом**, *рис. 36.4.*

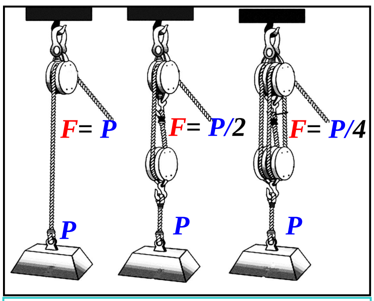


Рис. 35.4. Система блоков позволяет уменьшить усилие при поднятии груза.

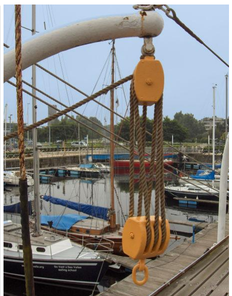


Рис. 36.4. Полиспаст для подъёма шлюпки..

Ворот – *два колеса (радиусов* ***R*** *и* ***r****), соединённые вместе и вращающиеся на одной оси.*

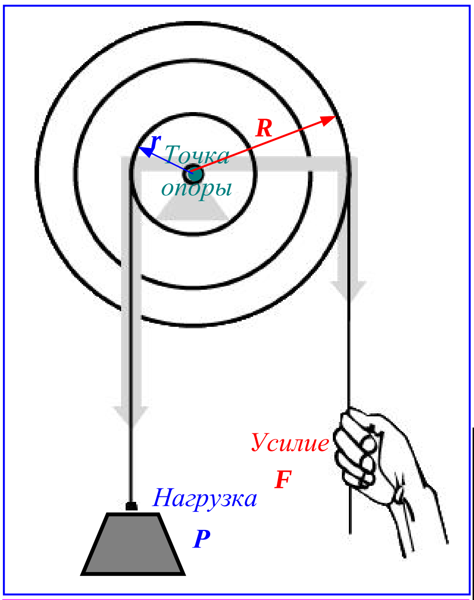


Рис. 37.4. **Ворот,** *в зависимости от точек приложения F и P, может уменьшать или увеличивать усилие. В данном случае усилие приложено к большему плечу. Поэтому F < P.*

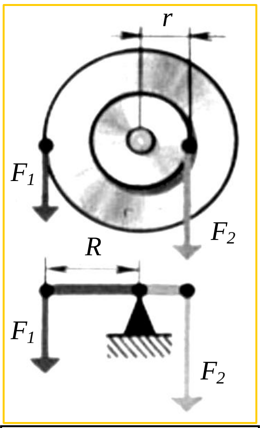


Рис. 38.4. Ворот можно принять за ***неравноплечий рычаг. Условие его равновесия:***

F_1 **R**= F_2 r.

Выигрыш в силе или расстоянии зависит от выбранных плеч (**R или** r) ***усилия и нагрузки***

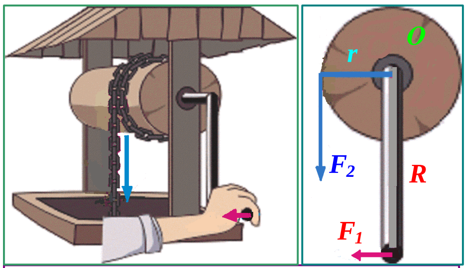


Рис. 39.4. Ворот колодца даёт выигрыш в усилии $F_1 < F_2$ *, так как* $R > r$.

Рис. 40.4. Это русский колодец в деревне с воротом, как на рис. 39.4.

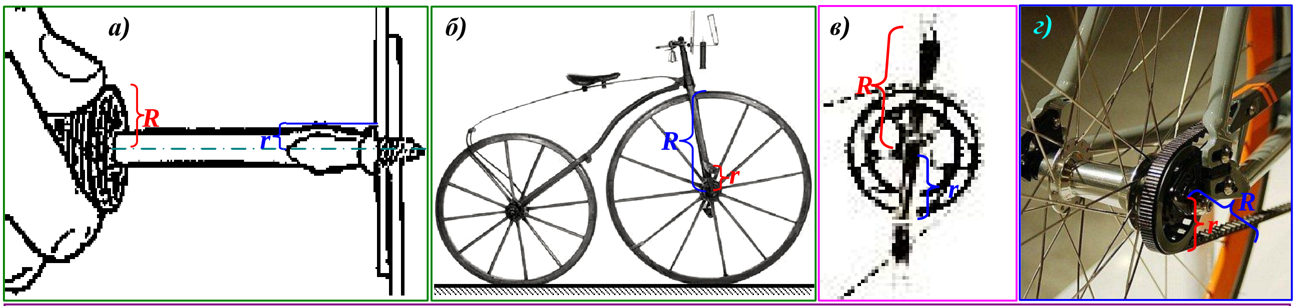


Рис. 41.4. Примеры использования ворота: а) отвёртка с винтом образует ворот, дающий выигрыш в усилии; б) педальный привод колеса велосипеда XIX века даёт выигрыш в расстоянии; в) педальный привод велосипедной цепи даёт выигрыш в силе; г) ременный привод заднего колеса современного велосипеда даёт выигрыш в расстоянии. Подумайте и объясните, почему эти механизмы так сделаны?

Таким образом, ***с помощью рычага (блока, ворота) можно получить выигрыш либо в силе, проиграв в расстоянии; либо в расстоянии, проиграв в силе***.

Вопросы

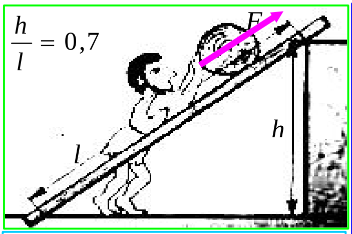
1. *Какой блок называют неподвижным, а какой подвижным?*
2. *Для какой цели применяют неподвижный блок?*
3. *Какой выигрыш в силе дает подвижный блок?*
4. *Можно ли рассматривать неподвижный и подвижный блоки как рычаги?*
5. *Начертите схемы таких рычагов. Назовите примеры применения блока.*
6. *Что такое ворот?*
7. *В каких случаях с помощью рычага (блока, ворота) получается выигрыш в силе, а в каких – в расстоянии? Укажите примеры этих механизмов на рисунках.*

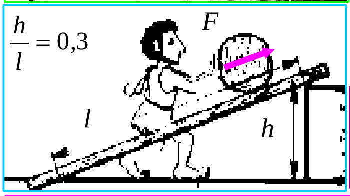
Задание

Рассмотрите рисунки этого параграфа и объясните что на них нарисовано, почему механизмы, изображенные на них, делаются именно таким образом. Для каких целей они предназначены? Может их можно усовершенствовать?

§ 67. НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ.

Если нужно поднять груз на высоту, всегда легче воспользоваться пологим подъемом, чем крутым, *рис. 42.4*. Причем, чем положе уклон**,** тем легче выполнить эту работу. Когда время и расстояние не имеют большого значения, а важно поднять груз с наименьшим усилием, наклонная плоскость оказывается незаменима. В технике и строительстве прямоугольная или криволинейная в плане наклонная площадка называется ***пандусом*** (фр. *pente douce* — пологий скат), *см. рис.42.4* и дальше.





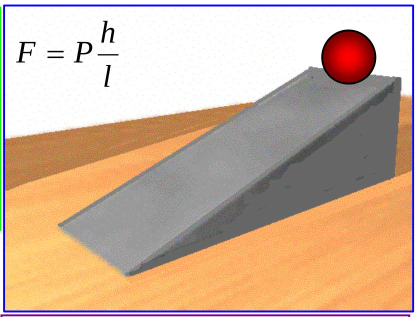
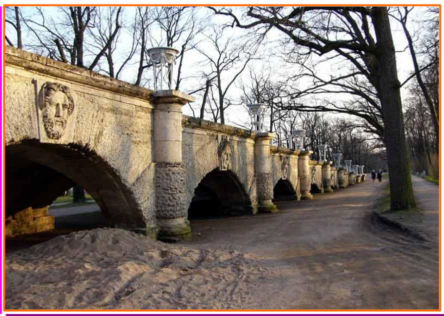


Рис. 42.4. Наклонная плоскость позволяет плавно перемещать груз на высоту ***h*** *с меньшим усилием.*

Рис. 43.4. Пандус для погрузки контейнеровоза крупногабаритным грузом – наклонная плоскость.

Рис. 44.4. Пандус у старинного особняка для подъезда экипажей непосредственно к входным дверям.



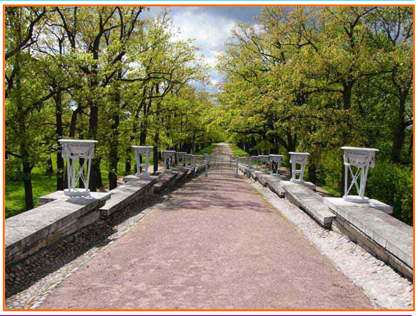


Рис. 45.4. Пандус у Камероновой галереи в Екатерининском ***парке: слева – вид сбоку; справа – сверху. Такой пандус позволяет плавно подняться из парка на второй этаж дворца.***

Рис. 46.4. Шоссе в горах – горный серпантин (наклонная плоскость сложной формы).

Рис. 47.4. Лестничный марш в жилом доме (приближение к наклонной плоскости).

Рис. 48.4. Пандус внутри здания позволяет плавно перемещаться с этажа на этаж.

Наклонная плоскость *применяется для перемещения тяжелых предметов на более высокий уровень* ***без их непосредственного поднятия.***

Это свойство наклонной плоскости используется в устройствах для погрузки транспорта, *рис.43.4;* для подъезда к входу здания, *рис. 44.4;* в парковой архитектуре, *рис. 45.4;* строятся горные дороги в виде серпантина, *рис. 46.4;* лестничные марши и плавные спуски в домах (*рис. 47.4, 48.4*); ленты транспортёров (*рис. 111.2*) и во многих других случаях.

Архимед установил, что тело на наклонной плоскости удерживается силой F, которая по величине во столько раз меньше веса *P* этого тела, во сколько раз длина l наклонной плоскости больше ее высоты *h* (*рис.42.4*)**.**

Разновидностью наклонной плоскости являются ***клин*** и ***винт***.

Клин – это сдвоенная наклонная плоскость. Выигрыш в силе (при отсутствии трения) равен отношению длины клина к толщине на тупом конце, *рис.49.4*.

Главное отличие клина от наклонной плоскости в том, что она обычно неподвижна, и груз под действием усилия движется по ней, а клин вгоняют во что-то (*рис.49.4в*) или подо что-то (*рис.49.4г*). Однако, реальный выигрыш клина, в отличие от других простейших механизмов, трудно определить. Сопротивление, встречаемое им, непредсказуемо меняется для разных участков его "щек".

Принцип клина используется в таких инструментах и орудиях, как топор (*рис.49.4д*),

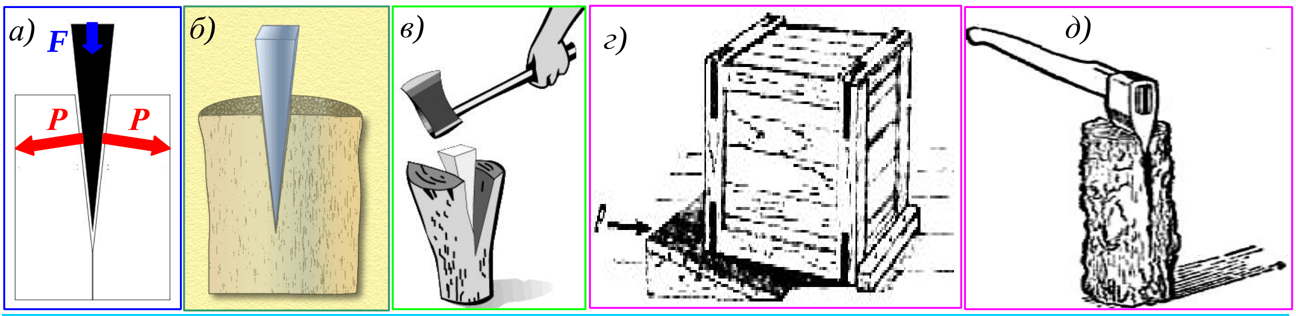


*Рис. 49.4. Клин – разновидность наклонной плоскости: а) усилие **F** действует на тупой конец клина, а его «щёки» действуют на нагрузку с силами **P** > **F**; б) клин «разрезает» полено; в) клин забивают во что-либо, или (г) подо что-либо; д) топорище имеет форму клина.*

Рис. 50.4. Клин является основой режущих инструментов: а) рабочая часть резца имеет форму клина; б) рабочая часть стамески – тоже клин; в) носовое заострение лодки имеет форму клина, от угла заострения зависит скорость её движения; г) зубы человека имеют форму клина.

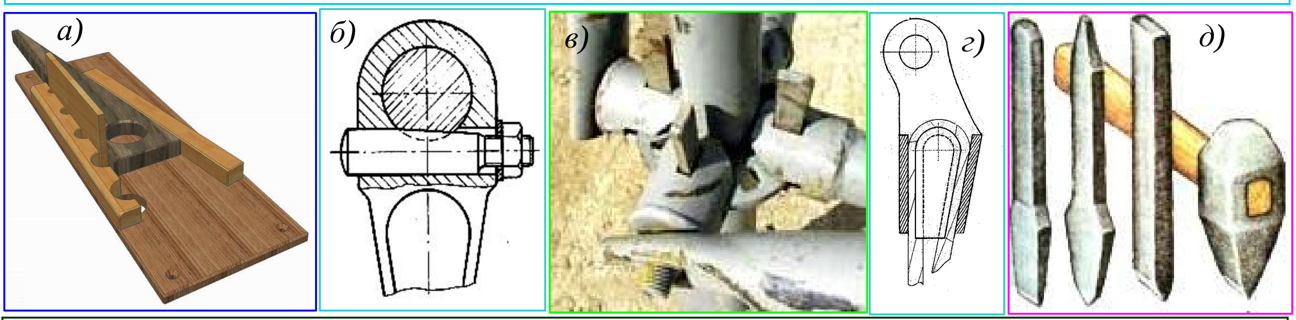


Рис. 51.4. С помощью клина скрепляют детали: а) чтобы надежно и легко зажать нужную деталь используют клин; б) шатун педали велосипеда закрепляют клином; в) сборные строительные леса очень быстро собираются благодаря клиновым креплениям; г) клиновое крепление стального троса; д) различные зубила – инструменты для рубки заготовок, обработки поверхностей, прорубания канавок; для каменных работ – долбления отверстий, обработки камня; обработки горячих заготовок металла.

зубило, нож, гвоздь, швейная игла.

Винт – это ещё одна разновидность наклонной плоскости. С его помощью можно получить значительный выигрыш в силе. Представим себе, что прямоугольный треугольник (так сбоку выглядит наклонная плоскость) высотой h и длиной гипотенузы l свернули в трубку, *рис.52.4*. Такое «сооружение» представляет собой один виток всем хорошо известных видов винтов – болтов и шурупов. Поворачивая гайку, надетую на болт, мы поднимаем её по наклонной плоскости и выигрываем в силе. Однако в данном случае очень большое влияние может оказывать трение, но об этом – ниже.

При закручивании шурупа в деревянную доску или скреплении деталей болтом и гайкой приходится преодолевать силу трения и силу упругости материала. Они бывают настолько большими, что пальцами это сделать трудно, а иногда невозможно. При этом недостаточно выигрыша в силе, получаемого с помощью винта, приходится применять ещё и рычаги – отвёртки и гаечные ключи.

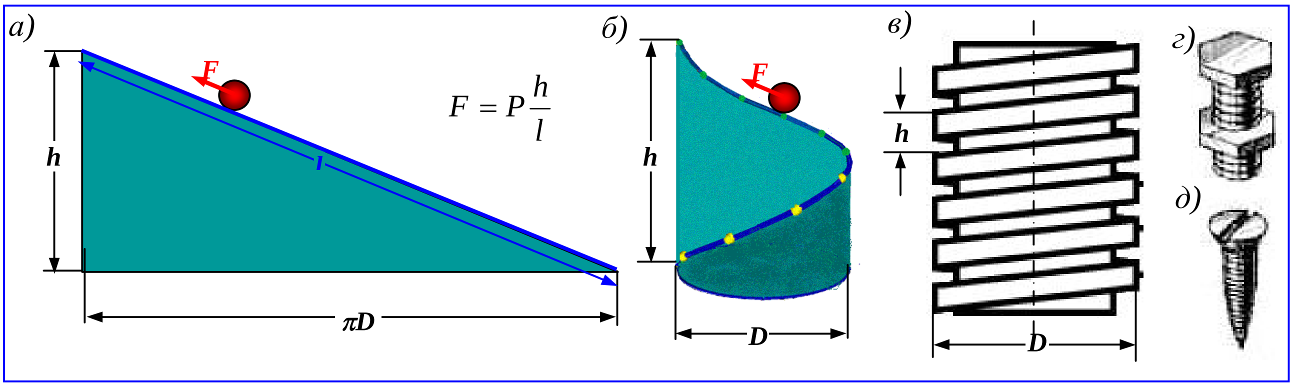


Рис. 52.4. Разновидность наклонной плоскости – винт: а) наклонная плоскость (гипотенуза прямоугольного треугольника); б) винтовая линия, образованная сворачиванием прямоугольного треугольника (один виток); в) винтовая резьба; г) болт с гайкой; д) шуруп.

Рис. 53.4. Винтовые механизмы прошедших времён: а) водоподъёмная машина Архимеда; б) винт Леонардо да Винчи – «предок» современного вертолёта; в) винтовой пресс для выдавливания виноградного сока при изготовлении вина; г) винтовой пресс печатного станка.

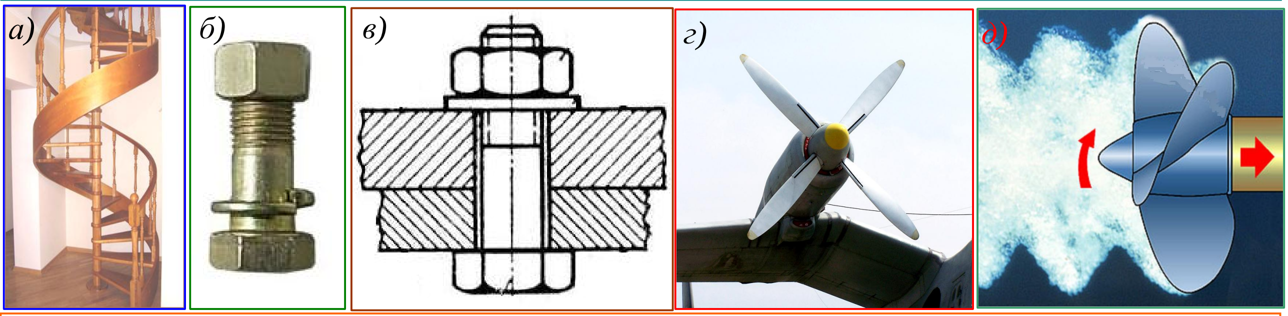


Рис. 54.4. Винтовые устройства и механизмы, применяемые в настоящее время: а) винтовая лестница (см. также рис. 48.4 – винтовой пандус); б) болт с гайкой и шайбой; в) винтовое крепление; г) воздушный винт самолёта; д) работающий винт судна.

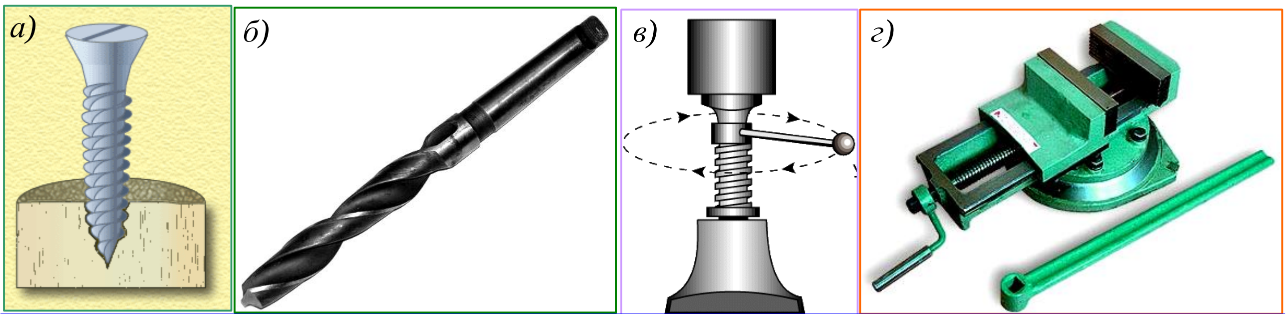


Рис. 55.4. Винтовые устройства и механизмы: а) шуруп, ввинчиваемый в деревянный круг; б) сверло для сверления металла; г) винтовой домкрат; д) станочные тиски.

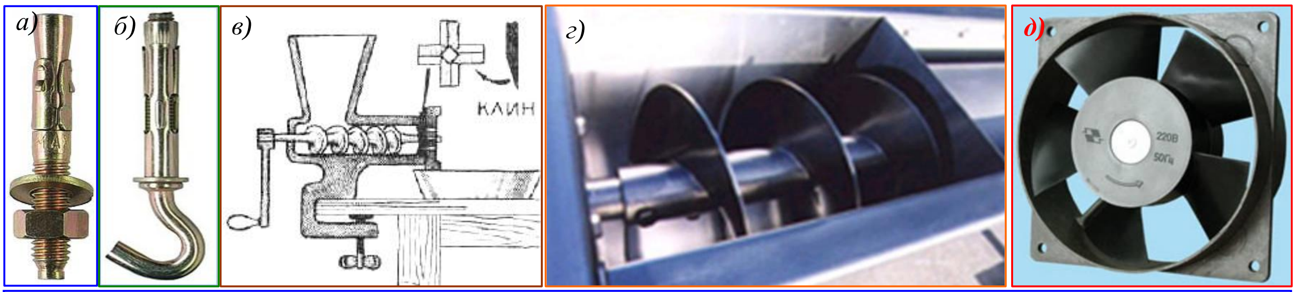


Рис. 56.4. Механизмы, использующие винт: а) и б) – анкерные крепления, в которых винт ввинчивается в коническую гайку (вверху), которая раздвигает «щёчки» анкера, плотно закрепляя его в высверленном отверстии; в) мясорубка; г) винтовой (шнековый) транспортёр; д) вентилятор.

Таким образом**,** в отличие от рычага, ***с помощью наклонной плоскости (клина, винта) можно получить выигрыш только в силе, проиграв в расстоянии.***

Вопросы

1. *Что представляет собой наклонная плоскость?*
2. *Почему клин и винт рассматривают как разновидности наклонной плоскости?*
3. *Почему с помощью наклонной плоскости (клина, рычага) всегда приходится проигрывать в расстоянии?*
4. *В чем состоит правило равновесия на наклонной плоскости?*
5. *Кто установил правило равновесия на наклонной плоскости?*

§ 68 (60). РАВЕНСТВО РАБОТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРОСТЫХ МЕХАНИЗМОВ. «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

Разберёмся подробнее, что означают условия равновесия рычага (блока, ворота):

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \qquad [4.4]$$

и наклонной плоскости (клина, винта):

$$F = P\frac{h}{l} \qquad [4.4]^*.$$

Равенство [4.4] означает, что: **используя рычаг, можно выиграть в силе *F*, но во столько же раз проиграть в расстоянии *l*; либо выиграть в расстоянии, но во столько же раз проиграть в силе.**

Наклонная плоскость всегда даёт проигрыш в расстоянии. Равенство [5.4] означает что: **тело на наклонной плоскости удерживается силой *F*, которая по величине во столько раз меньше веса *P* этого тела, во сколько раз длина *l* наклонной плоскости больше ее высоты *h*** (*рис.42.4*)**.**

Очевидно, эти равенства можно переписать так:

$$F_1\, l_1 = F_2 l_2 \qquad [4.4]$$

$$Fl = Hh \qquad [4.4]^*$$

Но **произведение пройденного пути на силу, действующую в направлении перемещения тела,** означает совершенную работу *A*! Таким образом, ***механизмы никогда не дают выигрыша в работе.***

Чтобы проверить этот вывод Архимеда, проделаем опыт с наклонной плоскостью.

Нам понадобится *оборудование*: круглый металлический цилиндр на оси с петлёй; доска (или полоска фанеры) по ширине цилиндра и опора под неё; динамометр; сантиметровая линейка (по длине доски), *рис. 57.4.*

Ход работы:

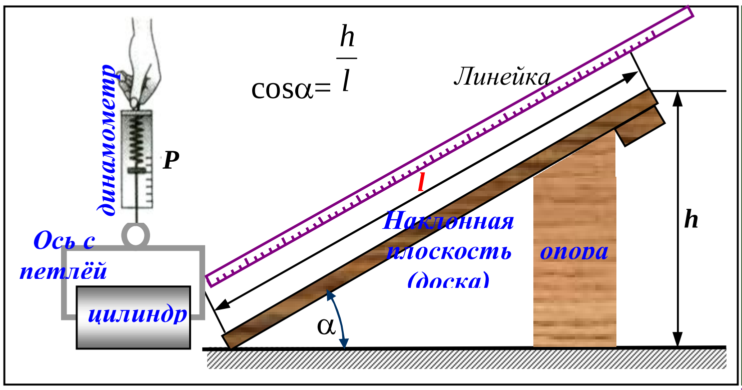


Рис. 57.4.Оборудование: круглый цилиндр на оси с петлёй; доска и опора под неё; динамометр; сантиметровая линейка по длине доски.

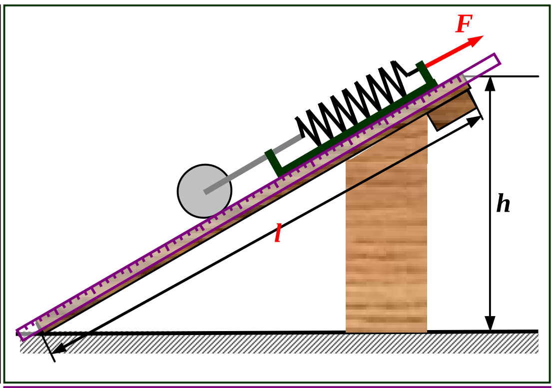


Рис. 58.4. Измерим силу **F**, необходимую для поддержания (равномерного перемещения) цилиндра на наклонной плоскости.

1. Поднимем цилиндр с помощью динамометра на высоту h (м), *рис.57.4*.
2. Запишем показания динамометра – вес цилиндра P (Н) и высоту h (м).
3. Рассчитайте произведённую работу при поднятии цилиндра на высоту h: $A=P\,h$ (Дж).
4. С помощью опоры установите доску так, как это показано на *рис. 58.4*.
5. Прикрепите линейку к наклонной плоскости так, чтобы можно было отсчитывать пройденное снизу перемещение l вдоль наклонной плоскости.
6. Зацепите динамометр за петлю цилиндра, и медленно равномерно перемещайте цилиндр вверх вдоль доски. Запишите показание динамометра $\boldsymbol{F}$ (Н) и перемещение l (м), подняв цилиндр на высоту h.
7. Подсчитайте работу $A_1 = \boldsymbol{F}\,l$ (Дж).
8. Сравните полученные значения A и A_1. Если вы аккуратно выполнили измерения, то работы при вертикальном перемещении A и при перемещении по наклонной плоскости A_1 на ту же высоту *практически* будут одинаковыми: $A=P\,h \cong A_1 = \boldsymbol{F}\,l$. Хотя, возможно, вы заметите, что A_1 чуть-чуть больше. Но этим различием можно вполне пренебречь.

Из этого следует, что $P\,h \cong \boldsymbol{F}\,l$. Но именно это и утверждал Архимед, *рис. 42.4*:

$$\boxed{F = P\frac{h}{l}} \qquad [4.4]^*$$

Отсюда можно сделать важные выводы:

1. *Наклонная плоскость позволяет получить выигрыш в силе* ***F****.* По ней легче поднимать тела, чем без нее (***P***). Поэтому-то так часто ее используют.
2. *пользуя наклонную плоскость, проигрывают в расстоянии.* Чтобы поднять по ней тело на высоту ***h***, вам пришлось перемещать тело на больший отрезок пути ***l***.
3. *Работа же при подъеме тела с использованием наклонной плоскости и без нее совершается одинаковая* **P h ≅ F l**.

Но самое замечательное, что всё сказанное справедливо для ***любых механизмов***. Это можно сформулировать так:

Ни один механизм не позволяет выиграть в работе. Используя механизмы, мы можем выиграть в силе, но проиграть в расстоянии. Или, наоборот, выиграть в расстоянии, но проиграть в силе.

Это утверждение называют *законом равенства работ* или ***«золотым» правилом механики***. Судя по названию, это правило очень понравилось инженерам. Но природа не так проста…

§ 69 (61). КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

Всегда ли ***«золотое» правило*** выполняется точно? Оказывается *затраченная* работа $A_з$ практически *всегда больше*, чем *полезная* $A_п$. Это значит, что Архимед не прав? Ничего подобного. Просто «золотое правило» верно так же, как и закон инерции Галилея – в *предельном* случае отсутствия трения. Опять этот *предельный случай!*

Работу $A_з$, совершаемую приложенной к механизму силой, называют ***полной или затраченной.***

Работу $A_п$, необходимую для выполнения данного действия механизма (например, подъема груза или преодолению кого-либо сопротивления), называют ***полезной.***

На практике затраченная (полная) работа $A_з$ всегда несколько больше полезной работы $A_п$.

Это обусловлено тем, что часть работы совершается против силы трения в механизме при перемещении его отдельных частей. Так, применяя подвижный блок, приходится дополнительно совершать работу по подъему самого блока, веревки и по преодолению силы трения в оси блока.

Какой бы механизм мы ни взяли, полезная работа, совершенная с его помощью, всегда составляет лишь часть полной работы. Следовательно, можно записать:

$$A_п < A_з \text{, или } \frac{A_п}{A_з} < 1.$$

Отношение полезной работы к полной работе называется коэффициентом полезного действия механизма.

Сокращенно коэффициент полезного действия обозначается КПД.

$$\text{КПД} = \frac{A_п}{A_з}.$$

КПД обычно выражают в процентах и обозначают греческой буквой η (читается «эта»):

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%. \quad [6.4]$$

Пример. На коротком плече рычага подвешен груз массой 100 кг. Для его подъема к длинному плечу приложили силу 250 Н. Груз подняли на высоту h_1 = 0,08 м, при этом точка приложения движущей силы опустилась на высоту h_2 = 0,4 м. Найти КПД рычага.

Запишем условие задачи и решим её.

Дано:
m = 100кг
$g = 9{,}8\,\frac{Н}{кг}$
F = 250 Н
h_1 = 0,08 м
h_2 = 0,04 м
η -?

Решение:

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%.$$

Полная (затраченная) работа $A_з = Fh_2$.
Полезная работа $A_п = Fh_1$.
$P = gm$.

$$P = 9{,}8\,\frac{Н}{кг} \cdot 100\text{кг} = 1000 \text{ кг}$$

$A_п$ = 1000 Н·0,08 м=80 Дж.
$A_з$ = 250 Н·0,4 м=100 Дж.

$$\eta = \frac{80\ Дж}{100\ Дж} \cdot 100\% = 80\%$$

Ответ: η =80%

Это значит, что часть затраченной работы (20%) расходуется на преодоление трения в оси рычага и сопротивления воздуха, а также на движение самого рычага.

КПД любого механизма всегда меньше 100%. Конструируя механизмы, стремятся увеличить их КПД. Для этого уменьшают трение в осях механизмов и их вес.

Вопросы

1. *Какую работу называют полезной, а какую полной?*
2. *Почему при применении механизмов для подъёма грузов и преодоления других сопротивлений полезная работа не равна полной (затраченной)?*
3. *Что такое коэффициент полезного действия (КПД) механизма?*
4. *Может ли КПД быть больше единицы? Ответ обоснуйте.*
5. *Как можно увеличить КПД?*

§ 70 (62). ЭНЕРГИЯ.

Слово «энергия» употребляется нередко и в быту. Так, например, людей, которые могут быстро выполнять большую работу, называют энергичными, обладающими большой энергией. Энергичный человек может сделать много хорошего. Но мы знаем также, что атомная энергия, заключенная в атомной бомбе, может произвести страшные разрушения. При этом мы слышим, что *потребление энергии в мире постоянно растет*.

Рис. 59.4. Источники энергии. а) Солнце – главный источник энергии для Земли. б) падающая вода; в) уголь; г) ветер; д) уран; е) нефть; ж) газ — вторичные источники энергии.

Рис. 60.4. АЗС и электростанции: а) автозаправочная станция – АЗС; б) гидроэлектростанция – ГЭС; в) солнечная электростанция – СЭС; г) атомная электростанция – АЭС; д) ветряные электростанция – ВЭС.

Рис.61.4. Различными видами энергии обладают: а) сжатая пружина; б) камень на вершине горы; в) кусочек масла; г) батарейка. Энергия проявляет себя лишь в процессах преобразования одного вида в другой.

Что же такое **энергия**?

Изначальным источником энергии для Земли является Солнце. Хотя представление об энергии обычно связывается с падающей водой, углем, ветром, ураном, нефтью, газом, *рис. 59.4*; с автозаправочными станциями и электростанциями, *рис.60.4*. Но это лишь вторичные источники энергии, используемые человеком.

Энергия существует *во множестве различных видов, рис. 61.4.* Энергия топлива способна приводить в движение самолёты, корабли; автомобили, обогревать дома. Она необходима для производства металлов и удобрений; для приготовления пищи и уборки улиц. Все живые существа вынуждены питаться. Они в буквальном смысле поедают энергию, заключённую в продуктах питания. Биологическая энергия, полученная в результате обмена веществ, обеспечивает живым существам возможность жить. Чтобы вы читали и понимали этот текст, также необходима разновидность такой энергии – умственная энергия.

Во всех этих случаях происходят преобразования одного вида энергии в другой. Для системы, которая не претерпевает никаких изменений, разговор об энергии не имеет смысла. Энергия может быть полезна только в процессах обмена и преобразования.

Энергия проявляет себя, переходя из одного вида в другой. Только при переходе из одного вида в другой энергия может приносить пользу. Энергия, не способная к таким изменениям бесполезна.

Так покоящаяся вода в озере и камень, лежащий на вершине утёса, обладают энергией, но использовать её для получения работы невозможно.

Аккумулятор способен запустить двигатель автомобиля лишь за счёт химических превращений его содержимого; газ в результате сгорания позволяет получить тепло. Электроэнергия, преобразованная в механическую энергию с помощью электродвигателя, приводит в движение электропоезд.

Энергия неуничтожима в изолированных (замкнутых) системах. Она является величиной, сохраняющейся при любых преобразованиях.

Несмотря на повсеместную необходимость энергии, это понятие оставалось неясным до середины XIX века. Галилей и Ньютон не имели понятия о такой физической величине. Да и сейчас едва ли возможно определить это понятие достаточно полно. По-видимому, это связано с тем, что энергия проявляется *во множестве различных видов*.

Наиболее простой вид энергии – ***механическая энергия***. С неё мы и начнём знакомство с этой физической величиной, играющей чрезвычайно важную роль в природе.

Для этого опять обратимся к примерам.

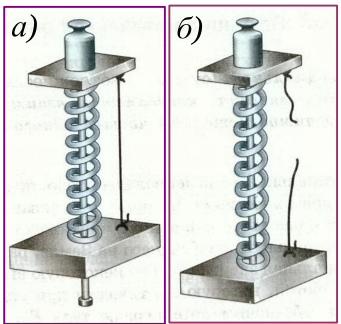


Рис. 62.4.Сжатая пружина (а), распрямляясь, поднимает груз (б).

Сжатая пружина, распрямляясь, может *совершить работу*, например, поднять на высоту груз (*рис. 62.4*) или заставить двигаться тележку.

Поднятый над землей неподвижный груз не совершает работы, но если этот груз упадет, то он может совершить работу – например, может забить в землю сваю.

Способностью *совершить работу* обладает и всякое *движущееся тело*. Так, скатившийся с наклонной плоскости стальной шарик *A* (*рис. 63.4*), ударившись о деревянный брусок *B*, передвигает его на некоторое расстояние. При этом совершается работа.

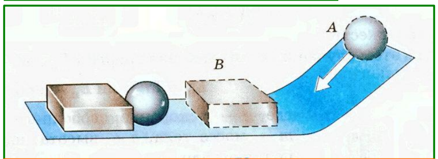


Рис. 63.4. Движущийся шарик, ударившись о брусок, совершает работу, перемещая его.

Если тело или несколько взаимодействующих между собой тел (система тел) могут совершать работу, то говорят, что они обладают полезной энергией.

Энергию выражают в СИ в тех же единицах, что и работу, т. е. в ***джоулях.***

Энергия это скалярная физическая величина, измеряемая работой, которую при определённых условиях может совершить тело (или система тел).

Чем большей энергией обладает тело, тем большую работу может оно совершить. ***При совершении работы энергия изменяется, переходит из одного вида в другой. Совершенная работа равна изменению энергии.***

Вопросы

1. *Зачем человеку нужна энергия?*
2. *Какие источники энергии вы знаете? Как они используются? Назовите пример различных видов энергии.*
3. *На каких примерах можно показать, что работа и энергия связаны между собой?*
4. *В каком случае можно сказать, что тело обладает полезной энергией?*
5. *В каких единицах измеряют работу и энергию?*

§ 71 (63). ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Здесь мы рассмотрим один вид энергии – ***механическую энергию***. Она может быть ***потенциальной*** и ***кинетической***.

Потенциальной (от латинского *потенция – возможность*) ***энергией называется энергия, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.*** Потенциальную энергию обозначают буквой $E_п$.

Потенциальной энергией, например, обладает тело, поднятое относительно поверхности Земли, потому что энергия тела зависит от взаимного положения его и Земли и их взаимного притяжения. Если считать потенциальную энергию тела, лежащего на Земле, равной нулю, то потенциальная энергия тела, поднятого на некоторую высоту, определится работой, которую совершит сила тяжести при падении тела на Землю. Поскольку $E_п = A$, а работа, как мы знаем, равна произведению силы на путь, то

$$A = Fh, \quad [1.4]$$

где F - сила тяжести.

Значит, в этом случае и потенциальная энергия $E_п$ равна:

$$E_п = Fh,$$

или

$$E_п = gmh, \quad [7.4]$$

где g - ускорение свободного падения, m - масса тела, h - высота, на которую поднято тело.

Огромной потенциальной энергией обладает вода в реках, удерживаемая плотинами. Падая вниз, вода совершает работу, приводя в движение мощные турбины электростанций (*рис. 59.4,б; 60.4,б*). С водой океанов этого сделать нельзя: воде из океана просто *некуда падать*!

Потенциальную энергию поднятого молота (*рис. 64.4,б*) используют в строительстве для совершения работы по забиванию свай.

Потенциальной энергией обладает всякое упругое деформированное тело.

Открывая дверь с пружиной, совершают работу по растяжению (или сжатию) пружины. За счет приобретенной энергии пружина, сокращаясь (или распрямляясь), совершает работу, закрывая дверь.

Энергию сжатых и закрученных пружин используют в ручных часах (*рис. 64.4в*) и разнообразных заводных игрушках. Натянутый лук перед выстрелом обладает потенциальной энергией, *рис. 64.4г.*

Рис. 64.4. Взаимодействующие тела обладают потенциальной энергией: а) на шарик действует притяжение Земли; б) копр (молот) для забивания свай фундамента при строительстве дама; в) сжатая пружина обеспечивает ход часов; г) натянутый лук перед выстрелом; д) баллон со сжатым газом.

Потенциальную энергию сжатого газа используют в работе тепловых двигателей, в отбойных молотках (*см. Приложение 3 гл. 3*), которые широко применяют в горной промышленности, при строительстве дорог, выемке твердого грунта и т. д.

Энергия, которой обладает тело вследствие своего движения, называется кинетической (от греческого *кинема – движение*) ***энергией.***

Кинетическая энергия тела обозначается буквой $E_к$.

Движущаяся вода, приводя во вращение турбины гидроэлектростанций, расходует свою кинетическую энергию и совершает работу. Кинетической энергией обладает и движущийся воздух – ветер, см. Приложение гл. 4.

От чего зависит кинетическая энергия? Обратимся к опыту (см. *рис. 63.4*). Если скатывать шарик A с разных высот, то можно заметить, что чем с большей высоты скатывается шарик, тем больше его скорость и тем дальше он передвигает брусок, т. е. совершает большую работу. Значит, кинетическая энергия тела зависит от его *скорости.*

За счет скорости большой кинетической энергией обладает летящая пуля. Она способна пробить доску.

Кинетическая энергия тела зависит и от его *массы*. Еще раз обратимся к опыту (см. *рис. 63.4*), но будем скатывать с наклонной плоскости другой шарик – большей массы. Брусок *В* передвинется дальше, т. е. будет совершена большая работа. Значит, и кинетическая энергия второго шарика больше, чем первого.

Чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия.

Для того чтобы определить кинетическую энергию тела, применяют формулу:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \qquad [8.4]$$

где m - масса тела, v - скорость движения тела.

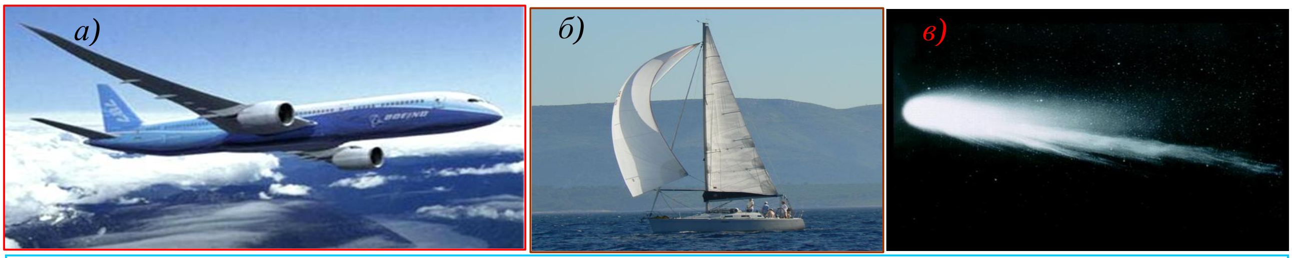


Рис. 65.4. Движущиеся тела обладают энергией движения – ***кинетической*** *энергией: а) летящий самолёт; б) ветер; в) комета. Энергия движущегося тела тем больше, чем больше его скорость* **v** *и масса* m.

Кинетическую энергию тел используют в технике. Удерживаемая плотиной вода обладает, как было уже сказано, большой потенциальной энергией. При падении с плотины вода движется и имеет такую же большую кинетическую энергию. Она приводит в движение турбину, соединенную с генератором электрического тока. За счет кинетической энергии воды вырабатывается электрическая энергия. *Обратите внимание на преобразования энергии!*

Энергия движущейся воды и ветер используются для получения электроэнергии, см. Приложение к Главе 4. Падающая вода и ветер являются экологически чистыми источниками энергии в отличие от топлива.

Обратите внимание на *особенности отсчёта* потенциальной и кинетической энергии. Например, летящий самолет и все тела, находящиеся в нём, обладают относительно Земли и кинетической и потенциальной энергией (Земля – тело отсчёта). Но яблоко, лежащее на полке этого самолёта не обладает относительно неё ни потенциальной ни кинетической энергией (тело отсчёта – полка в самолёте).

Более того, практически имеет значение только *изменение* потенциальной энергии, а потому можно выбирать *любой* удобный уровень её отсчёта. Если мы возьмем на берегу камень и поднимем его на вершину утеса, то в качестве нулевого уровня можно взять уровень морского берега и приписать камню на берегу нулевую потенциальную энергию. Если мы сбросили камень с воздушного шара на Землю, то нулевым уровнем будет поверхность Земли. Если же бросить камень в колодец, то в качестве нулевого уровня лучше выбрать либо дно колодца, либо уровень Земли, и когда камень находится ниже уровня Земли, воспользоваться странной на первый взгляд отрицательной потенциальной энергией. Если мы ставим опыт над лабораторным столом, то в качестве нулевого уровня можно выбирать, либо поверхность стола, либо пол. В последнем случае все высоты будут больше, но *разность* высот останется, конечно, той же самой.

Значение кинетической энергии (как и скорости) тела будет зависеть от выбора системы отсчёта.

Мы ознакомились с двумя разновидностями механической энергии. Иные виды энергии (электрическая, внутренняя и др.) будут рассмотрены в других разделах курса физики.

Вопросы

1. *Какую энергию называют потенциальной?*
2. *Приведите примеры тел, обладающих потенциальной энергией.*
3. *Как показать, что деформированная пружина обладает потенциальной энергией?*
4. *Какую энергию называют кинетической? От каких величин, она зависит?*
5. *В каком случае кинетическую энергию тела считают равной нулю?*
6. *Назовите случаи, когда тела обладают кинетической энергией.*
7. *Где используют кинетическую энергию текущей воды?*
8. *В чём состоит относительность кинетической и потенциальной энергии тела?*

Упражнение

1. Какой потенциальной энергией относительно Земли обладает тело массой 100 кг на высоте 10 м?
2. В каких местах реки – у истока или в устье – каждый кубический метр воды обладает большей потенциальной энергией? Ответ обоснуйте.
3. В какой реке, – горной или равнинной – каждый кубический метр текущей воды обладает большей кинетической энергией? Почему?
4. Определите, какой кинетической энергией будет обладать пуля, вылетевшая ружья. Скорость ее при вылете из ружья равна 600 $\frac{м}{с}$, а масса – 7,5 г.

§72 (64). ПРЕВРАЩЕНИЕ ОДНОГО ВИДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ДРУГОЙ. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ.

В природе, технике и быту можно часто наблюдать превращение одного вида механической энергии в другой: потенциальной в кинетическую и кинетической в потенциальную ($E_п \leftrightarrow E_к$).

Рис. 66.4. Маятник Максвелла

Например, при падении воды с плотины ее потенциальная энергия превращается в кинетическую. В качающемся маятнике периодически эти виды энергии переходят друг в друга, *рис. 60.4б.*

Явление превращения одного вида механической энергии в другой очень удобно наблюдать на приборе, изображенном на *рис. 66.4.* Этот прибор называется маятником Максвелла. Накручивая на ось нить, поднимают диск прибора. Диск, поднятый вверх, обладает некоторой потенциальной энергией. Если его отпустить, то он, вращаясь, начнет падать. По мере падения потенциальная энергия диска уменьшается, но вместе с тем возрастает его кинетическая энергия. В конце падения диск обладает таким запасом кинетической энергии, что может опять подняться почти до прежней высоты. (Часть энергии расходуется на работу против силы трения, поэтому диск не достигает первоначальной высоты.) Поднявшись вверх, диск снова падает, а затем снова поднимается. В этом опыте при движении диска вниз его потенциальная энергия превращается в кинетическую, а при движении вверх кинетическая энергия превращается в потенциальную.

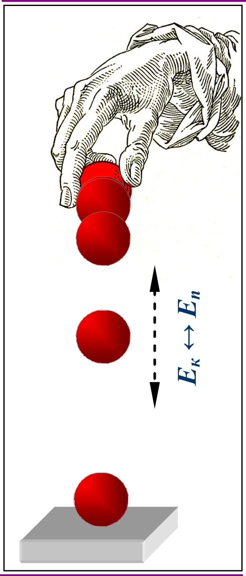


Рис. 67.4. Шарик падает на плиту.

Превращение энергии из одного вида в другой происходит также при ударе двух каких-нибудь упругих тел, например резинового мяча о пол или стального шарика о стальную плиту.

Если поднять над стальной плитой стальной шарик (*рис. 67.4*) и выпустить затем его из рук, то он будет падать. По мере падения шарика его потенциальная энергия убывает, а кинетическая растет, так как увеличивается скорость движения шарика. При ударе шарика о плиту произойдет сжатие, как шарика, так и плиты. Кинетическая энергия, которой шарик обладал, превратится в потенциальную энергию сжатой плиты и сжатого шарика. Затем благодаря действию упругих сил плита и шарик примут почти первоначальную форму. Шарик отскочит от плиты, а их потенциальная энергия вновь превратится в кинетическую энергию шарика: шарик отскочит вверх со скоростью, почти равной скорости, которой обладал в момент удара о плиту. При подъеме вверх скорость шарика, а, следовательно, и его кинетическая энергия уменьшаются, потенциальная энергия растет. Отскочив от плиты, шарик поднимается почти до той же высоты, с которой начал падать. В верхней точке подъема вся его кинетическая энергия вновь превратится в потенциальную.

Явления природы обычно сопровождаются превращением одного вида энергии в другой, (*см. рис. 66.4 – 68.4*):

$$E_п \longleftrightarrow E_к$$

Рис. 68.4. Шарик, находясь в «потенциальной яме», совершает колебательные движения, двигаясь вправо и влево от самого нижнего положения равновесия, где $E_п$=0; $E_к$ = макс. При движении вниз его энергия переходит из потенциальной в кинетическую: $E_п \rightarrow E_к$, а при движении вверх – из кинетической в потенциальную: $E_к \rightarrow E_п$.

Энергия может и передаваться от одного тела к другому.

Так, например, при стрельбе из лука потенциальная энергия натянутой тетивы переходит в кинетическую энергию летящей стрелы, *рис. 64.4г.*

Если трение отсутствует, то сумма кинетической и потенциальной энергии не изменяется:

$$E_п + E_к = const. \quad [9.4]$$

Для приведенных выше примеров уравнение [9.4] можно записать так:

$$\frac{mv^2}{2} + gmh = const. \quad [9.4]^*$$

Последние два уравнения выражают ***закон сохранения механической энергии***. Этот закон (как и закон инерции Галилея) выполняется только *в предельном идеализированном случае* – при отсутствии трения. В реальных условиях трение приводит к тому, что часть механической энергии переходит в энергию хаотического движения молекул – *внутреннюю* энергию тела, с которой вы познакомитесь в будущем году.

Вопросы

1. *Как на опыте можно показать превращение одного вида механической энергии в другой?*
2. *Какие превращения энергии происходят при падении воды с плотины?*
3. *Какие превращения энергии происходят при ударе стального шарика* о *стальную плиту?*

Упражнение

1. Укажите превращение одного вида энергии в другой в следующих случаях: а) при падении воды водопада; б) при бросании мяча вертикально вверх; в) при закручивании пружины наручных часов; г) на примере дверной пружины.

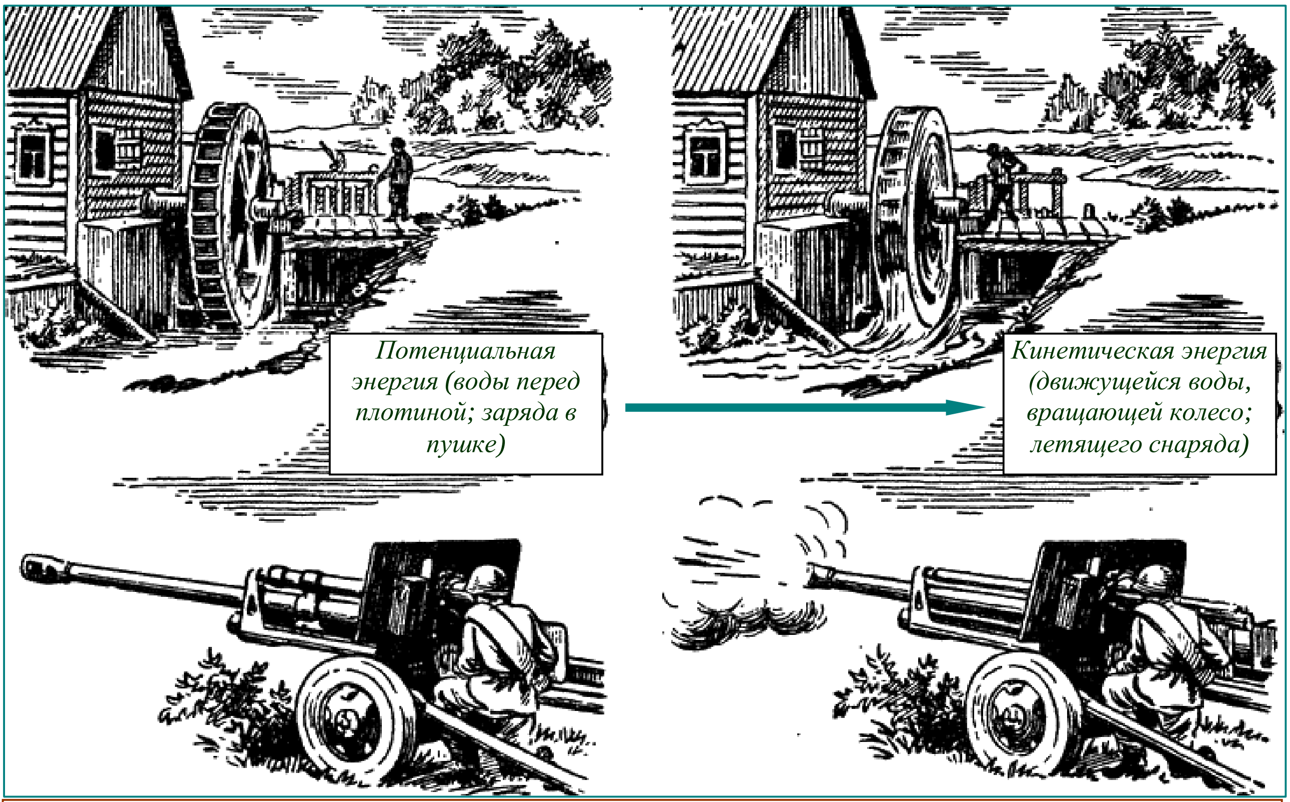
2. Массы падающих тел одинаковы. Одинаковы ли значения потенциальной энергии тел на одной и той же высоте и одинаковы ли значения кинетической энергии на этой высоте?

4. Приведите примеры тел, обладающих одновременно кинетической и потенциальной энергией.

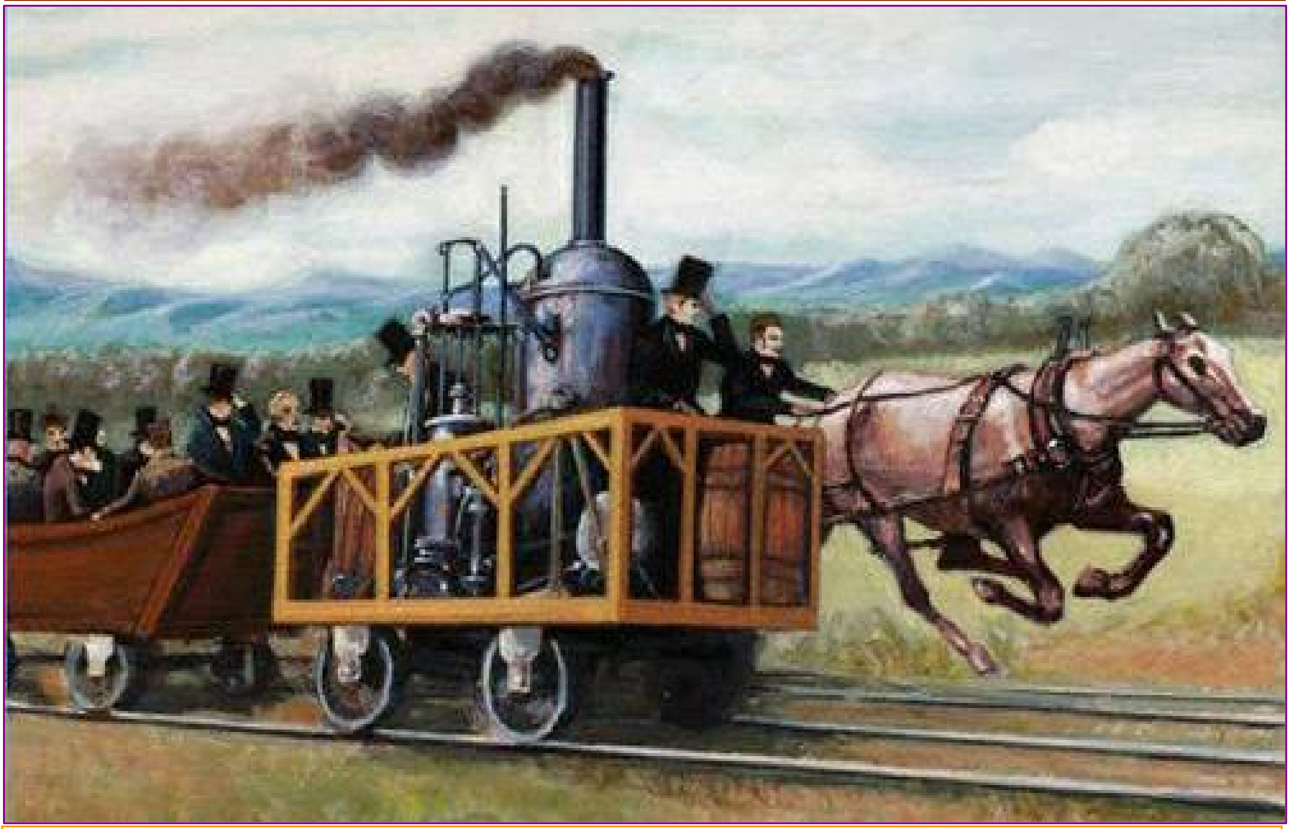
Задание

1. Изготовьте нитяной и пружинный маятники. Пронаблюдайте за их колебаниями. Кратко опишите превращения энергии, происходящие при колебании этих маятников.

Указание. Нитяной маятник состоит из нити, на конце которой укреплен груз.
Пружинный маятник представляет собой пружину, к концу которой подвешен груз. Во время опыта верхний конец пружины укрепляют или держат в руке, груз слегка оттягивают вниз и отпускают.



Преобразование одного вида энергии в другой неизбежно происходит с «потерями». Однако это неточное выражение: на самом деле энергия упорядоченного макроскопического движения тела не теряется, а частично переходит во внутреннюю энергию хаотического движения молекул.
Так, кинетическая энергия воды частично передаётся колесу, а частично переходит в неупорядоченное вихревое движение, а затем в хаотическое движение молекул воды.
Вылетевший снаряд в результате трения о воздух нагревается сам и нагревает воздух, уменьшая свою кинетическую энергию, но увеличивая внутреннюю энергию свою и воздуха.



«Соревнование мощностей» одного из первых паровозов и лошади.

Приложение 1 к Главе 4

ЭНЕРГИЯ ДВИЖУЩЕЙСЯ ВОДЫ И ВЕТРА. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ВЕТРЯНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Энергию движущейся воды и ветра люди используют с древних времён.

Вода имеет значительную плотность $\rho = 1000\ \frac{кг}{м^3}$. Поднятая над Землей, она обладает большой потенциальной энергией. Например, 1 м^3 воды на высоте 50 м обладает потенциальной энергией:

$$E_п = 9{,}8\ \frac{Н}{кг} \cdot 1000\ \frac{кг}{м^3} \bullet 1м^3 \cdot 50\ м = 500\ 000\ Дж = 500\ кДж.$$

При падении воды с этой высоты совершится работа A= 500 кДж.

За счет энергии поднятой воды гидравлические двигатели могут совершать механическую работу, *рис. 1.4п*.

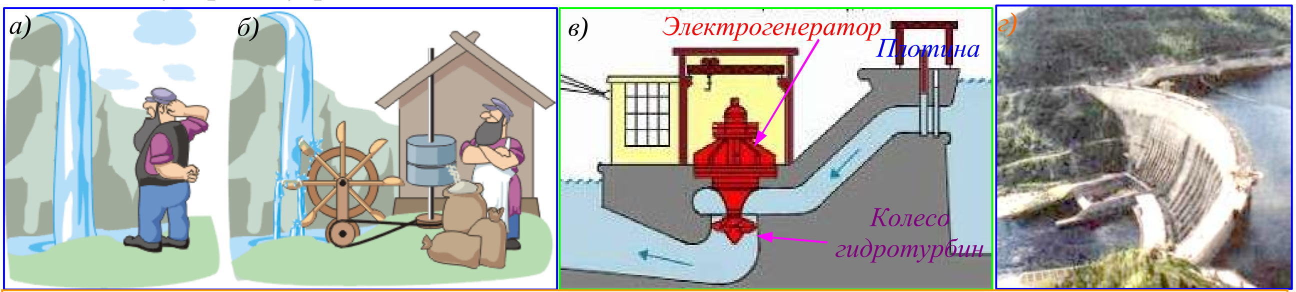


Рис. 1.4п. Энергия движущейся воды используется человеком с давних времён: а) при падении воды с высоты совершается работа; б) водяные колёса использовались для различных целей; в) так устроены современные гидроэлектростанции; г) для создания напора воды перед гидротурбинами строятся плотины.

Но в природе сравнительно редко встречаются большие водопады. Чаще всего русла рек имеют небольшой уклон. В этих случаях для создания давления *(напора)*, необходимого для работы гидравлических двигателей, приходится поднимать уровень воды в реке искусственно, при помощи *плотин.*

Один из простейших и древнейших двигателей – *водяное колесо*. Наиболее совершенные гидравлические двигатели ***водяные турбины***. В таких турбинах вода отдает энергию колесу, приводя в движение лопасти турбины. Рабочее колесо турбины соединено с валом электрического генератора, дающего электрический ток.

В некоторых местах применяют гидротурбины, в которых используют энергию приливов и отливов воды в морях и океанах (о приливах и отливах см. **Приложение №2 к гл.2**).

Ветер представляет собой источник даровой энергии. Хотя плотность воздуха в ≈800 раз меньше плотности воды, но скорость ветра и его кинетическая энергия $E_к$ может быть очень большой.

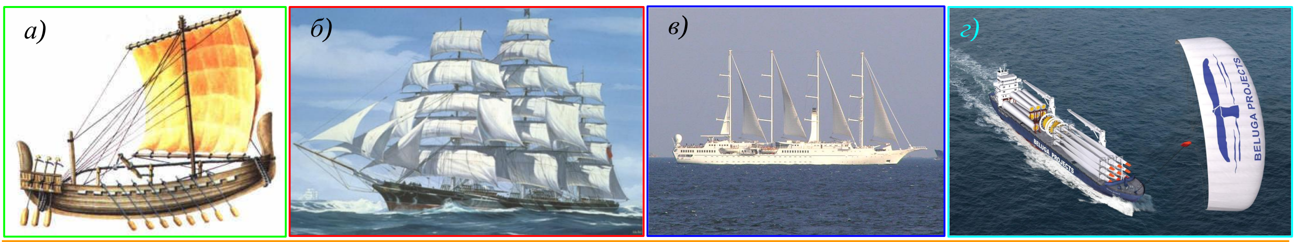


Рис. 2.4п. Примерно за 3000 лет до н. э. на Средиземном море появились паруса: а) античные парусные суда; б) одно из наиболее совершенных парусных судов Катти Сарк спущен на воду в 1869 году; в) современное парусное судно; г) парящий парус, выпускаемый на высоту в сотни метров и управляемый компьютером.

Примерно за 3000 лет до н. э. на Средиземном море появились паруса. С тех пор эти суда непрерывно совершенствуются. В истории человечества парусные суда сыграли важную роль. Они участвовали в многочисленных войнах, в торговле, с их помощью произошли основные географические открытия. В настоящее время паруса используются не только на туристских и спортивных яхтах, но и на крупных судах, позволяя экономить значительную часть дорогостоящего топлива, *рис. 2.4п.*

Очень большое значение в развитии человеческой цивилизации сыграли и *ветряные двигатели.*

В VII в. н. э. персы изобрели мельницу с крыльями. В VIII-IX вв. такие мельницы появились в Европе и на Руси, а начиная с XIII в. чрезвычайно распространились в Голландии, Дании и Англии. Мельницы не только мололи зерно, но и качали воду (голландцы отвоевали у моря большую часть территории своей страны именно благодаря мельницам) и приводили в движение станки, *рис. 3.4п.*

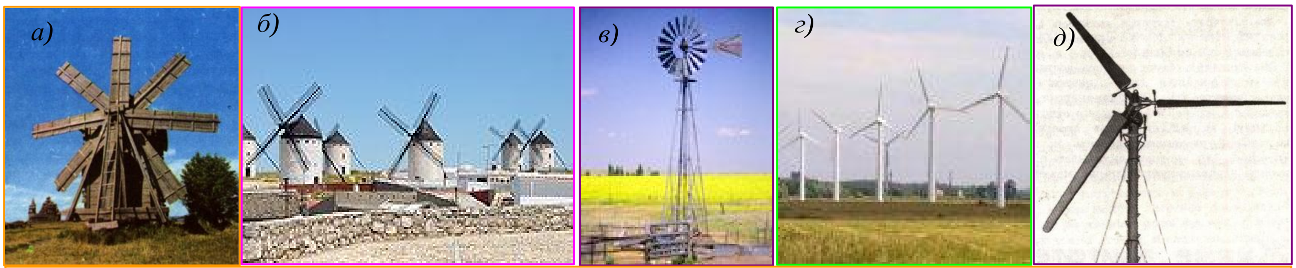


Рис. 3.4п. В VII в. н. э. персы изобрели мельницу с крыльями. В VIII-IX вв. крыльчатые мельницы появились в Европе и на Руси (а), а начиная с XIII в. чрезвычайно распространились в Голландии, Дании и Англии(б). Современныё ветряной двигатель небольшой мощности (в). В США и Европе широко используются ветряные электрогенераторы (г), (д).

Движущиеся массы воздуха оказывают давление на наклонные плоскости крыльев ветряных двигателей и приводят их в движение. Вращательное движение крыльев при помощи системы передач передается механизмам, выполняющим какую-либо работу.

Ветряные двигатели применяют для подъема воды из колодцев, для подачи воды в водонапорные башни; в совхозах, колхозах, на железнодорожных станциях – для получения электрической энергии и т. д. Для этих целей мощность ветряных двигателей достаточна. При скорости ветра *5 м/с* ветряной двигатель с диаметром колеса *12 м* развивает мощность *3300 Вт* (при КПД 35%). Если же скорость ветра равна *10 м/с*, а диаметр колеса *30 м*, то развиваемая двигателем мощность составит *110 000 Вт.*

Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью

Даниил Бернулли. (1700 –1782). Почётный член Петербургской Академии наук. Физиолог, математик, механик, Вывел важное уравнение движения жидкости.

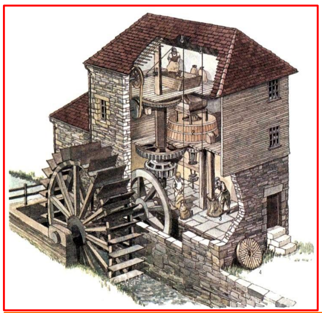
Первая в мире современная ветроэлектростанция с горизонтальной осью мощностью 100 кВт была построена в 1931г в Крыму. На сегодняшний день в США и Европе ветроэнергетика развивается особенно интенсивно. Например, в Дании 25% используемой энергии добывается при помощи ветра.

Развитие технологий использования энергии ветра приводит к тому, что многие страны перешли с одиночных установок ветряных «мельниц», до образования огромных «*ветровых полей*», на которых на близком расстоянии друг от друга устанавливаются сотни ветряков. Так создаются так называемые ветровые фермы, см. *рис. 3.4п.*

Раздел физики, в котором изучается движение жидкостей и газов, называется «*механикой жидкостей и газов*». Основные уравнения движения жидкостей получаются обобщением уравнений динамики Ньютона. Эти уравнения были впервые получены Д. Бернулли совместно с Л. Эйлером.

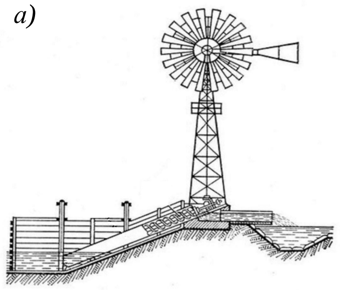
Леонард Эйлер (1707—1783), большую часть жизни прожил в России, академик Петербургской Академии наук. Математик, механик, физик, астроном.

*Здание Санкт-**Петербургской** Академии наук, где работали Леонард Эйлер и Даниил Бернулли.*

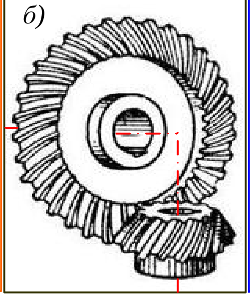


Энергии потока воды используется водяной мельницей – механизмом, приводимый в действие потоком воды, протекающим через водяное колесо. Водяные мельницы были изобретены около 2000 лет назад для размола зерна. В начале XVIII в. подобные устройства приводили в движение ткацкие станки на текстильных фабриках. До наступления промышленного переворота водяные мельницы служили движущей силой при выполнении разных работ, в частности, с их помощью из зерна делали муку. Зерно поднимали наверх, откуда по желобу ссыпали в жернова. Готовая мука высыпалась по другому желобу, и ее собирали в мешок. На рисунке можно видеть устройство старинной мельницы.

а)



б)



Использование энергии ветра для подъёма воды: а) современная установка целиком; б) зубчатые колёса. Ветер вращает воздушное колесо (разновидность винта Архимеда). Его вращение через угловую зубчатую передачу передается шнеку (тоже – винт Архимеда), который перекачивает воду из нижнего в верхний резервуар, совершая работу против сил тяжести. Данная установка – пример сложного механизма, включающий два винта Архимеда и зубчатую передачу.