ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении

Движение является неотъемлемым свойством материи.

Единой мерой различных форм движения служит физическая величина, называемая *энергией*. Энергия механической системы количественно характеризует эту систему с точки зрения возможных в ней количественных и качественных превращений движения.

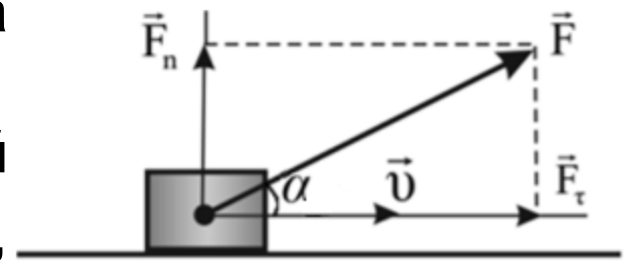
Изменение механического движения и энергии тела происходит в процессе силового взаимодействия этого тела с другими телами.

Для количественной характеристики этого процесса в механике вводят понятие *работы*, совершаемой силой.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении

Если тело, к которому приложена постоянная сила $\vec{F}$, движется поступательно и прямолинейно, то работой, совершаемой этой силой при прохождении телом пути s, называют величину



$$A = F \cdot s \cdot \cos\alpha = F_\tau \cdot s,$$

где α — угол между силой $\vec{F}$ и направлением движения тела, т. е. точки приложения силы, а $F_\tau = F \cdot \cos\alpha$ – проекция силы $\vec{F}$ на направление вектора $\vec{\upsilon}$ скорости тела.

В общем случае тело может двигаться произвольным, достаточно сложным образом, а сила $\vec{F}$ — изменяться, так что данной формулой пользоваться нельзя.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении

Однако рассматривая достаточно малое (элементарное) перемещение тела, можно считать силу $\vec{F}$ постоянной, а движение точки ее приложения — прямолинейным.

Поэтому элементарной работой, совершаемой произвольной силой $\vec{F}$ при перемещении точки ее приложения на малое расстояние ds, называют величину

$$\delta A = F \cdot (\cos\alpha) \cdot ds = F_\tau \cdot ds.$$

Если $\vec{r}$ — радиус-вектор точки приложения силы, то $ds = |\vec{r}|$ и $F \cdot (\cos\alpha) \cdot ds = (\vec{F}, d\vec{r})$ — скалярное произведение векторов силы $\vec{F}$ и элементарного перемещения точки ее приложения $d\vec{r}$.

Тогда формула для элементарной работы принимает вид

$$\delta A = (\vec{F}, d\vec{r}) = (\vec{F}, \vec{v})\, dt.$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

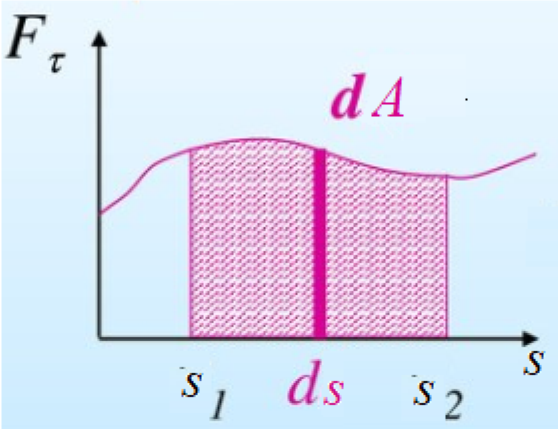
Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении

Работа, совершаемая силой $\vec{F}$ на конечном пути s, равна сумме элементарных работ на отдельных бесконечно малых участках пути:

$$A = \int_0^s F \cdot (\cos\alpha) \cdot ds = \int_0^s F_\tau \cdot ds.$$

$\vec{F}$

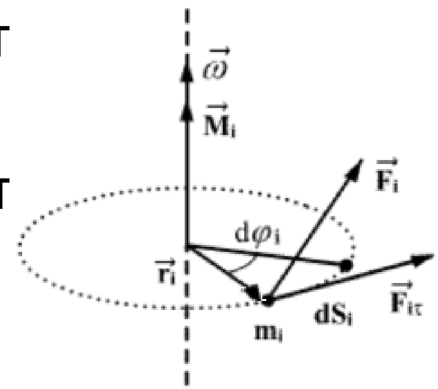
Если известна зависимость касательной составляющей силы F_τ от длины пути s, то при графическом представлении этой зависимости работа, совершаемая силой $\vec{F}$ на пути s_1- s_2 , численно равна заштрихованной на графике площади.



Для $\vec{F}$, не зависящей от s $(F_\tau = const)$, $A = F_\tau \cdot s.$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении



Рассмотрим вращение твердого тела вокруг неподвижной оси.

Материальная точка m_i, на которую действует внешняя сила $\vec{F}_i$, совершает за время dt путь ds_i

$$ds_i = r_i \cdot d\varphi,$$

где $d\varphi$ - угол поворота тела за указанное время, r_i − расстояние от материальной точки m_i до оси вращения.

Момент силы $\vec{F}_i$ относительно оси z определяется проекцией силы на направление перемещения, обозначенной $\vec{F}_{i\tau}$.

Другие проекции силы $\vec{F}_i$, одна параллельная оси z, а другая -$\vec{r}_i$ − имеют нулевые моменты относительно оси *z*.

Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении

Следовательно, $M_{zi} = F_{i\tau} \cdot r_i$

Элементарная механическая работа силы $\vec{F}_{i\tau}$ равна:

$$\delta A_i = \vec{F}_i \cdot d\vec{r}_i = F_{i\tau} \cdot ds_i, \quad \left(\left| d\vec{r}_i \right| = ds_i, \; F_{i\tau} = F_i \cdot \cos\alpha \right).$$

Подставляя соотношение $ds_i = r_i \cdot d\varphi$ в последнее равенство и учитывая выражение для M_{zi}, получим формулу вычисления элементарной работы, совершаемой силой $\vec{F}_i$ при повороте тела на угол dφ:

$$\delta A_i = F_{i\tau} \cdot r_i \cdot d\varphi = M_{zi} \cdot d\varphi.$$

При вращении твердого тела на него может действовать несколько внешних сил, суммарная элементарная работа которых равна

$$\delta A = \sum_{i=1}^{N} \delta A_i = d\varphi \cdot \sum_{i=1}^{N} M_{zi} = M_z \cdot d\varphi.$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Работа внешних сил, действующих на твердое тело при вращательном движении

В последнем выражении M_z представляет собой суммарный вращающий момент всех внешних сил относительно оси z.

Работа, совершаемая всеми внешними силами за произвольный конечный интервал времени определится интегрированием выражения $\delta A = M_z \cdot d\varphi$:

$$A_{12} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_z \cdot d\varphi = \int_{t_1}^{t_2} M_z \cdot \omega \cdot dt.$$

Если $M_z = const$, то

$$A_{12} = M_z \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varphi = M_z \cdot \Delta\varphi.$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Мощность

Скорость совершения работы характеризует мощность, которая равна работе, совершаемой за единицу времени.

Средняя мощность

$$\langle N \rangle = \frac{A}{\Delta t}.$$

Мгновенная мощность

$$N = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta A(t)}{\Delta t} = \frac{\delta A}{dt} = \frac{F \cdot |d\vec{r}| \cos\alpha}{dt} = \frac{F_s \cdot ds}{dt} = F_s \cdot v = \vec{F} \cdot \vec{v},$$

равна первой производной механической работы по времени или скалярному произведению векторов силы и скорости точки приложения силы в соответствующий момент времени.

Единица мощности в СИ - ватт: 1 Вт = 1 Дж/с.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Кинетическая энергия

Кинетическая энергия тела является мерой его механического движения и определяется работой, которую необходимо совершить, чтобы вызвать это движение

Если сила $\vec{F}$ действует на покоящееся тело и вызывает движение со скоростью $\vec{v}$, то она совершает работу, а энергия тела возрастает на величину затраченной работы.

Таким образом, работа δA силы $\vec{F}$ на пути, который тело прошло за время возрастания скорости от 0 до $\vec{v}$, идет на увеличение кинетической энергии dE_k тела, т. е.

$$\delta A = dE_k .$$

Используя второй закон Ньютона $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v})$ и умножая обе части равенства на перемещение $d\vec{r}$, получим

$$\vec{F} \cdot d\vec{r} = m\frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{r} = \delta A$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Кинетическая энергия

Так как $\vec{v} = \dfrac{d\vec{r}}{dt}$, то $\delta A = m\vec{v} \cdot d\vec{v} = mv \cdot dv = dE_k$,

откуда $$E_k = \int_0^v mv \cdot dv = \frac{mv^2}{2}.$$

Из данной формулы видно, что кинетическая энергия зависит только от массы и скорости тела, т. е. *кинетическая энергия системы есть функция состояния ее движения*.

Равенство $\delta A = dE_k$ является теоремой об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме, которая формулируется так: *элементарная механическая работа результирующей силы, действующей на материальную точку, равна изменению кинетической энергии этой точки*.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Кинетическая энергия

Формула $E_k = \dfrac{mv^2}{2}$ справедлива, частности, для энергии материальной точки.

Любую механическую систему можно рассматривать как систему материальных точек. Поэтому кинетическая энергия механической системы равна сумме кинетических энергий всех N материальных точек, образующих эту систему:

$$E_k = \sum_{i=1}^{N} \frac{m_i v_i^2}{2},$$

где m_i и v_i— масса и скорость i-й материальной точки, при этом скорости $\vec{v}_i$ зависят от выбора системы отсчета.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Кинетическая энергия

В разных инерциальных системах отсчета, движущихся друг относительно друга, значения скорости $\vec{v}_i$ i-й материальной точки системы, а следовательно, ее кинетическая энергия и кинетическая энергия всей системы неодинаковы.

Иными словами, значение кинетической энергии системы зависит от выбора системы отсчета, т. е. является величиной относительной.

Если тело вращается вокруг неподвижной оси z с угловой скоростью $\vec{\omega}$, то линейная скорость i-й точки $v_i = \omega \cdot R_i$, R_i, - расстояние до оси вращения. Следовательно

$$E_k = \sum_{i=1}^{N} \frac{m_i v_i^2}{2} = \sum_{i=1}^{N} \frac{m_i \cdot \omega^2 \cdot R_i^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum_{i=1}^{N} m_i \cdot R_i^2 = \frac{\omega^2}{2} I_z$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Кинетическая энергия

В общем случае движение твердого тела можно представить в виде суммы двух движений — поступательного со скоростью, равной скорости $\vec{v}_C$ центра инерции тела, и вращения с угловой скоростью $\vec{\omega}$ вокруг мгновенной оси, проходящей через центр инерции.

С учетом вышесказанного выражение для кинетической энергии тела принимает вид

$$E_k = \frac{mv_C^2}{2} + \frac{I_C\omega^2}{2},$$

где I_c— момент инерции тела относительно мгновенной оси вращения, проходящей через центр инерции.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Прежде чем перейти к понятию потенциальной энергии, следует вспомнить, что по отношению к совершаемой работе все силы делятся на два вида.

Силы, работа которых не зависит от формы траектории, а определяется лишь начальным и конечным положением тела называются консервативными. Силы, не обладающие таким свойством, являются неконсервативными.

К консервативным относятся гравитационные, упругие и кулоновские силы. Консервативными являются также внутриядерные и межмолекулярные силы.

К неконсервативным относятся все различные виды сил трения, реактивная сила, сила, действующая на заряженную частицу со стороны вихревого электрического поля.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Потенциальная энергия $U(x,y,z)$ – энергия взаимодействия тел. Она зависит от взаимного расположения тел, т.е. от их координат.

Поэтому понятие потенциальной энергии имеет смысл для сил, работа которых зависит только от положения (координат) тел системы, т.е. для консервативных сил.

Потенциальная энергия измеряется работой, которую тела системы способны совершить при изменении своей конфигурации (взаимного расположения её частей).

Важно заметить, что потенциальная энергия является такой функцией координат $U=f(x,y,z)$, что работа консервативных сил равна разности значений этой функции при изменении положений тел системы, т.е.

$$A_{12} = U_1 - U_2 = -\Delta U.$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Работа положительна, если $U_2<U_1$ $(\Delta U<0)$. Иначе говоря, работа осуществляется за счёт убыли потенциальной энергии системы.

Из выше сказанного видно, что измеряя работу потенциальной силы, приложенной к материальной точке, можно определить только разность значений потенциальных энергий системы, состоящей из материальной точки и тела, которое оказывает воздействие консервативной силой.

Если работа сил поля, действующих на перемещающуюся в нём материальную точку, не зависит от траектории частицы, и определяется только её начальным и конечным положениями, то такое поле называется потенциальным.

Следовательно, эта энергия определяется с точностью до произвольной аддитивной постоянной. Чтобы получить однозначную зависимость потенциальной энергии системы от ее состояния, необходимо в каждой конкретной задаче выбрать начальное состояние, в котором потенциальная энергия принимается за нуль.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Зафиксируем нулевое значение функции U_n в определенном положении точки приложения консервативной силы, например, в положении 1, которое соответствует радиус – вектору $r_1=\infty$, то есть $U(\infty)=0$.

Тогда можно найти потенциальную энергию системы в положении 2, определяемом радиус – вектором $\vec{r}$, с помощью выражения:

$$U_{n2}\left(\vec{r}\right)=U_{n1}-A_{12}=-A_{12},$$

или

$$U_n\left(\vec{r}\right)=-\int_{\infty}^{\vec{r}}\vec{F}\cdot d\vec{r}=\int_{\vec{r}}^{\infty}\vec{F}\cdot d\vec{r}.$$

Для этих конкретных условий потенциальная энергия системы в состоянии, определяемом радиус-вектором $\vec{r}$, равна механической работе консервативной силы, взятой с обратным знаком, при перемещении точки приложения силы из бесконечности в рассматриваемую точку.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Таким образом, для малого перемещения $d\vec{l}$ элементарную работу можно записать двумя способами:

$dA_{12} = -dU$ $\rightarrow$ из определения потенциальной энергии;

$dA_{12} = \left(\vec{F} \cdot d\vec{l}\right)$ $\rightarrow$ определение элементарной работы.

Здесь dU – бесконечно малое изменение потенциальной энергии.

Приравняв правые части, получаем: $\left(\vec{F} \cdot d\vec{l}\right) = -dU$.

Скалярное произведение и полный дифференциал функции $U(x,y,z)$ можно переписать иначе:

$$F_x \cdot dx + F_y \cdot dy + F_z \cdot dz = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\partial x + \frac{\partial U}{\partial y}\partial y + \frac{\partial U}{\partial z}\partial z\right).$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛО ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

$$F_x \cdot dx + F_y \cdot dy + F_z \cdot dz = -\left(\frac{\partial U}{\partial x} \partial x + \frac{\partial U}{\partial y} \partial y + \frac{\partial U}{\partial z} \partial z \right).$$

Здесь произошла некоторая замена в обозначениях дифференциалов и, соответственно, производных: вместо привычных $\frac{dU}{dx},...$ появились $\frac{\partial U}{\partial x},....$

Так в математике обозначают частные производные, то есть производные функций нескольких переменных по каждой из них.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Из равенства $F_x \cdot dx + F_y \cdot dy + F_z \cdot dz = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\partial x + \frac{\partial U}{\partial y}\partial y + \frac{\partial U}{\partial z}\partial z \right)$

видно, что проекции вектора силы в любой точке пространства равны с противоположным знаком частным производным потенциальной энергии по координатам (в нашем случае, в декартовой системе координат) :

$$F_x = -\frac{\partial U}{\partial x}; \quad F_y = -\frac{\partial U}{\partial y}; \quad F_z = -\frac{\partial U}{\partial z}.$$

А значит, сам вектор $\vec{F}$ можно задать таким способом:

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k} \right).$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Из векторного анализа известно, что применение векторного оператора ∇, называемого *оператором набла*,

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial}{\partial z}\vec{k},$$

к некоторой скалярной функции $f(x,y,z)$ приводит к появлению вектора, называемого *градиентом* (*grad*) скалярной функции f

$$grad\ f = \nabla f = \frac{\partial f}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial f}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial f}{\partial z}\vec{k}.$$

Таким образом имеем:

$$\vec{F} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k}\right) \Rightarrow \qquad \vec{F} = -grad\,U.$$

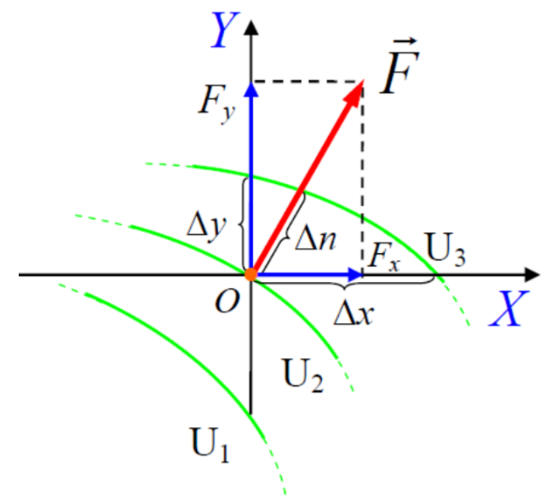
Таким образом, консервативная сила, действующая на материальную точку, находящуюся в поле этой силы, равна взятому с обратным знаком градиенту потенциальной энергии этой материальной точки в рассматриваемом потенциальном поле.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Соотношение $\vec{F} = -grad\,U.$ устанавливает связь между консервативной силой и *потенциальной энергией*.

В чём же его смысл?



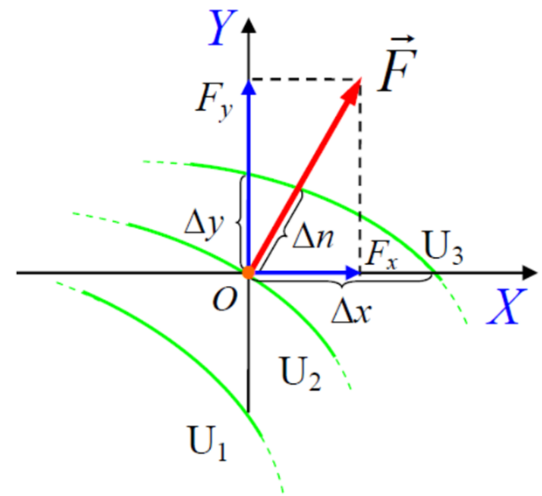
Пусть заданы значения потенциальной энергии во всех точках пространства – $U(x,y,z)$. В этом поле можно выделить геометрическое место точек, в которых потенциальная энергия имеет одно и то же значение.

Эти точки образуют эквипотенциальную *поверхность*. При перемещении частицы вдоль эквипотенциальной поверхности её энергия не меняется и работа не совершается.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Пусть мы хотим найти величину силы, действующей на частицу, в точке О.



В соответствии с $F_x = -\dfrac{\partial U}{\partial x}$; $F_y = -\dfrac{\partial U}{\partial y}$; $F_z = -\dfrac{\partial U}{\partial z}$. получим:

$$\left|F_x\right| = \left|\frac{U_3 - U_2}{\Delta x}\right| = \left|\frac{\Delta U}{\Delta x}\right|, \quad \left|F_y\right| = \left|\frac{\Delta U}{\Delta y}\right|, \quad \left|F_z\right| = \left|\frac{\Delta U}{\Delta z}\right|.$$

Модуль силы равен: $F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$.

Поскольку при перемещении частицы вдоль эквипотенциальной поверхности работа не совершается, сила направлена по нормали к эквипотенциальной поверхности.

Удобно одну из осей, например ось X, направить не произвольно, а так же по нормали. Тогда

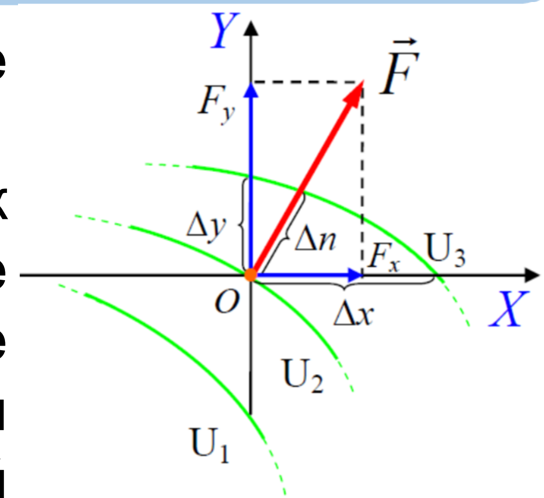
$$F_x = -\frac{\Delta U}{\Delta n}, \quad F_y = 0, \quad F_z = 0.$$

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Здесь Δn, равное Δx – это кратчайшее расстояние между поверхностями.

Поэтому в направлении нормали к эквипотенциальной поверхности изменение потенциальной энергии происходит быстрее всего. Значение модуля силы совпадает в этом случае с модулем её нормальной составляющей.



Градиент U – вектор, показывающий направление, в котором быстрее всего возрастает потенциальная энергия U вблизи данной точки пространства.

Сами компоненты вектора градиента дают скорость возрастания U по координатным направлениям, а его модуль определяет скорость в направлении максимального изменения U (в направлении вектора $gradU$).

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Потенциальная энергия

Таким образом, F определяет изменение потенциальной энергии, приходящееся на единицу длины, в направлении наиболее быстрого изменения энергии. Знак «минус» означает при этом, что сила направлена в сторону убывания потенциальной энергии.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Закон сохранения механической энергии

Закон сохранения энергии — результат обобщения многих экспериментальных данных.

Сумма кинетической и потенциальной энергии называется полной механической энергией:

$$E = E_k + U.$$

Закон сохранения механической энергии гласит: *в системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, полная механическая энергия сохраняется, т. е. не изменяется со временем.*

Закон сохранения механической энергии связан с однородностью времени, т. е. инвариантностью физических законов относительно выбора начала отсчета времени.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Закон сохранения механической энергии

Например, при свободном падении тела в поле сил тяжести его скорость и пройденный путь зависят лишь от начальной скорости и продолжительности свободного падения тела и не зависят от того, когда тело начало падать.

Существуют еще и диссипативные системы, в которых механическая энергия постепенно уменьшается за счет преобразования в другие (немеханические) формы энергии. Этот процесс получил название *диссипации* (или *рассеяния*) энергии.

Строго говоря, все системы в природе являются диссипативными.

В системе, в которой действуют также неконсервативные силы, например, силы трения, полная механическая энергия системы не сохраняется.

Следовательно, в этих случаях закон сохранения механической энергии несправедлив.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА ВОКРУГ НЕПОДВИЖНОЙ ОСИ

Закон сохранения механической энергии

Однако при «исчезновении» механической энергии всегда возникает эквивалентное количество энергии другого вида.

Таким образом, энергия никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой.

В этом и заключается физическая сущность закона сохранения и превращения энергии — сущность неуничтожимости материи и ее движения.