

$$e = mc^2$$



ФИЗИКА

Суровость законов в Российской империи смягчается их
неукоснительным неисполнением.

Н.Е. Салтыков-Щедрин

$$g \approx 9,8 \text{ m/s}$$

ЭНЕРГИЯ. РАБОТА. МОЩНОСТЬ
ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

$$E = \frac{mv^2}{2}$$



«Грош цена вашей физике, если она застилает для вас все остальное: шорох леса, краски заката, звон рифмы.

Это какая-то усеченная физика, если хотите – выхолощенная.

Я, например, в нее не верю... Любая замкнутость, прежде всего, свидетельствует об ограниченности... Физик, не воспринимающий поэзии, искусства, – плохой физик».

Л. Д. Ландау





В этой теме мы познакомимся с простейшими формулами энергии – потенциальной энергией тела в силовом поле и кинетической энергией движущегося тела.

Узнаем, что законы сохранения справедливы для изолированных систем и в целом обусловлены фундаментальными свойствами пространства и времени – изотропностью пространства и однородностью времени



ВОПРОСЫ

Не поискать ли мне тропы иной,
Приемов новых,
Сочетаний странных.

В. Шекспир

1. Кинетическая энергия. Работа и мощность
2. Консервативные силы и системы
3. Потенциальная энергия
4. Закон сохранения механической энергии
5. Условие равновесия механической системы
6. Применение законов сохранения
7. Свойства пространства–времени и законы сохранения
8. Контрольные вопросы.

1. Кинетическая энергия. Работа и мощность



Универсальной количественной мерой движения и взаимодействия всех видов материи является **энергия**.

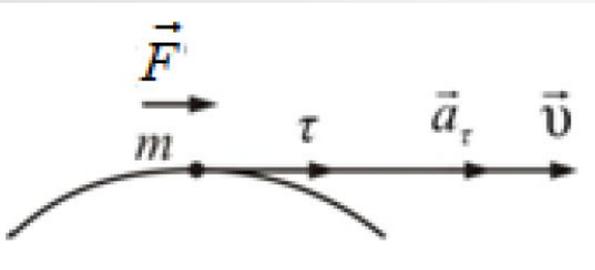
Кинетическая энергия E_k – физическая скалярная величина, являющаяся мерой механического движения тел.

Уравнение движения тела массой m под действием внешней силы F имеет вид

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}$$

или, в проекции на направление движения

$$m \frac{dv}{dt} = F_\tau$$



Умножив обе части равенства на $v dt = dr$, получим

$$mv dv = F_\tau dr$$

Левая часть равенства есть полный дифференциал некоторой функции:

$$mv dv = d\left(\frac{mv^2}{2}\right), \text{ тогда } d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = F_\tau dr$$

Если система замкнута, то $\vec{F}^{\text{внеш}} = 0$ и $F_\tau = 0$, тогда и $d\left(\frac{mv^2}{2}\right) = 0$.



Если полный дифференциал некоторой функции, описывающей поведение системы, равен нулю, то эта функция может служить характеристикой состояния данной системы.

Функция состояния системы, определяемая только скоростью ее движения, называется кинетической энергией:

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$$

Кинетическая энергия системы есть функция состояния движения этой системы.

Кинетическая энергия – величина аддитивная:

$$E_{\text{к}} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2}$$

где $E_{\text{к}}$ – относительная величина, её значение зависит от выбора системы координат (так же как и скорость – относительная величина)

Энергия измеряется в СИ в единицах произведения силы на расстояние, т. е. в ньютонах на метр. $1 \text{ Н} * \text{ м} = 1 \text{ Дж}$.

Кроме того, в качестве единицы измерения энергии используется внесистемная единица (эВ). $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{19} \text{ Дж}$.
– электрон-вольт (эВ).

При решении задач полезна формула, связывающая кинетическую энергию с **импульсом p** .

$$E_{\text{к}} = \frac{p^2}{2m}$$



Связь кинетической энергии с работой и мощностью

Если постоянная сила действует на тело, то оно будет двигаться в направлении силы. Тогда элементарная работа по перемещению тела из точки 1 в точку 2 будет равна произведению силы F на перемещение dr

$$dA = Fdr, \text{ отсюда } A = \int_1^2 Fdr.$$

$$F = ma = m \frac{dv}{dt}, \quad dr = vdt.$$

$$A = \int_1^2 Fdr = m \int_1^2 vdv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Окончательно
получаем:

$$A = \int_1^2 Fdr = E_{к2} - E_{к1}$$

Следовательно, работа силы, приложенной к телу на пути r , численно равна изменению кинетической энергии этого тела

$$A = \Delta E_{к}$$

Или изменение кинетической энергии $dE_{к}$ равно работе внешних сил

$$dK = dA$$



A так же как и E измеряется в Джоулях!!!!



Скорость совершения работы (передачи энергии) называется мощностью, т. е. мощность есть работа, совершаемая в единицу времени

$$\text{Мгновенная мощность } N = \frac{dA}{dt}, \text{ или } N = F \frac{dr}{dt} = Fv$$

$$\text{Средняя мощность } \langle N \rangle = \frac{A}{\Delta t}$$

Измеряется мощность в ваттах; $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$

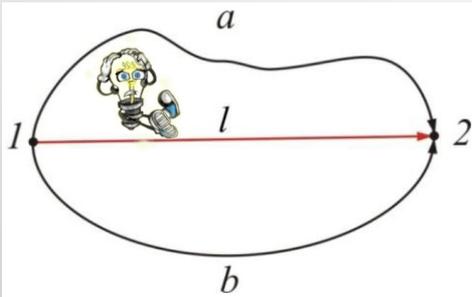


Консервативные силы и системы



Кроме контактных взаимодействий, наблюдаются взаимодействия между телами, удаленными друг от друга. Подобное взаимодействие осуществляется посредством физических полей (особая форма материи). Каждое тело создает вокруг себя поле, которое проявляет себя именно воздействием на другие тела.

Силы, работа которых не зависит от пути, по которому двигалось тело, а зависит от начального и конечного положения тела, называются **консервативными**.



Работа консервативных сил по перемещению тела из точки 1 в точку 2 не зависит от формы пути, а зависит от положения начальной и конечной точки

Изменение направления движения на противоположное вызывает изменение знака работы консервативных сил.

Отсюда следует, что работа консервативных сил вдоль замкнутой кривой равна нулю

$$\oint_L \vec{F} d\vec{r} = A_{12} + A_{21} = A_{12} - A_{12} = 0$$



Интеграл по замкнутому контуру $L \oint_L \vec{F} d\vec{r}$ называется циркуляцией вектора F

СЛЕДОВАТЕЛЬНО

НО

если циркуляция какого-либо вектора силы равна нулю, то эта сила консервативна

Центральные силы являются консервативными независимо от их природы

Сила называется центральной, если она направлена к одной и той же точке (или от одной и той же точки) и зависит только от расстояния до этой точки, называемой *центром сил*.

Консервативные силы:

гравитационные силы тяжести
электростатические силы
силы центрального стационарного поля
и т. д.



Неконсервативные силы:

силы трения,
силы вихревого электрического поля
и т. д.

Консервативная система – такая система, внутренние силы которой только консервативные, а внешние – консервативны и стационарны

Потенциальная

кинетическая энергия E_k – энергия движения.

Потенциальная энергия E_n – энергия взаимодействия тел или частиц тела, зависящая от их взаимного расположения.

Можно говорить о потенциальной энергии тела массой m в поле тяжести Земли, заряда q в электростатическом поле, о потенциальной энергии тела в поле упругой силы пружины и т. д.

Если на систему материальных тел действуют консервативные силы, то можно ввести понятие потенциальной энергии.

Работа, совершаемая консервативными силами при изменении конфигурации системы, то есть при изменении положения тел относительно системы отсчета, не зависит от того, как было осуществлено это изменение.

Работа определяется только начальной и конечной координатами системы.

$$A_{12} = E_{п1} - E_{п2}$$

здесь потенциальная энергия $E_n(x, y, z)$ – функция состояния системы, зависящая только от координат всех тел системы в поле консервативных сил.

Итак, E_k определяется скоростью движения тел системы, а U – их взаимным расположением.

следует, что работа консервативных сил равна убыли потенциальной энергии:

$$dA = -dE_n .$$

Нет единого выражения для E_n . В разных случаях она определяется по-разному.



Потенциальная энергия при гравитационном взаимодействии

Работа тела при падении $A = mgh$. Или $A = E_n - E_{n0}$.

Условились считать, что на поверхности Земли ($h = 0$) $E_{n0} = 0$

$$E_{\Pi} = mgh$$

, тогда $E_n = A$, т. е.

Для случая гравитационного взаимодействия между массами M и m , находящимися на расстоянии r друг от друга, потенциальную энергию можно найти по формуле

$$E_{\Pi} = -\gamma \frac{Mm}{r}$$

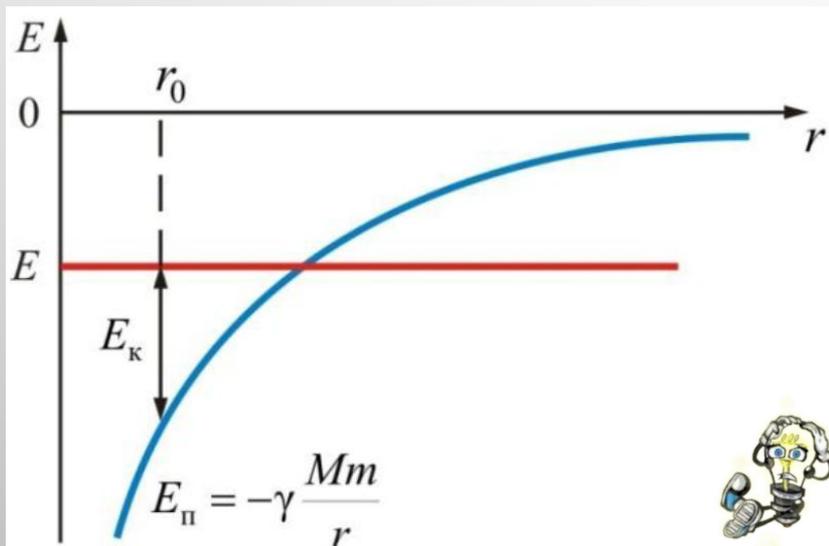


Диаграмма потенциальной энергии гравитационного притяжения масс M и m :

полная энергия $E = E_{\kappa} + E_n$

Отсюда кинетическая энергия $E_{\kappa} = E - E_n$



Связь между потенциальной энергией и силой

Пространство, в котором действуют консервативные силы, называется потенциальным полем.

Каждой точке потенциального поля соответствует некоторое значение силы F , действующей на тело, и некоторое значение потенциальной энергии E_n

Значит, между силой F и E_n должна быть связь $dA = Fdr$, с другой стороны, $dA = -dE_n$, следовательно $Fdr = -dE_n$ отсюда $\vec{F} = -\frac{dE_n}{d\vec{r}}$

Для компонент силы по осям $x, y,$

$$F_x = -\frac{\partial E_n}{\partial x}; F_y = -\frac{\partial E_n}{\partial y}; F_z = -\frac{\partial E_n}{\partial z}$$



Оператор набла (оператор Гамильтона) — векторный дифференциальный оператор, компоненты которого являются частными производными по координатам. Обозначается символом (набла) (∇)

Так как вектор силы

$$\vec{F} = F_x \vec{i} + F_y \vec{j} + F_z \vec{k}$$

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial E_n}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial E_n}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial E_n}{\partial z} \vec{k}\right) = -\nabla E_n = -\text{grad} E_n$$

Градиент — это вектор, показывающий направление наиболее быстрого увеличения функции. Знак «-» показывает, что вектор F направлен в сторону наиболее быстрого уменьшения E_n .

Следовательно, консервативная сила равна градиенту потенциальной энергии, взятому со знаком минус:

$$\vec{F} = -\text{grad} E_n$$



Закон сохранения механической энергии

Рассмотрим систему, состоящую из N частиц.

Силы взаимодействия между частицами (F *внутр*) – консервативные. Кроме внутренних сил, на частицы действуют внешние консервативные и неконсервативные силы, т. е. рассматриваемая система **частиц** или **тел консервативна**.

Тогда для этой системы $E = E_{\text{к}} + U_{\text{внутр}} + E_{\text{внеш}} = \text{const}$ ргию системы

закон сохранения для механической энергии

полная механическая энергия консервативной системы материальных точек остаётся постоянной.

закон сохранения для механической энергии для замкнутой системы

полная механическая энергия замкнутой системы материальных точек, между которыми действуют только консервативные силы, остаётся постоянной

Если в замкнутой системе действуют неконсервативные силы, то полная механическая энергия системы не сохраняется – **частично она переходит в другие виды энергии, неконсервативные.**

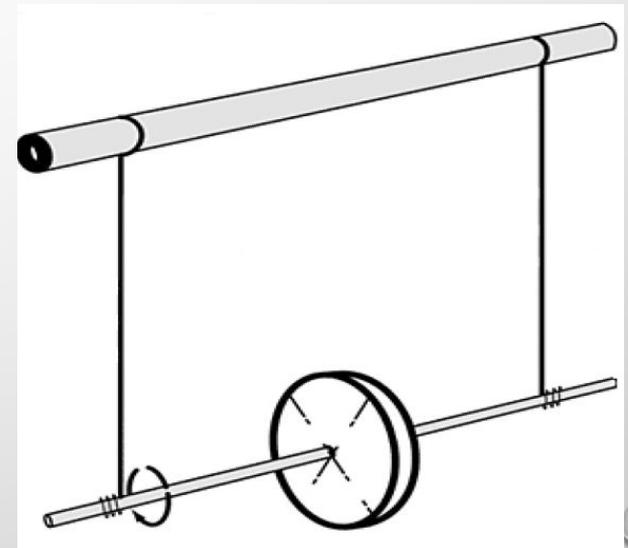
Система, в которой механическая энергия переходит в другие виды энергии, называется **диссипативной**, сам процесс перехода называется **диссипацией энергии**.



В диссипативной, изолированной от внешнего воздействия системе остаётся постоянной сумма всех видов энергии (механической, тепло-вой и т. д.) Здесь действует общий закон сохранения энергии.

Этот процесс хорошо демонстрирует маятник Максвелла

Роль консервативной внешней силы здесь играет гравитационное поле. Маятник прекращает свое движение из-за наличия внутренних неконсервативных сил (сил трения, сопротивления воздуха)



Условие равновесия механической системы



Мерой устойчивости тела в положении равновесия является наименьшее значение работы, совершаемой внешней силой, для того, чтобы переместить тело в такое положение, откуда после действия силы оно уже не сможет вернуться в исходное состояние.

Из двух тел более устойчивым является тело, для выведения которого из положения равновесия требуется совершение большей работы.

Механическая система будет находиться в равновесии, если на неё не будет действовать сила.

Это условие необходимое, но не достаточное, так как система может при этом находиться в равномерном и прямолинейном движении.



Применение законов

сохранения

Абсолютно упругий центральный

При абсолютно неупругом ударе закон сохранения механической энергии не работает.

Применим закон сохранения механической энергии для расчета скорости тел при абсолютно упругом ударе – ударе, при котором не происходит превращения механической энергии в другие виды энергии.

Абсолютно неупругий

Абсолютно неупругий удар – это ~~удар~~ столкновение двух тел, в результате которого тела объединяются и двигаются дальше как единое целое.

Продемонстрировать абсолютно неупругий удар можно с помощью шаров из пластилина (глины), движущихся навстречу друг другу.

Движение тел с переменной массой

Рассмотрим теперь системы, массы которых изменяются. Такие системы можно рассматривать как своего рода неупругое столкновение.



Законы сохранения носят фундаментальный характер и тесно связаны с симметрией пространства и времени:

- закон сохранения энергии связан с однородностью времени, т. е. равнозначностью всех моментов времени;
- закон сохранения импульса связан с однородностью пространства, т. е. равнозначностью всех точек пространства.
- Законы сохранения носят общий характер и не зависят от конкретной системы и ее движения.

Из законов сохранения вытекает, что какие-то процессы заведомо оказываются невозможными.

Так, в 1775 г. Французская Академия решила не принимать к рассмотрению проекты вечных двигателей – как противоречащие закону сохранения энергии.

Законы сохранения позволяют рассмотреть общие свойства движения без решения уравнений и детальной информации о протекании процессов во времени. Поэтому законы сохранения могут быть использованы даже в тех случаях, когда силы точно не известны. Так, в частности, обстоит дело в физике элементарных частиц. Даже в тех случаях, когда силы заданы точно, законы сохранения могут оказать существенную помощь при решении задач о движении частиц.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ



1. В чем различие между понятиями энергии и работы?
2. Как найти работу переменной силы?
3. Какую работу совершает равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равномерно движущемуся по окружности?
4. Что такое мощность? Выведите ее формулу.
5. Дайте определения и выведите формулы для известных видов механической энергии.
6. Какова связь между силой и потенциальной энергией?
7. Чем обусловлено изменение потенциальной энергии?
8. Необходимо ли условие замкнутости системы для выполнения закона сохранения механической энергии?
9. В чем заключается закон сохранения механической энергии? Для каких систем он выполняется?
10. В чем физическая сущность закона сохранения и превращения энергии? Почему он является фундаментальным законом природы?
11. Чем отличается абсолютно упругий удар от абсолютно неупругого?

