**Закон сохранения импульса, кинетическая и потенциальные энергии, мощность силы**

**Импульс тела**

**Импульсом тела называется величина, равная произведению массы тела на его скорость.**

Следует помнить, что речь идет о теле, которое можно представить как материальную точку. Импульс тела (р) называют также количеством движения. Понятие количества движения было введено в физику Рене Декартом (1596—1650). Термин «импульс» появился позже (impulsus в переводе с латинского означает «толчок»). Импульс является векторной величиной (как и скорость) и выражается формулой:

p→=mυ→

Направление вектора импульса всегда совпадает с направлением скорости.

За единицу импульса в СИ принимают импульс тела массой 1 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, следовательно, единицей импульса является 1 кг · м/с.

Если на тело (материальную точку) действует постоянная сила в течение промежутка времени ∆t, то постоянным будет и ускорение:

a→=υ2→−υ1→∆t

где, υ1→ и υ2→ — начальная и конечная скорости тела. Подставив это значение в выражение второго закона Ньютона, получим:

m(υ2→−υ1→)∆t=F→

Раскрыв скобки и воспользовавшись выражением для импульса тела, имеем:

p2→−p1→=F→∆t

Здесь p2→−p1→=∆p→ — изменение импульса за время ∆t. Тогда предыдущее уравнение примет вид:

∆p→=F→∆t

Выражение ∆p→=F→∆t представляет собой математическую запись второго закона Ньютона.

Произведение силы на время ее действия называют*импульсом силы*. Поэтому *изменение импульса точки равно изменению импульса силы, действующей на нее.*

Выражение ∆p→=F→∆t называется *уравнением движения тела*. Следует заметить, что одно и то же действие — изменение импульса точки — может быть получено малой силой за большой промежуток времени и большой силой за малый промежуток времени.

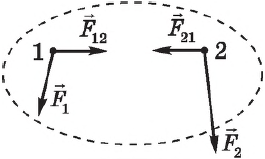
**Импульс системы тел. Закон изменения импульса**

Импульсом (количеством движения) механической системы называется вектор, равный сумме импульсов всех материальных точек этой системы:

pсист→=p1→+p2→+...

Законы изменения и сохранения импульса являются следствием второго и третьего законов Ньютона.

Рассмотрим систему, состоящую из двух тел. Силы (F12 и F21 на рисунке, с которыми тела системы взаимодействуют между собой, называются внутренними.



Пусть кроме внутренних сил на систему действуют внешние силы F1→ и F2→. Для каждого тела можно записать уравнение ∆p→=F→∆t. Сложив левые и правые части этих уравнений, получим:

∆p1→+∆p2→=(F12→+F21→+F1→+F2→)∆t

Согласно третьему закону Ньютона F12→=−F21→.

Следовательно,

∆p1→+∆p2→=(F1→+F2→)∆t

В левой части стоит геометрическая сумма изменений импульсов всех тел системы, равная изменению импульса самой системы — ∆pсист→.С учетом этого равенство ∆p1→+∆p2→=(F1→+F2→)∆t можно записать:

∆pсист→=F→∆t

где F→ — сумма всех внешних сил, действующих на тело. Полученный результат означает, что **импульс системы могут изменить только внешние силы, причем изменение импульса системы направлено так же, как суммарная внешняя сила.** В этом суть закона изменения импульса механической системы.

Внутренние силы изменить суммарный импульс системы не могут. Они лишь меняют импульсы отдельных тел системы.

**Закон сохранения импульса**

Из уравнения ∆pсист→=F→∆t вытекает закон сохранения импульса. Если на систему не действуют никакие внешние силы, то правая часть уравнения ∆pсист→=F→∆t обращается в ноль, что означает неизменность суммарного импульса системы:

∆pсист→=m1υ1→+m2υ2→=const

Система, на которую не действуют никакие внешние силы или равнодействующая внешних сил равна нулю, называется *замкнутой.*

*Закон сохранения импульса гласит:*

**Суммарный импульс замкнутой системы тел остается постоянным при любых взаимодействиях тел системы между собой.**

Полученный результат справедлив для системы, содержащей произвольное число тел. Если сумма внешних сил не равна нулю, но сумма их проекций на какое-то направление равна нулю, то проекция импульса системы на это направление не меняется. Так, например, система тел на поверхности Земли не может считаться замкнутой из-за силы тяжести, действующей на все тела, однако сумма проекций импульсов на горизонтальное направление может оставаться неизменной (при отсутствии трения), т. к. в этом направлении сила тяжести не действует.

**Реактивное движение**

Рассмотрим примеры, подтверждающие справедливость закона сохранения импульса.

Возьмем детский резиновый шарик, надуем его и отпустим. Мы увидим, что когда воздух начнет выходить из него в одну сторону, сам шарик полетит в другую. Движение шарика является примером реактивного движения. Объясняется оно законом сохранения импульса: суммарный импульс системы «шарик плюс воздух в нем» до истечения воздуха равен нулю; он должен остаться равным нулю и во время движения; поэтому шарик движется в сторону, противоположную направлению истечения струи, и с такой скоростью, что его импульс по модулю равен импульсу воздушной струи.

*Реактивным движением* называют движение тела, возникающее при отделении от него с какой- либо скоростью некоторой его части. Вследствие закона сохранения импульса направление движения тела при этом противоположно направлению движения отделившейся части.

На принципе реактивного движения основаны полеты ракет. Современная космическая ракета представляет собой очень сложный летательный аппарат. Масса ракеты складывается из массы рабочего тела (т. е. раскаленных газов, образующихся в результате сгорания топлива и выбрасываемых в виде реактивной струи) и конечной, или, как говорят, «сухой» массы ракеты, остающейся после выброса из ракеты рабочего тела.

Когда реактивная газовая струя с большой скоростью выбрасывается из ракеты, сама ракета устремляется в противоположную сторону. Согласно закону сохранения импульса, импульс mpυp, приобретаемый ракетой, должен быть равен импульсу mгаз·υгаз выброшенных газов:

mpυp=mгаз·υгаз

Отсюда следует, что скорость ракеты

υp=(mгазmp)·υгаз

Из этой формулы видно, что скорость ракеты тем больше, чем больше скорость выбрасываемых газов и отношение массы рабочего тела (т. е. массы топлива) к конечной («сухой») массе ракеты.

Формула υp=(mгазmp)·υгаз является приближенной. В ней не учитывается, что по мере сгорания топлива масса летящей ракеты становится все меньше и меньше. Точная формула для скорости ракеты была получена в 1897 г. К. Э. Циолковским и носит его имя.

Формула Циолковского позволяет рассчитать запасы топлива, необходимые для сообщения ракете заданной скорости.

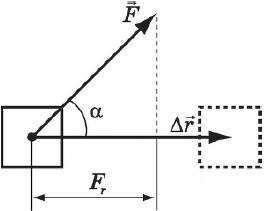
**Работа силы**

Термин «работа» был введен в физику в 1826 г. французским ученым Ж. Понселе. Если в обыденной жизни работой называют лишь труд человека, то в физике и, в частности, в механике принято считать, что работу совершает сила. Физическую величину работы обычно обозначают буквой А.

*Работа силы* — это мера действия силы, зависящая от ее модуля и направления, а также от перемещения точки приложения силы. Для постоянной силы и прямолинейного перемещения работа определяется равенством:

A=F|∆r→|cosα

где F — сила, действующая на тело, ∆r→ — перемещение, α — угол между силой и перемещением.



Работа силы равна произведению модулей силы и перемещения и косинуса угла между ними, т. е. скалярному произведению векторов F→ и ∆r→.

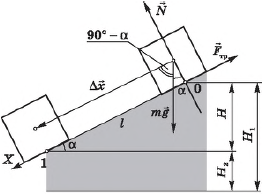
Работа — величина скалярная. Если α<90°, то А>0, а если 90°<α<180°, то A<0; если же α=90°, то А=0. Так, сила тяжести не совершает работу при перемещении тела по горизонтальной плоскости. Также при движении спутника по круговой орбите сила тяготения не совершает работу.

При действии на тело нескольких сил полная работа (сумма работ всех сил) равна работе результирующей силы.

Единицей работы в СИ является *джоуль* (1 Дж). 1 Дж — это работа, которую совершает сила в 1 Н на пути в 1 м в направлении действия этой силы. Эта единица названа в честь английского ученого Дж. Джоуля (1818-1889): 1 Дж = 1 Н · м. Часто применяются также килоджоули и миллиджоули: 1 кДж =1000 Дж, 1 мДж =0.001 Дж.

**Работа силы тяжести**

Рассмотрим тело, скользящее по наклонной плоскости с углом наклона α и высотой Н.



Выразим ∆x через H и α:

∆x=Hsinα

Учитывая, что сила тяжести Fт=mg составляет угол (90°−α) с направлением перемещения, используя формулу ∆x=Hsinα, получим выражение для работы силы тяжести Ag:

Ag=mg·cos(90°−α)·Hsinα=mgH

Из этой формулы видно, что работа силы тяжести зависит от высоты и не зависит от угла наклона плоскости.

Отсюда следует, что:

1. **работа силы тяжести не зависит от формы траектории, по которой движется тело, а лишь от начального и конечного положения тела;**
2. **при перемещении тела по замкнутой траектории работа силы тяжести равна нулю, т. е. сила тяжести — консервативная сила (консервативными называются силы, обладающие таким свойством).**

*Работа сил реакции*, **равна нулю, поскольку сила реакции (N) направлена перпендикулярно перемещению ∆x.**

**Работа силы трения**

Сила трения направлена противоположно перемещению ∆x и составляет с ним угол 180°, поэтому работа силы трения отрицательна:

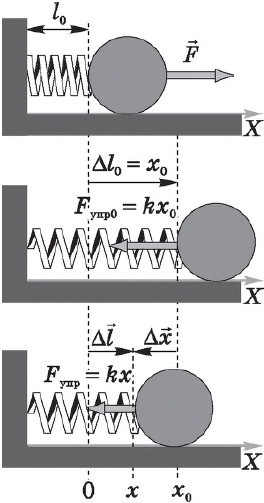
Aтр=Fтр∆x·cos180°=−Fтр·∆x

Так как Fтр=μN,N=mg·cosα,∆x=l=Hsinα, то

Aтр=μmgHctgα

**Работа силы упругости**

Пусть на нерастянутую пружину длиной l0 действует внешняя сила F→, растягивая ее на ∆l0=x0. В положении x=x0Fупр=kx0. После прекращения действия силы F→ в точке х0 пружина под действием силы Fупр сжимается.



Определим работу силы упругости при изменении координаты правого конца пружины от х0 до х. Поскольку сила упругости на этом участке изменяется линейно, в законе Гука можно использовать ее среднее значение на этом участке:

Fупр.ср.=kx0+kx2=k2(x0+x)

Тогда работа (с учетом того, что направления Fупр.ср.→ и ∆x→ совпадают) равна:

Aупр=k2(x0+x)(x0−x)=kx022−kx22

Можно показать, что вид последней формулы не зависит от угла между Fупр.ср.→ и ∆x→. Работа сил упругости зависит лишь от деформаций пружины в начальном и конечном состояниях.

Таким образом, сила упругости, подобно силе тяжести, является консервативной силой.

**Мощность силы**

**Мощность — физическая величина, измеряемая отношением работы к промежутку времени, в течение которого она произведена.**

Другими словами, мощность показывает, какая работа совершается за единицу времени (в СИ — за 1 с).

Мощность определяется формулой:

N=A∆t

где N — мощность, А — работа, совершенная за время ∆t.

Подставив в формулу N=A∆t вместо работы A ее выражение A=F|∆r→|cosα, получим:

N=F|∆r→|cosα∆t=Fυcosα

*Мощность равна произведению модулей векторов силы и скорости на косинус угла между этими векторами.*

Мощность в системе СИ измеряется в ваттах (Вт). Один ватт (1 Вт) — это такая мощность, при которой за 1 с совершается работа 1 Дж: 1 Вт =1 Дж/с.

Эта единица названа в часть английского изобретателя Дж. Ватта (Уатта), построившего первую паровую машину. Сам Дж. Ватт (1736-1819) пользовался другой единицей мощности — лошадиной силой (л. с.), которую он ввел для того, чтобы можно было сравнивать работоспособности паровой машины и лошади: 1 л.с. =735.5 Вт.

В технике часто применяются более крупные единицы мощности — киловатт и мегаватт: 1 кВт =1000 Вт, 1 МВт =1000000 Вт.

**Кинетическая энергия. Закон изменения кинетической энергии**

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

Слово «энергия» (от греч. energia — действие, деятельность) нередко употребляется в быту. Так, например, людей, которые могут быстро выполнять работу, называют энергичными, обладающими большой энергией.

**Энергия, которой обладает тело вследствие движения, называется кинетической энергией.**

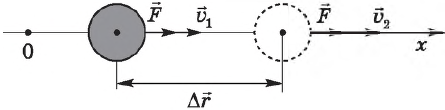
Как и в случае определения энергии вообще, о кинетической энергии можно сказать, что кинетическая энергия — это способность движущегося тела совершать работу.

Найдем кинетическую энергию тела массой m, движущегося со скоростью υ. Поскольку кинетическая энергия — это энергия, обусловленная движением, нулевым состоянием для нее является то состояние, в котором тело покоится. Найдя работу, необходимую для сообщения телу данной скорости, мы найдем его кинетическую энергию.

Для этого подсчитаем работу на участке перемещения ∆r→ при совпадении направлений векторов силы F→ и перемещения ∆r→. В этом случае работа равна

A=F·∆x,

где ∆x=∆r



Для движения точки с ускорением α=const выражение для перемещения имеет вид:

∆x=υ1t+at22,

где υ1 — начальная скорость.

Подставив в уравнение A=F·∆x выражение для ∆x из ∆x=υ1t+at22 и воспользовавшись вторым законом Ньютона F=ma, получим:

A=ma(υ1t+at22)=mat2(2υ1+at)

Выразив ускорение через начальную υ1 и конечную υ2 скорости a=υ2−υ1t и подставив в A=ma(υ1t+at22)=mat2(2υ1+at) имеем:

A=m(υ2−υ1)2·(2υ1+υ2−υ1)

или

A=mυ222−mυ122

Приравняв теперь начальную скорость к нулю: υ1=0, получим выражение для *кинетической энергии:*

EK=mυ2=p22m

Таким образом, движущееся тело обладает кинетической энергией. Эта энергия равна работе, которую необходимо совершить, чтобы увеличить скорость тела от нуля до значения υ.

Из EK=mυ2=p22m следует, что работа силы по перемещению тела из одного положения в другое равна изменению кинетической энергии:

A=EK2−EK1=∆EK

Равенство A=EK2−EK1=∆EK выражает *теорему об изменении кинетической энергии.*

**Изменение кинетической энергии тела** (материальной точки) за некоторый промежуток времени равно работе, совершенной за это время силой, действующей на тело.

**Потенциальная энергия**

**Потенциальной энергией называется энергия, определяемая взаимным расположением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.**

Поскольку энергия определяется как способность тела совершать работу, то потенциальную энергию, естественно, определяют как работу силы, зависящую только от взаимного расположения тел. Таковой является работа силы тяжести A=mgh1−mgh2=mgH и работа силы упругости:

A=kx022−kx22

*Потенциальной энергией тела,*взаимодействующего с Землей, называют величину, равную произведению массы m этого тела на ускорение свободного падения g и на высоту h тела над поверхностью Земли:

Ep=mgh

Потенциальной энергией упруго деформированного тела называют величину, равную половине произведения коэффициента упругости (жесткости) k тела на квадрат деформации ∆l:

Ep=12k∆l2

Работа консервативных сил (тяжести и упругости) с учетом Ep=mgh и Ep=12k∆l2 выражается следующим образом:

A=Ep1−Ep2=−(Ep2−Ep1)=−∆Ep

Эта формула позволяет дать общее определение потенциальной энергии.

*Потенциальной энергией системы называется зависящая от положения тел величина, изменение которой при переходе системы из начального состояния в конечное равно работе внутренних консервативных сил системы, взятой с противоположным знаком.*

Знак «минус» в правой части уравнения A=Ep1−Ep2=−(Ep2−Ep1)=−∆Ep означает, что при совершении работы внутренними силами (например, падение тела на землю под действием силы тяжести в системе «камень — Земля») энергия системы убывает. Работа и изменение потенциальной энергии в системе всегда имеют противоположные знаки.

Поскольку работа определяет лишь изменение потенциальной энергии, то физический смысл в механике имеет только изменение энергии. Поэтому выбор нулевого уровня энергии произволен и определяется исключительно соображениями удобства, например, простотой записи соответствующих уравнений.

**Закон изменения и сохранения механической энергии**

*Полной механической энергией системы* называется сумма ее кинетической и потенциальной энергий:

E=Ek+Ep

Она определяется положением тел (потенциальная энергия) и их скоростью (кинетическая энергия).

Согласно теореме о кинетической энергии,

Ek−Ek1=Ap+Aпр,

где Ар — работа потенциальных сил, Апр — работа непотенциальных сил.

В свою очередь, работа потенциальных сил равна разности потенциальной энергии тела в начальном Ер1 и конечном Ер состояниях. Учитывая это, получим выражение для *закона изменения механической энергии:*

(Ek+Ep)−(Ek1+Ep1)=Aпр

где левая часть равенства — изменение полной механической энергии, а правая — работа непотенциальных сил.

Итак, *закон изменения механической энергии* гласит:

**Изменение механической энергии системы равно работе всех непотенциальных сил.**

Механическая система, в которой действуют только потенциальные силы, называется консервативной.

В консервативной системе Апр=0. Отсюда следует *закон сохранения механической энергии:*

**В замкнутой консервативной системе полная механическая энергия сохраняется (не изменяется со временем):**

Ek+Ep=Ek1+Ep1

Закон сохранения механической энергии выводится из законов механики Ньютона, которые применимы для системы материальных точек (или макрочастиц).

Однако закон сохранения механической энергии справедлив и для системы микрочастиц, где сами законы Ньютона уже не действуют.

Закон сохранения механической энергии является следствием однородности времени.

*Однородность времени* состоит в том, что при одинаковых начальных условиях протекание физических процессов не зависит от того, в какой момент времени эти условия созданы.

Закон сохранения полной механической энергии означает, что при изменении кинетической энергии в консервативной системе должна меняться и ее потенциальная энергия, так что их сумма остается постоянной. Это означает возможность превращения одного вида энергии в другой.

В соответствии с различными формами движения материи рассматривают различные виды энергии: механическую, внутреннюю (равную сумме кинетической энергии хаотического движения молекул относительно центра масс тела и потенциальной энергии взаимодействия молекул друг с другом), электромагнитную, химическую (которая складывается из кинетической энергии движения электронов и электрической энергии их взаимодействия друг с другом и с атомными ядрами), ядерную и пр. Из сказанного видно, что деление энергии на разные виды достаточно условно.

Явления природы обычно сопровождаются превращением одного вида энергии в другой. Так, например, трение частей различных механизмов приводит к превращению механической энергии в тепло, т. е. во *внутреннюю энергию.* В тепловых двигателях, наоборот, происходит превращение внутренней энергии в механическую; в гальванических элементах химическая энергия превращается в электрическую и т. д.

В настоящее время понятие энергии является одним из основных понятий физики. Это понятие неразрывно связано с представлением о превращении одной формы движения в другую.

Вот как в современной физике формулируется понятие энергии:

**Энергия — общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи. Энергия не возникает из ничего и не исчезает, она может только переходить из одной формы в другую. Понятие энергии связывает воедино все явления природы.**

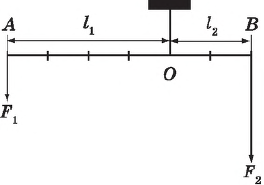
**Простые механизмы. КПД механизмов**

**Простыми механизмами называются приспособления, изменяющие величину или направление приложенных к телу сил.**

Они применяются для перемещения или подъема больших грузов с помощью небольших усилий. К ним относятся рычаг и его разновидности — блоки (подвижный и неподвижный), ворот, наклонная плоскость и ее разновидности — клин, винт и др.

**Рычаг. Правило рычага**

Рычаг представляет собой твердое тело, способное вращаться вокруг неподвижной опоры.



Правило рычага гласит:

**Рычаг находится в равновесии, если приложенные к нему силы обратно пропорциональны их плечам:**

F2F1=l1l2

Из формулы F2F1=l1l2, применив к ней свойство пропорции (произведение крайних членов пропорции равно произведению ее средних членов), можно получить такую формулу:

F1l1=F2l2

Но F1l1=M1 — момент силы, стремящейся повернуть рычаг по часовой стрелке, а F2l2=M2 — момент силы, стремящейся повернуть рычаг против часовой стрелки. Таким образом, M1=M2, что и требовалось доказать.

Рычаг начал применяться людьми в глубокой древности. С его помощью удавалось поднимать тяжелые каменные плиты при постройке пирамид в Древнем Египте. Без рычага это было бы невозможно. Ведь, например, для возведения пирамиды Хеопса, имеющей высоту 147 м, было использовано более двух миллионов каменных глыб, самая меньшая из которых имела массу 2.5 тонн!

В наше время рычаги находят широкое применение как на производстве (например, подъемные краны), так и в быту (ножницы, кусачки, весы).

**Неподвижный блок**

Действие неподвижного блока аналогично действию рычага с равными плечами: l1=l2=r. Приложенная сила F1 равна нагрузке F2, и условие равновесия имеет вид:

F1=F2

**Неподвижный блок** применяют, когда нужно изменить направление силы, не меняя ее величину.

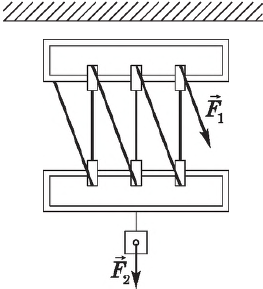
**Подвижный блок**

Подвижный блок действует аналогично рычагу, плечи которого составляют: l2=l12=r. При этом условие равновесия имеет вид:

F1=F22

где F1 — приложенная сила, F2 — нагрузка. Применение подвижного блока дает выигрыш в силе в два раза.

**Полиспаст (система блоков)**

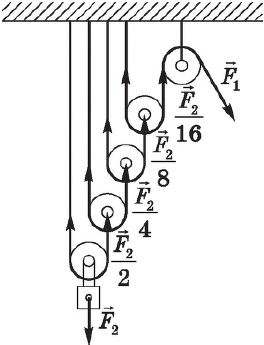


Обычный полиспаст состоит из n подвижных и n неподвижных блоков. Его применив дает выигрыш в силе в 2n раз:

F1=F22n

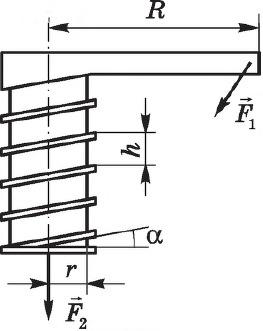
*Степенной полиспаст* состоит из п подвижных и одного неподвижного блока. Применение степенного полиспаста дает выигрыш в силе в 2n раз:

F1=F22n



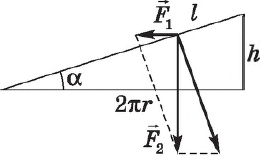
**Винт**

Винт представляет собой наклонную плоскость, навитую на ось.



Условие равновесия сил, действующих на винт, имеет вид:

F1=F2h2πr=F2tgα,F1=F2h2πR



где F1 — внешняя сила, приложенная к винту и действующая на расстоянии R от его оси; F2 — сила, действующая в направлении оси винта; h — шаг винта; r — средний радиус резьбы; α — угол наклона резьбы. R — длина рычага (гаечного ключа), вращающего винт с силой F1.

**Коэффициент полезного действия**

**Коэффициент полезного действия (КПД) — отношение полезной работы ко всей затраченной работе.**

Коэффициент полезного действия часто выражают в процентах и обозначают греческой буквой η («эта»):

η=AпA3·100%

где Ап — полезная работа, А3 — вся затраченная работа.

*Полезная работа всегда составляет лишь часть полной работы, которую затрачивает человек, используя тот или иной механизм.*

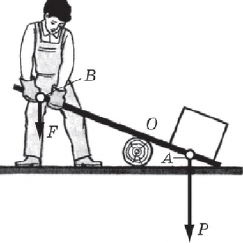
Часть совершенной работы тратится на преодоление сил трения. Поскольку А3>Ап, КПД всегда меньше 1 (или <100%).

Когда КПД немного меньше 1, можно считать, что затраченная работа примерно равна полезной: А3≈Ап.

Поскольку каждую из работ в этом равенстве можно выразить в виде произведения соответствующей силы на пройденный путь, то его можно переписать так: F1s1≈F2s2.

Отсюда следует, что, *выигрывая с помощью механизма в силе, мы во столько же раз проигрываем в пути, и наоборот*. Этот закон называют золотым правилом механики.

Золотое правило механики является приближенным законом, так как в нем не учитывается работа по преодолению трения и силы тяжести частей используемых приспособлений. Тем не менее оно бывает очень полезным при анализе работы любого простого механизма.



Так, например, благодаря этому правилу сразу можно сказать, что рабочему, изображенному на рисунке, при двукратном выигрыше в силе подъема груза на 10 см придется опустить противоположный конец рычага на 20 см.

**Столкновение тел. Упругий и неупругий удары**

Законы сохранения импульса и механической энергии применяются для решения задачи о движении тел после столкновения: по известным импульсам и энергиям до столкновения определяются значения этих величин после столкновения. Рассмотрим случаи упругого и неупругого ударов.

Абсолютно неупругим называется удар, после которого тела образуют единое тело, движущееся с определенной скоростью. Задача о скорости последнего решается с помощью закона сохранения импульса системы тел с массами m1 и m2 (если речь идет о двух телах) до и после удара:

m1υ1→+m2υ2→=(m1+m2)υ→

Очевидно, что кинетическая энергия тел при неупругом ударе не сохраняется (например, при υ1→=−υ2→ и m1=m2 она становится равной нулю после удара).

Абсолютно упругим называется удар, при котором сохраняется не только сумма импульсов, но и сумма кинетических энергий ударяющихся тел.

Для абсолютно упругого удара справедливы уравнения

m1υ1→+m2υ2→=m1υ′1→+m2υ′2→;

m1υ122+m2υ222=m1(υ′1)22+m2(υ′2)22

где m1,m2 — массы шаров, υ1,υ2 —скорости шаров до удара, υ′1,υ′2 —скорости шаров после удара.