* ПОНЯТИЕ ОБ ЭНЕРГИИ МЕХ. СИСТЕМЫ

Импульс - мера поступат. дв. тела. Но он не может служить универсальной мерой для всех форм дв.

Напр., при равномерн. прямолин. дв. с трением, импульс тела остается пост. и никак не хар-ет кол-во выделившейся теплоты при трении.

Единой (универсальной) мерой различ. форм дв. служит физ. вел., наз. **энергией.**
С различ. формами дв. материи связывают различ. формы эн.: мех-кую, тепл., э-магн., ядерн., внутр. и др.

В одних явл. форма дв. материи не измен. (напр., горячее тело нагревает холодное), в других - переходит в иную форму (напр., в результате трения эн. мех. дв. → в тепловую).

При этом **существенно**, что во всех случаях энергия, отданная (в той или иной форме) одним телом другому телу, равна энергии, полученной др. телом.

* МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

Изменение мех. дв. и эн. тела происходит в процессе силового вз-вия этого тела с другими телами. Для колич. хар-ки процесса обмена энергией м-у вз-ющими телами, в мех. вводится понятие работы, соверш. силой.

Если тело дв. прямолин. и на него дейст. сила $\vec{F}$, к-рая сост. угол α с направл. перемещ., то Aсоверш. этой силой, равна:

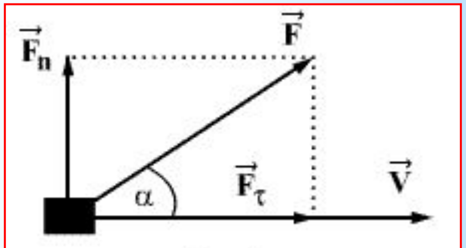


Рис. 1

$A = FScos\alpha = F_S \cdot S$ (1) ,

здесь обозн.: $F_\tau = F_S$ – проекция силы $\vec{F}$ на направл.дв.

Работа = 0 в 2-х случаях:

1) Если действие F есть, но точка не дв.: $S = 0 \Rightarrow$ A=0
2) Если $\alpha = 90^o$ $(\vec{F} \perp \vec{\vartheta}) \Rightarrow$ A=0

1) Если $\alpha < 90^o \Rightarrow$ A>0 $\Rightarrow \vec{F}_S$ совпадает по напр. $\vec{\vartheta}$ (Рис.1)
2) Если $\alpha > 90^o \Rightarrow$ A<0 $\Rightarrow$ работа отрицательна

* ПРИМЕРЫ, КОГДА МЕХ. РАБОТА РАВНА НУЛЮ.

1. Работа силы тяжести при перемещении тела по горизонтальной плоскости.

2. Сила заставляет дв-ся тело равномерно по окружности. (эта сила направлена по радиусу к центру окружности, ⇒в)в любой точке ⊥ перемещению).

3. Сила натяжения нити, к к-рой привязано тело совершаемое равномерное дв. по окружности.

4. Сила всемирного тяготения (под действием этой силы исскуссвенные спутники Земли дв-ся по круговым орбитам.)

В общ. случ. $\vec{F}$ может измен. по мод. и напр., а тело м-т дв. произвольн. обр. (рис.2) и ф-лой (1) нельзя поль-ся.

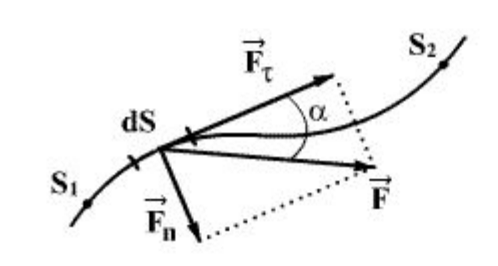


Рис. 2.

В этом сл. путь разбив. на < эл-тарные уч. (dS_i), в пределах к-рых дв. м-о считать прямолин., а $\vec{F}$ – пост-ой. Тогда эл-тарная A на участ. пути dS равна:

$$dA = FdScos\alpha$$

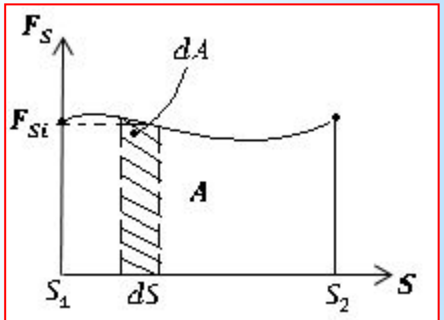


Рис.3

На рис.3: завис-ть проек. силы F_s от пути S. Полная A на всем пути от S_1 до S_2 :

$$A = \int_{S_1}^{S_2} F_{Si} \cdot dS \quad (2)$$

Для выч. $\int$ нужно знать зав-сть $F_s = f(S)$. Графически площадь под кривой и будет искомой работой.

Для прямолин. дв.и $\vec{F} = const$ получим (1):

$A = F\int_{S_1}^{S_2} dScos\alpha = Fcos\alpha \int_{S_1}^{S_2} dS = FScos\alpha$, где $S = S_1S_2$-путь

$\alpha < 90^o \Rightarrow \vec{F} > 0$ –движущая с., $\alpha > 90^o \Rightarrow \vec{F} < \mathbf{0}$ - сила сопрот.

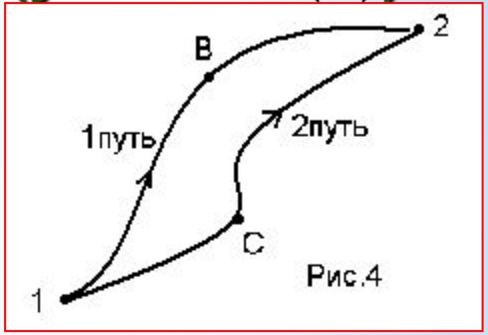
* КОНСЕРВАТИВНЫЕ СИЛЫ

Силы, действ. на тело, м.б.:

-консерват. (потенциальные) - А этой F при перемещ. м.т. $\nleftarrow$ от вида траект. (формы пути) (Рис.4).

-неконсерват. - не удовлетв. этому усл-ю (условие (3))

$$A_{1B2} = A_{1C2} = A_{12}$$



Если тело дв.в обрат.напр., $A_{12} = -A_{21} \Rightarrow$ противоп. измен. направл. дв. по траек. вызывает изменение знака работы.

При дв. м.т. по замкн. траект. A конс. силы =0 (напр. поднятие и опуск.груза) ⇒ из рис.4:

$$A_{1B2C1} = \oint F_l dl = A_{1B2} + A_{1C2} = 0 \qquad (3)$$

Консер.силы: силы гравитац. вз-вия, с. упр., эл-стат с.

Неконсер.силы: силы трения и сопрот.

Поле, в к-ром дейст. консер. силы, наз. потенциальным.

* МОЩНОСТЬ. КПД.

Чтобы охарак-вать скорость соверш. работы, вводят понятие **мощности** (работа, совершаемая в ед.времени):

$$N = \frac{A}{t} \qquad (4) \qquad \text{Вт} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$$

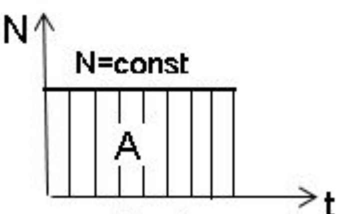


Рис.5

Если тело дв. пост. ск-тью под действием силы F, то можно записать:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F_S \cdot S}{t} = F_S \cdot \vartheta \qquad (5)$$

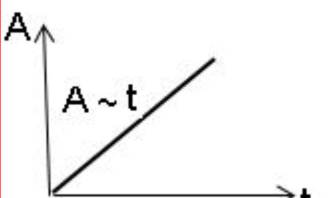


Рис.6

В случае переменной мощности, когда за < промежут. вр. соверш-ся неодинак. работа, вводится поние **мгновенной мощности**:

$$N = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}$$

Мгн. N **= производ** A **по** t (6)

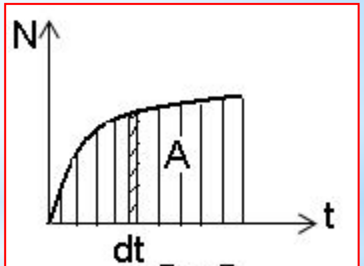


Рис.7

Каждая машина потребляет > N **чем отдает (из за трения, сопрот. воздуха, нагрев.и т.д.).**

КПД машины:

$$\eta = \frac{N_{\text{отд}}}{N_{\text{подв}}} = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{общ}}} \qquad (7)$$

* КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

Рассм. случай, когда м.т. дв. из точки 1 в т. 2 под действ. приложенных к ней сил.

Причем силы, дейст. на м.т., могут иметь разную природу, т.е. м. б. консерв-ми и неконс. Ур. дв. в этом случае:

$$m\frac{d\vec{\vartheta}}{dt} = \vec{F} \qquad (8)$$, **где**

$$\vec{F} = \sum \vec{F}_{\text{конс}} + \sum \vec{F}_{\text{неконс}}$$

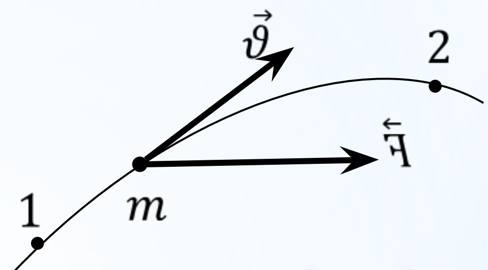


Рис. 8

$$(8) \Rightarrow m d\vec{\vartheta} = \vec{F} dt \qquad (9)$$

Умножим скалярно ур. (9) на $\vec{\vartheta}$ и про-$\int$ от точки1 до т. 2:

$$m\vec{\vartheta} d\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}\vec{F} dt \Rightarrow \int_1^2 m\vec{\vartheta} d\vec{\vartheta} = \int_1^2 \vec{\vartheta}\vec{F} dt \qquad (10)$$

Учитываем $\vec{\vartheta} dt = d\vec{r}$, $\Rightarrow \int$ в правой части (10) представляет собой работу всех сил, на участке 1-2: (11)

$$\boxed{\int_1^2 m\vec{\vartheta} d\vec{\vartheta} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \int_1^2 dA \Rightarrow A_{12} = m\int_1^2 \vartheta d\vartheta = m\frac{\vartheta^2}{2}\Big|_1^2 = \frac{m{\vartheta_2}^2}{2} - \frac{m{\vartheta_1}^2}{2}}$$

Величина $\frac{m\vartheta^2}{2} = W_к$ (12) называется кинетической энергией материальной точки.

Т. о. $W_к$ м.т. – это энергия, которой обладает эта точка вследствие своего движения. $W_к$ ~от скорости и массы.

Из полученного выражения (11) ⇒ что работа всех сил, действующих на м. т. на участке траектории 1-2 равна изменению ее $W_к$ на этом участке.

К изменению $W_к$ приводит изм. велич.

ск. от ϑ_1 до ϑ_2: $\Delta W_к = \frac{m{\vartheta_2}^2}{2} - \frac{m{\vartheta_1}^2}{2}$

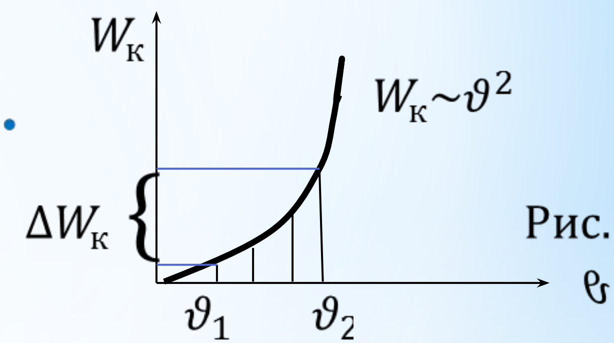


Рис. 9

Итак, чтобы заставить тело двигаться с опр. ск-тью, нужно совершить работу.Эта работа запасается в виде $W_к$ тела.

В разных ИСО, дв-ся друг относительно друга, скорость тела, а следовательно, и его $W_к$ будут неодинаковы.

Т. о., $W_к$ ~ от выбора системы отсчета.

* ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Потенциальная энергия - это мех. эн. системы тел, опр-мая их взаимным расположением и характером сил вз-вия между ними.

Чтобы ↑ расстояние тела массой m от ц. Земли на высоту Δh (поднять тело), над ним следует совершить работу против силы тяжести $\vec{F}_т$ (к-рая запасается в виде пот. эн.):

$A = -\int_{h_1}^{h_2} \vec{F}_т \, dh$ Знак минус перед $\int$: сила $\vec{F}_т$ направлена в сторону противоположную изменению h

Проинтегрируем это выражение:

$$A = -\int_{h_1}^{h_2} \vec{F}_т \, dh = -(mgh_2 - mgh_1) = -(W_{п2} - W_{п1}) = -\Delta W \quad (13)$$

Вел. $W_п = mgh \quad (14)$ - наз. пот.эн.тела поднятого на выс. h

(13)⇒работа против силы тяжести = взятому с противоположным знаком изменению пот.энергии.

* ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Рассмотрим процесс изменения состояния тела, поднятого на высоту h. При этом его пот. эн. $W_п = mgh$

Пусть тело начало своб. падать $(\vartheta_0 = 0)$. В момент достижения поверх. земли оно будет иметь скорость $\vartheta = \sqrt{2gh}$ и кинетич. энергию: $W_к = \frac{m\vartheta^2}{2} = \frac{m2gh}{2} = mgh$

Кин. эн. тела, упавшего с высоты h оказалась равной его пот. энергии, к-рую оно имело до начала падения. ⇒:

$$\frac{m\vartheta^2}{2} = mgh$$

В начале падения $W_п = max$, а $W_к = 0$. На поверх. Земли $h = 0 \Rightarrow W_п = 0$ т.е. пот. эн. переходит (превращается) в кин-ую. Т. о., при падении тела в системе тело-Земля кин. эн. возрастает и, следовательно, ее изменение $\Delta W_к$ равное работе, имеет положительн. знак: $A = \Delta W_к \qquad (14)$

Потенциальная энергия - уменьшается, и, следовано, ее изменение имеет знак минус. Поэтому можем записать:

$$A = -\Delta W_{п} \qquad (15)$$

Выч.: (14) - (15) $\Rightarrow \Delta W_{к} - (-\Delta W_{п}) = \Delta W_{к} + \Delta W_{п} = \Delta(W_{к} + W_{п}) = 0$

Сумма $W_{к} + W_{п} = W$ представляет собой полную энергию, и, следовательно, $\Delta W = 0 \Rightarrow$

$$\boxed{W = const} \qquad (16)$$

Полная эн. W замкнутой консерв. сист. остается пост. при всех, проис-щих в ней процессах и превращениях. Эн. может $\rightarrow$ из одних видов в др. (мех-кие, тепловые, и т.д.), но общее ее колич-во остается постоянным. Данное положение называют законом сохранения и превращения энергии.

Это - фундаментальный з.природы. Он явл-ся следствием однородности времени -инвариантности физ. законов относит-но выбора нач.отсчета времени.

Понятие о консервативных и диссипативных системах.

Мех. сист-ы, на тела к-рых дейст-ют только конс.силы (внутр. и внешние), наз. конс. систе мами. В них полн. мех. эн. остается пост. Могут лишь происх-ть превращения $W_к$ в $W_п$ и обратно в эквив. колич-вах, так что полн. эн. ост-ся неизменной

Диссип. сист. - системы, в к-рых мех. эн. постепенно ↓ за счет преобр-ния в др. (немех-кие) формы эн.

В сист., дейст.неконс. силы, напр., силы тр., полная мех.эн. не сохр-ся, однако при «исчезновении» мех. эн. всегда возникает эквив. кол-во эн. др. вида.

Т.о. эн. никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превр-ся из одного вида в другой.
В этом и заключается физ. сущность ЗС и превр. эн. - сущность неуничтожимости материи и ее движения.

* СВЯЗЬ МЕЖДУ ПОТЕНЦ. ЭНЕРГ-ЕЙ И СИЛОЙ.

Каждой т. пот. поля соответ-ет, с одной стороны некотор. знач. силы $\vec{F}$, дейст-щей на тело, и с др. стороны некот. знач. $W_{\text{п}}$. $\Rightarrow$ м-у $\vec{F}$ и $W_{\text{п}}$ должна сущ. опр. связь.

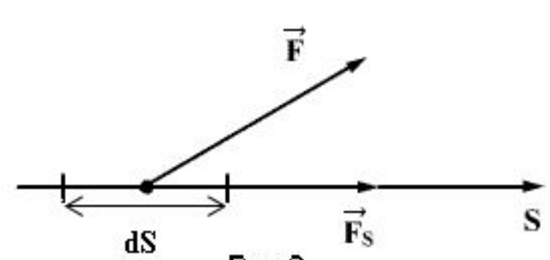


Рис.9

Для этого вычис. эл-тарную A сил поля при < перемещ. dS в направл. S .

$$dA = F_S dS \qquad A = -\Delta W_{\text{п}} \Rightarrow dA = -dW_{\text{п}}$$

$$F_S dS = -dW_{\text{п}} \Rightarrow F_S = \frac{-dW_{\text{п}}}{dS} \Rightarrow F_S = \frac{-\Delta W_{\text{п}}}{\Delta S}$$ **- ср. знач. на отрезке ΔS**

Чтобы получить F_S в точке, нужно перейти к пределу:

$$F_S = -\lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta W_{\text{п}}}{\Delta S}$$

Т.к. $W_{\text{п}}$ может измен. не только вдоль оси S, но и вдоль других направл., предел в этой формуле представляет собой так называемую частную производную от $W_{\text{п}}$ по S:

$$F_S = -\frac{\partial W_{\text{п}}}{\partial S}$$

Это соотн. справедливо для любого направл. в простр-ве , в частности и для направл. декарт. коорд. осей x, y, z:

$$F_x = -\frac{\partial W_п}{\partial x}\ ,\ F_y = -\frac{\partial W_п}{\partial y}\ ,\ F_z = -\frac{\partial W_п}{\partial z} \qquad (17)$$

Известно, что для нахожд. вектора по его проекциям необходимо каждую из проекции умножить на ед. век. соотв. оси и затем сложить полченные векторы:

$\vec{F} = F_x\vec{\imath} + F_y\vec{\jmath} + F_z\vec{k}$ (18), **или с учетом**(17):

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial W_п}{\partial x}\vec{\imath} + \frac{\partial W_п}{\partial y}\vec{\jmath} + \frac{\partial W_п}{\partial z}\vec{k}\right) \qquad (19)$$

Векторная величина, стоящая в скобках, наз. градиентом потенц. эн., и обозн-ся $gradW_п$ или $\nabla W_п$. Т.о.

$$\vec{F} = -gradW_п \qquad (20)$$

⇒ сила равна градиенту потенциальной энергии, взятого с обратным знаком.

Градиент пот. энергии $W_{\text{п}}$ —это вектор, указывающий направление наиболее быстрого возрастания $W_{\text{п}}$ и численно = изменению $W_{\text{п}}$ на единицу длины.

А направление вектора $\vec{F}$ в каждой точке потенциального поля указывает направление, в к-ром $W_{\text{п}}$ наибольшей быстотой убывает.

(Производная $\frac{dW_{\text{п}}}{dS}$ выражает быстроту изменения $W_{\text{п}}$ вдоль оси S.)