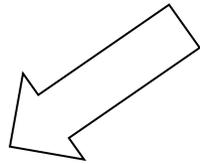


Энергия-

E [Дж] — скалярная физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу.

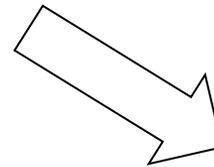
Так как в механике изучается движение тел и их взаимодействие, то

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ



КИНЕТИЧЕСКАЯ
энергия движения

$$E_k$$



ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ
энергия взаимодействия

$$E_n$$

СУЩЕСТВУЕТ ДВА ВИДА МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ: КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ, КОТОРЫЕ МОГУТ ПРЕВРАЩАТЬСЯ ДРУГ В ДРУГА.

Потенциальная энергия – это энергия которой обладают предметы в состоянии покоя.

Кинетическая энергия – это энергия тела приобретенная при движении.

Кинетическая энергия

- E_k [Дж] - энергия, которой обладает тело вследствие своего движения (характеризует движущееся тело).
- В выбранной системе отсчета:
 - если тело не движется ($v = 0$), то $E_k = 0$
 - если тело движется, то $E_k > 0$

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

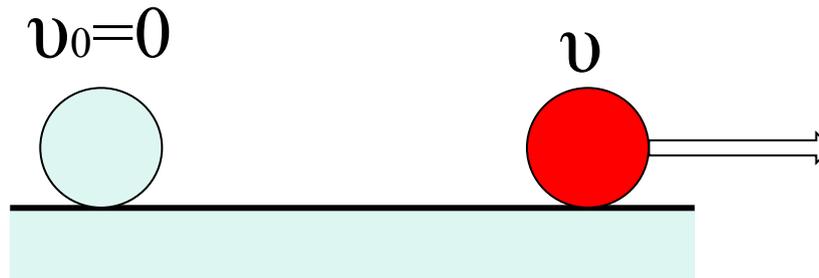
Кинетическая энергия

Определим кинетическую энергию тела,
движущегося со скоростью v

Так как энергия – это работа, которую совершает тело при переходе из
данного состояния в нулевое.

Следовательно,

это работа, которую нужно совершить, чтобы
перевести тело из нулевого состояния ($v_0=0$) в
данное ($v \neq 0$).

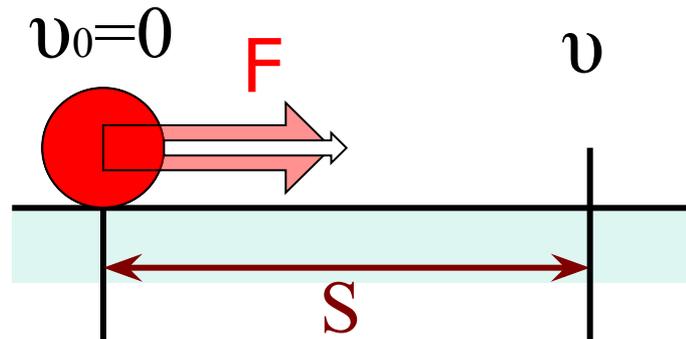


Определим эту работу:

Чтобы тело изменило скорость к нему необходимо приложить силу F , при этом оно начнет двигаться равноускоренно, и пройдя путь S , приобретет скорость v .

При этом сила F совершит работу:

$$A = F \cdot S$$



Преобразуем это выражение:

Согласно II закону Ньютона: $F = ma$

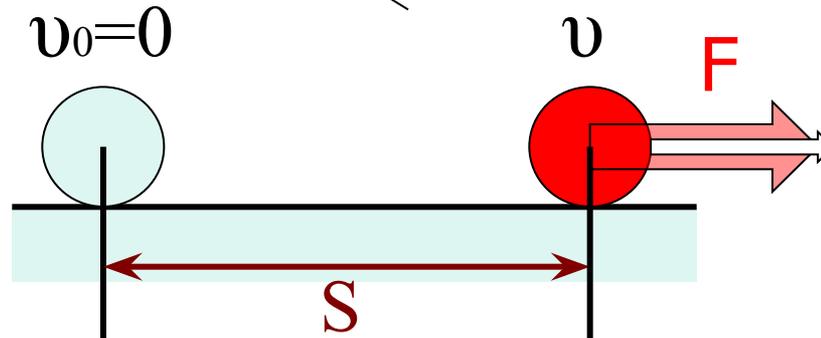
Путь при равноускоренном
движении:

$$A = ma \cdot \frac{at^2}{2} = m \cdot \frac{a^2 t^2}{2} \quad S = \frac{at^2}{2}$$

Так как ускорение при равноускоренном движении

$a = \frac{v}{t}$, подставим вместо ускорения его значение

$$A = m \cdot \frac{v^2 \cancel{t^2}}{\cancel{t^2}} \cdot \frac{1}{2} = \frac{mv^2}{2}$$



Преобразуем это выражение:

Согласно I закону Ньютона: $F = ma$

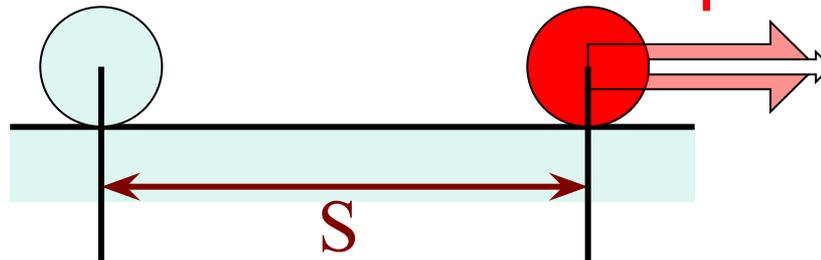
Путь при равноускоренном
движении: $S = \frac{at^2}{2}$

$$A = ma \cdot \frac{at^2}{2} = m \cdot \frac{a^2 t^2}{2}$$

Так как ускорение при равноускоренном движении $a = \frac{v}{t}$, подставим вместо ускорения его значение

$$A = m \cdot \frac{v^2}{t^2} \cdot \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot 2} = \frac{mv^2}{2}$$

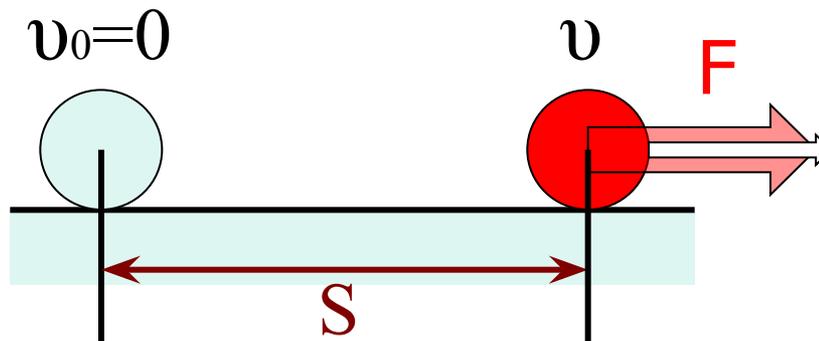
$v_0=0$ v F



Энергия - это работа, которую нужно совершить, чтобы перевести тело из нулевого состояния ($v_0=0$) в данное ($v \neq 0$).

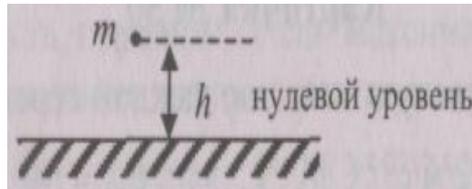
$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad E_k = A = \frac{mv^2}{2}$$

Кинетическая энергия движущегося тела равна половине произведения массы тела на квадрат его скорости.



Потенциальная энергия поднятого над Землей тела

$E_p = mgh$ - энергия взаимодействия тела с Землей. Потенциальная энергия является относительной величиной, т. к. зависит от выбора нулевого уровня (где $E_p = 0$).

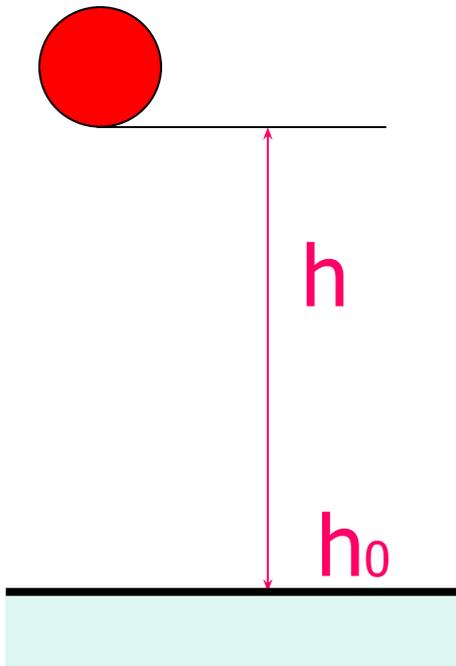


Потенциальная энергия

Определим потенциальную энергию взаимодействия тела с Землей на высоте h .

Выберем уровень Земли за нулевой h_0 .

Нулевой уровень энергии – уровень, на котором энергия считается равной нулю.

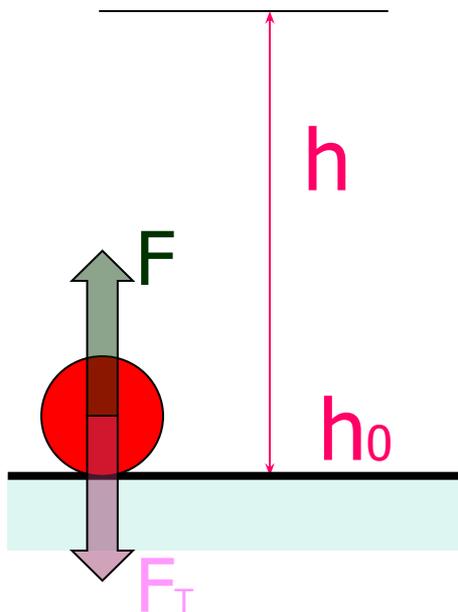


Энергия - это работа которую, нужно совершить, чтобы перевести тело из нулевого состояния ($h_0=0$) в данное (h).

Для равномерного подъема тела на высоту h к нему необходимо приложить силу F , равную силе тяжести F_T

$$F = F_m$$

Под действием силы F тело начнет двигаться вверх, и пройдет путь h .

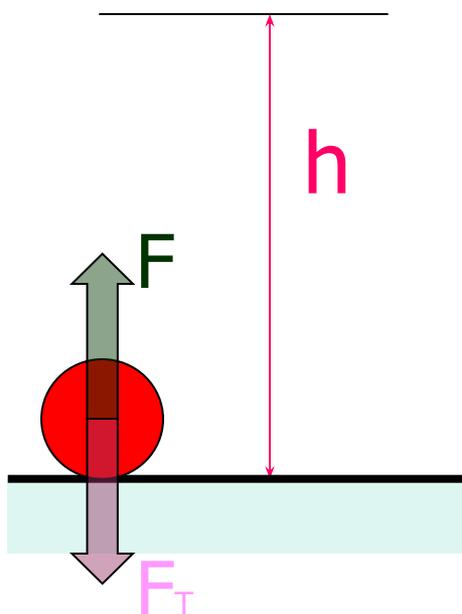


Энергия - это работа, которую нужно совершить, чтобы перевести тело из нулевого состояния ($h_0=0$) в данное (h).

Для равномерного подъема тела на высоту h к нему необходимо приложить силу F , равную силе тяжести F_T

$$F = F_m$$

Под действием силы F тело начнет двигаться вверх, и пройдет путь h .



Энергия - это работа, которую нужно совершить, чтобы перевести тело из нулевого состояния ($h_0=0$) в данное (h).

Определим работу силы F :

$$A = F \cdot S$$

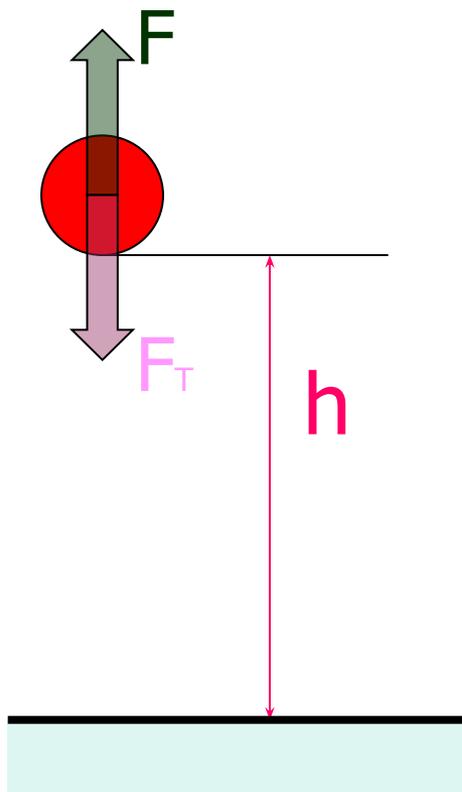
Так как $F = F_m = mg$, а путь

$$S = h$$

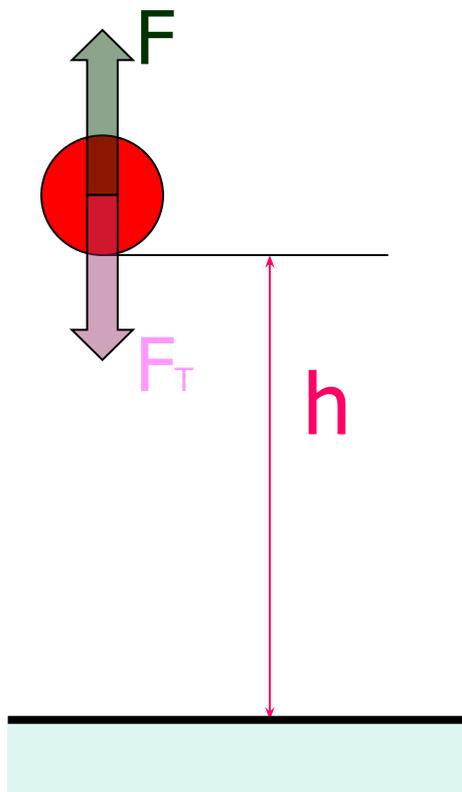
Тогда работа $A = mg \cdot h$

Отсюда потенциальная энергия:

$$E_n = A = mgh$$



Энергия - это работа, которую нужно совершить, чтобы перевести тело из нулевого состояния ($h_0=0$) в данное (h).

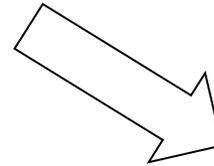
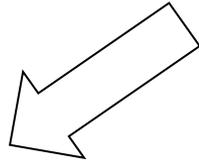


Потенциальная энергия взаимодействия тела с Землей равна произведению массы тела, ускорения свободного падения и высоты, на которой оно находится.

$$E_n = mgh$$

Итак:

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ



КИНЕТИЧЕСКАЯ
энергия движения

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ
энергия взаимодействия

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

$$E_n = mgh$$

$$[E] = [A] = 1 \text{ Дж}$$

Превращение потенциальной энергии в кинетическую.

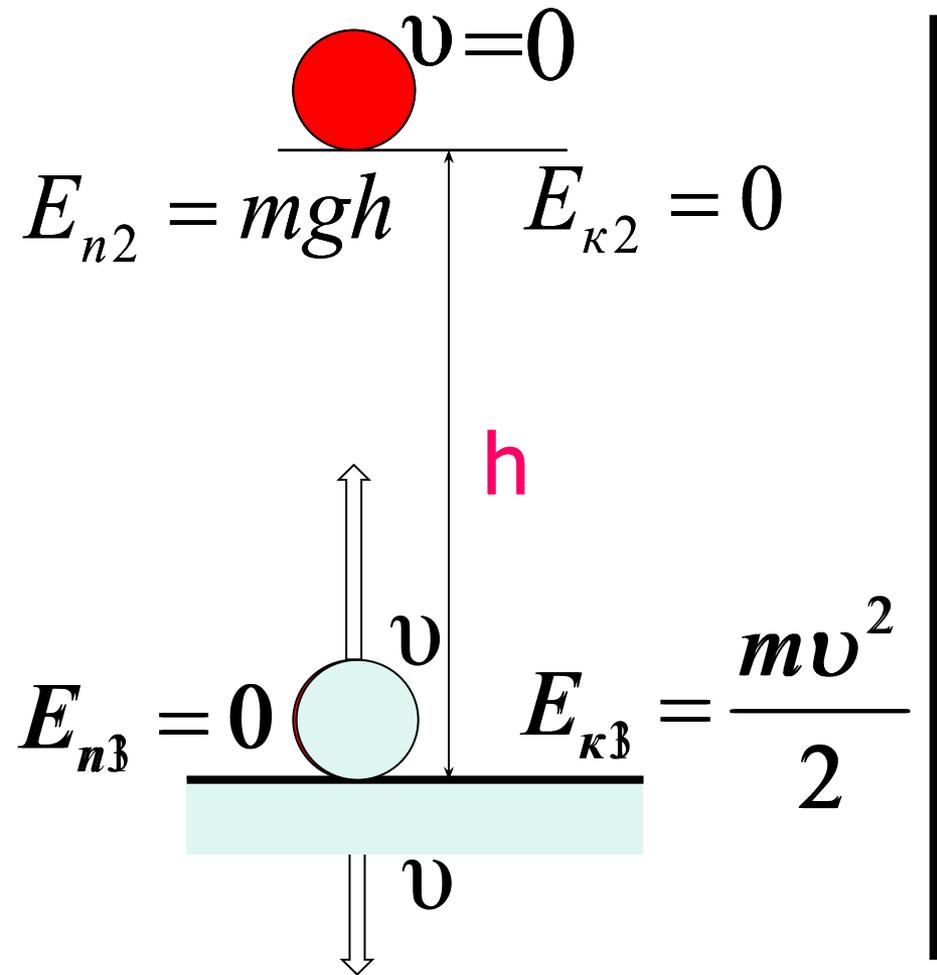
ПОДБРАСЫВАЯ ВВЕРХ МЯЧ, МЫ СООБЩАЕМ ЕМУ ЭНЕРГИЮ ДВИЖЕНИЯ – КИНЕТИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ.



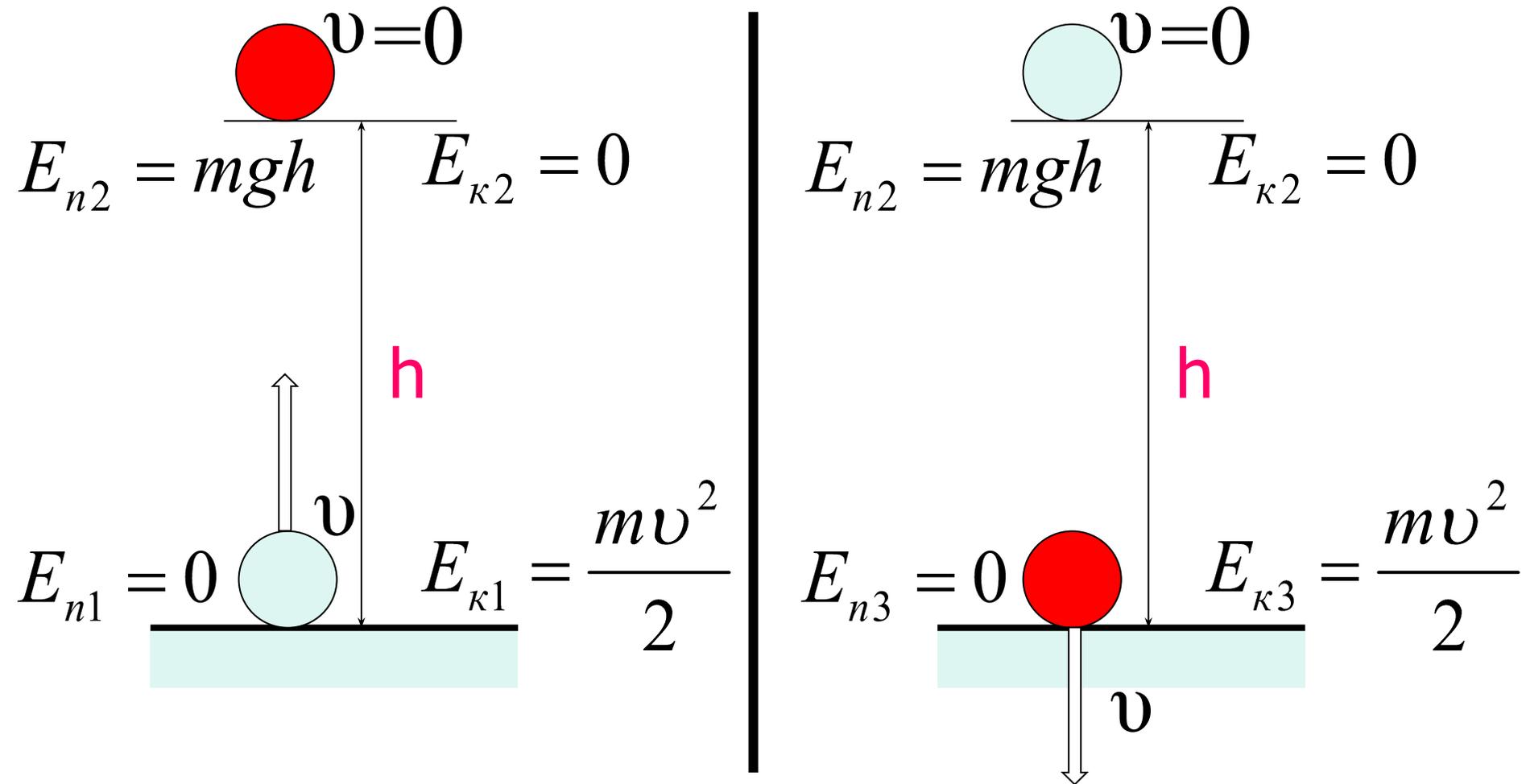
ПОДНЯВШИСЬ, МЯЧ ОСТАНАВЛИВАЕТСЯ, А ЗАТЕМ НАЧИНАЕТ ПАДАТЬ. В МОМЕНТ ОСТАНОВКИ (В ВЕРХНЕЙ ТОЧКЕ) ВСЯ КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ ПОЛНОСТЬЮ ПРЕВРАЩАЕТСЯ В ПОТЕНЦИАЛЬНУЮ.

ПРИ ДВИЖЕНИИ ТЕЛА ВНИЗ ПРОИСХОДИТ ОБРАТНЫЙ ПРОЦЕСС.

Итак, при возрастании кинетической энергии тела потенциальная энергия взаимодействия уменьшается.



И наоборот, при уменьшении кинетической энергии тела потенциальная энергия взаимодействия увеличивается.



Рассмотрим систему тел, между которыми действуют только консервативные силы . Изменение энергии тела происходит:

1) за счет внутренних сил равна изменению потенциальной энергии тела

$$\Delta E_p = E_{p_1} - E_{p_2}$$

2) За счет внешних сил, работа которых равна A

Полная работа равна изменению кинетической энергии тела:

$$E_{p_1} - E_{p_2} + A = E_{k_2} - E_{k_1}$$

$$(E_{p_2} + E_{k_2}) - (E_{p_1} + E_{k_1}) = A$$

$$E_{\text{полн}2} - E_{\text{полн}1} = A$$

Потенциальное поле сил.

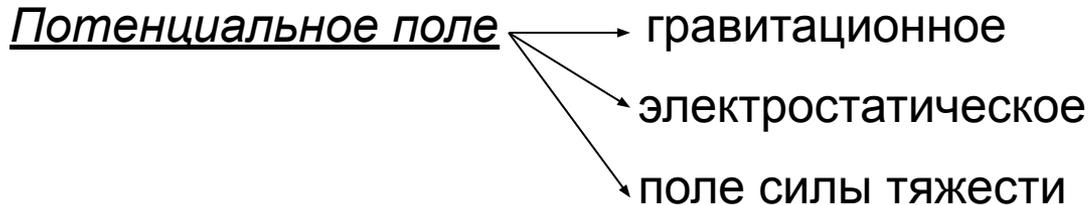
потенциальные - силы зависят только от положения тела в пространстве

Силы, работа которых определяется только начальным и конечным положением тела в пространстве называются консервативными

Силы, работа которых *зависит* от пути, по которому тело переходит из одного положения в другое, называются неконсервативными.

Консервативными системами называются такие системы, в которых действие внешних сил не приводит к переходу одного вида энергии в другой.

Диссипативными называются системы, в которых действие внешних сил приводит к переходу одного вида энергии в другой.



$$E_{\text{полн}2} - E_{\text{полн}1} = A$$

Приращение полной энергии системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, равно работе внешних сил, приложенных к телам системы.

Если система замкнута, то $A=0$, тогда $\Delta E_{\text{полн}} = 0$,

$$E_{\text{полн}} = \text{const}$$

Полная механическая энергия замкнутой системы тел, между которыми действуют только консервативные силы, остается постоянной

Неконсервативные силы рассматриваются как внешние (трение)

Общий закон

В замкнутой системе, изолированной от внешних воздействий, остается постоянной сумма всех видов энергии

Энергия.

кинетическая энергия

движение тела

$$\Delta s = V_{\text{ср}} \cdot \Delta t = [(V_1 + V_2)/2] \cdot \Delta t$$

$$\Delta t = 2\Delta s / (V_1 + V_2).$$

$$F \cdot \Delta t = mV_2 - mV_1 = m(V_2 - V_1)$$

$$F \cdot 2\Delta s = m(V_2 - V_1) \cdot (V_2 + V_1) = m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$F \cdot \Delta s = mV_2^2/2 - mV_1^2/2, \text{ причем}$$

$$F \cdot \Delta s = A$$

$$E_{\text{кин}} > 0 \quad (V^2 > 0 \quad m > 0)$$

$$E_{\text{кин}} = mV^2/2 + \text{const}$$

$$V=0 \quad E_{\text{кин}} = 0 \quad \longrightarrow \quad \text{const} = 0$$

потенциальная энергия

нахождением тела в потенциальном поле сил

$$A = \Delta E_p = m \cdot g (h_1 - h_2)$$

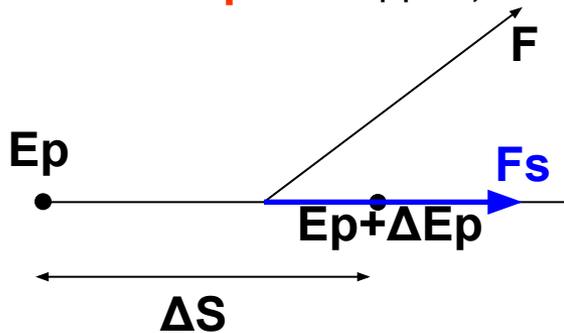
$$E_p = m \cdot g h + \text{const}$$

$$E_p > 0 \quad E_p < 0$$

$$E_{\text{полн}} = mV^2/2 + mgh = E_{\text{кин}} + E_p$$

Связь между потенциальной энергией и силой

Каждой точке потенциального поля соответствует с с одной стороны некоторое значение вектора силы \mathbf{F} , действующей на тело, с другой стороны – некоторое значение E_p . Найдем, есть ли связь между этими величинами.



$$dA = \vec{F}_s \cdot d\vec{S} = -dE_p$$

Т.к. работа совершается за счет потенциальной энергии E_p , она равна убыли E_p .

$$F_s = -\frac{dE_p}{dS}$$

$$F_s = -\frac{\partial E_p}{\partial S}$$

-это частная производная, т.к. энергия может меняться и вдоль других направлений.

Условия равновесия механической системы

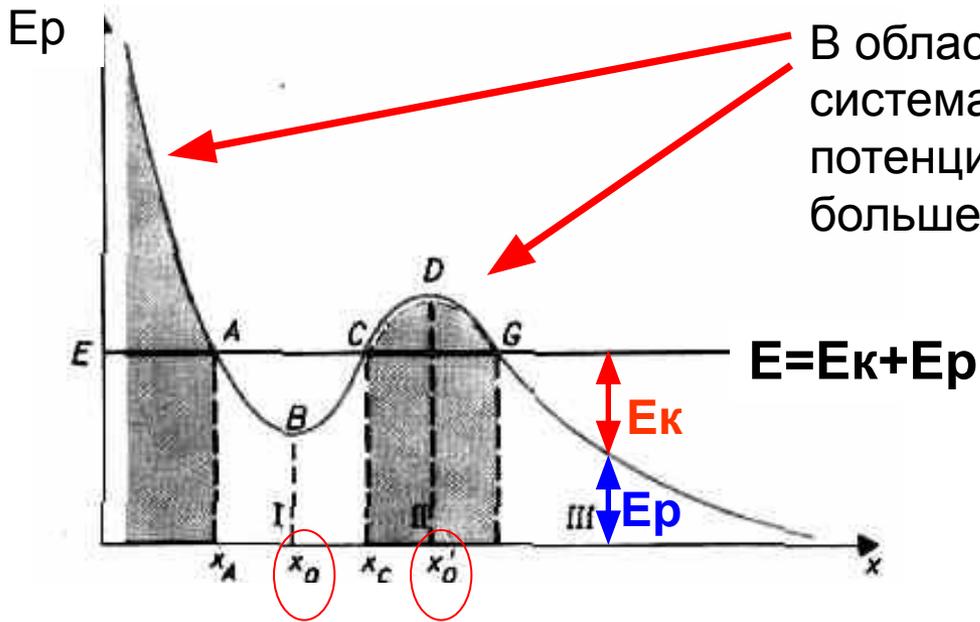
В замкнутой системе полная энергия остается постоянной, поэтому кинетическая энергия E_k может возрастать только за счет уменьшения потенциальной энергии E_p .

Если система находится в таком состоянии, что скорость всех тел равна нулю, а E_p имеет минимальное значение, то без воздействия извне тела системы не могут придти в движение, т.е. система будет находиться в равновесии

Т.о. для замкнутой системы равновесной может быть только такая конфигурация тел, которая соответствует минимуму потенциальной энергии.

Условие минимума $\frac{\partial E_p}{\partial x} = 0 \implies F_x = 0$

Т.е. силы, действующие на тело равны нулю



В области заштрихованные серым система проникнуть не может, т.к. потенциальная энергия не может быть больше полной энергии системы.

иначе E_k будет меньше нуля, что невозможно

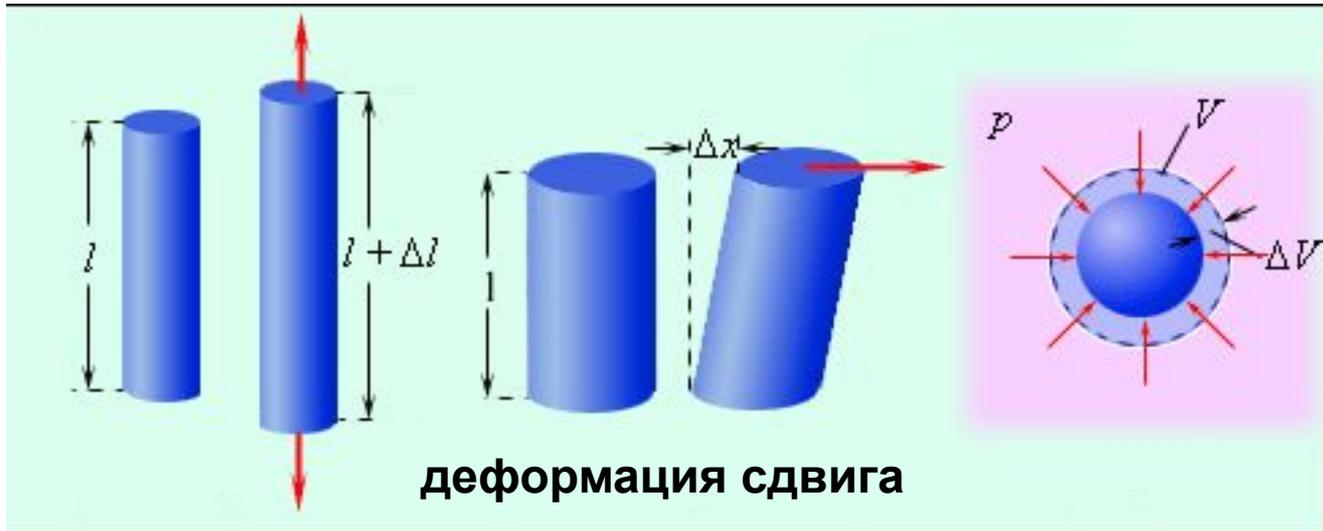
x_0 – **точка устойчивого равновесия**. Здесь потенциальная энергия частицы минимальна.

$$\frac{\partial E_p}{\partial x} = 0 \longrightarrow F_x = 0$$

При смещении частицы из положения x_0 (и влево, и вправо) она испытывает действие возвращающей силы

Точка x_0' соответствует положению **неустойчивого равновесия**, так как при смещении частицы из положения x_0' появляется сила, стремящаяся удалить ее от этого положения.

Деформация.



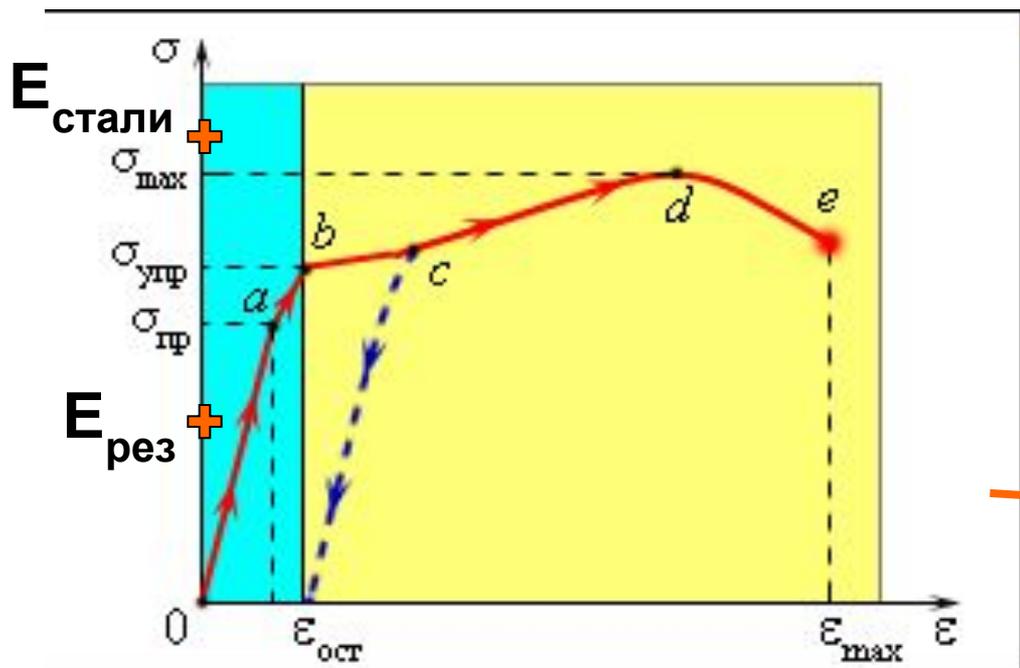
деформация растяжения

деформация всестороннего сжатия.

Деформацией — называют смещение частиц тела относительно друг друга, а также изменение среднего расстояния между частицами тела.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \leftarrow \begin{array}{|c|} \hline \text{относительное} \\ \text{удлинение} \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \text{механическое} \\ \text{напряжение} \\ \hline \end{array} \quad \rightarrow \quad \sigma = \frac{F}{S}$$

Диаграмма растяжения твердого тела.



область упругих деформаций

$$\epsilon = \frac{1}{E} \sigma$$

Закон Гука

область пластических деформаций

E - модуль Юнга - величина механического напряжения σ , при которой $\epsilon=1$ или $\Delta l=l$, т.е. тело удлинится в два раза.

Неинерциальные системы отсчета. Сила инерции. Центробежная сила. Земля как неинерциальная система отсчета. Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета.

Неинерциальными называются системы отсчета (Н.И.С.О.), которые движутся с ускорением относительно всех инерциальных систем отсчета.

В Н.И.С.О. не выполняются законы Ньютона, которые описывают динамику в инерциальных системах.

Н.И.С.О. движется относительно инерциальных систем с некоторым ускорением, ускорение тела в Н.И.С.О. a' будет отличаться от a – ускорения в инерциальной системе

Пусть разность этих ускорений $\overset{\text{И}}{a}_0 = \overset{\text{И}}{a} - \overset{\text{И}}{a}'$

Поступательное движение.

$$\overset{\text{И}}{a}_0 = \overset{\text{И}}{a}'$$

$$\overset{\text{И}}{a} = \frac{\overset{\text{И}}{F}}{m}$$

по II закону Ньютона

Вращательное движение

$$\overset{\text{И}}{a}_0 \neq \overset{\text{И}}{a}'$$

F – результирующая всех сил, приложенных к телу

Системы отсчета, связанные с Землей

Система отсчета, связанная с Землей, не является инерциальной. Значит, в ней **законы Ньютона не выполняются**. Рассмотрим простейшие неинерциальные системы: равноускоренную и равномерно вращающуюся. **Инерциальная система это частный случай неинерциальной при ускорении или угловой скорости равной нулю.**

При описании движения в неинерциальных системах отсчета можно пользоваться уравнениями Ньютона, если наряду с силами, обусловленными воздействием тел друг на друга, учитывать так называемые **силы инерции**.

Силы инерции

Пусть в инерциальной системе отсчета тело движется с ускорением a_1 . В неинерциальной системе, которая движется поступательно относительно инерциальной с каким-то ускорением, ускорение тела будет другое a_2 . Пусть $a_1 - a_2 = a$ (если не поступательно то будет добавочное слагаемое).

По 2-му закону Ньютона $a_1 = F/m$, где F - результирующая всех сил, действующих на тело. Тогда $a_2 = a_1 - a = F/m - a$. При $F = 0$ ускорение тела в неинерциальной системе отсчета равно $a_2 = -a$, то есть такое, как если бы на него действовала сила, равная $-ma$. Эта сила и называется **силой инерции**: $F_{ин} = -ma$.

Формально ускорение a есть? значит и сила есть $F_{ин}$!
она и создает силовое поле действующее в любой точке неинерциальной системы

Уравнение 2-го закона Ньютона в неинерциальной системе

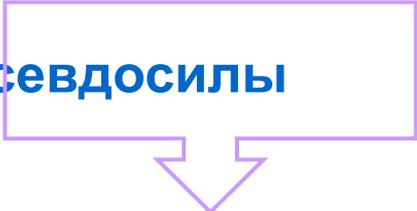
Как говорилось выше:

$$a_2 = a_1 - a = F/m - a$$

Умножая обе части выражения на m получаем, что уравнение второго закона Ньютона в неинерциальной системе имеет вид:

$$ma_2 = F - ma = F + F_{ин}$$

Псевдосилы



Сила инерции определяются не действием на материальную точку других тел, **а свойствами неинерциальной системы** отсчета, а точнее ее ускорением. А раньше мы говорили об инвариантности сил относительно преобразований Галилея!

- Для них нельзя указать тело, со стороны которого они действуют, поэтому **третий закон Ньютона** для сил инерции **не имеет смысла.**
- С другой стороны они действуют аналогично рассмотренному ранее и вызывают ускорение

Центростремительная сила

При движении по окружности нормальное ускорение точки $\mathbf{a}_n \perp \mathbf{v}$ и направлено к центру окружности (потому и называется центростремительным) и по модулю равно $\mathbf{a}_n = v^2/R$, или через угловую скорость $\mathbf{a}_n = \omega^2 \mathbf{R}$. Таким образом, при движении \mathbf{MT} на нее действует **центростремительная сила** равная по модулю:

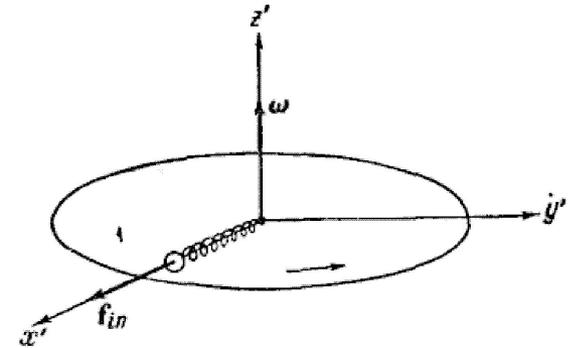
$$\mathbf{F}_c = m \omega^2 \mathbf{R}$$

где \mathbf{R} - радиус окружности.

Центробежная сила инерции

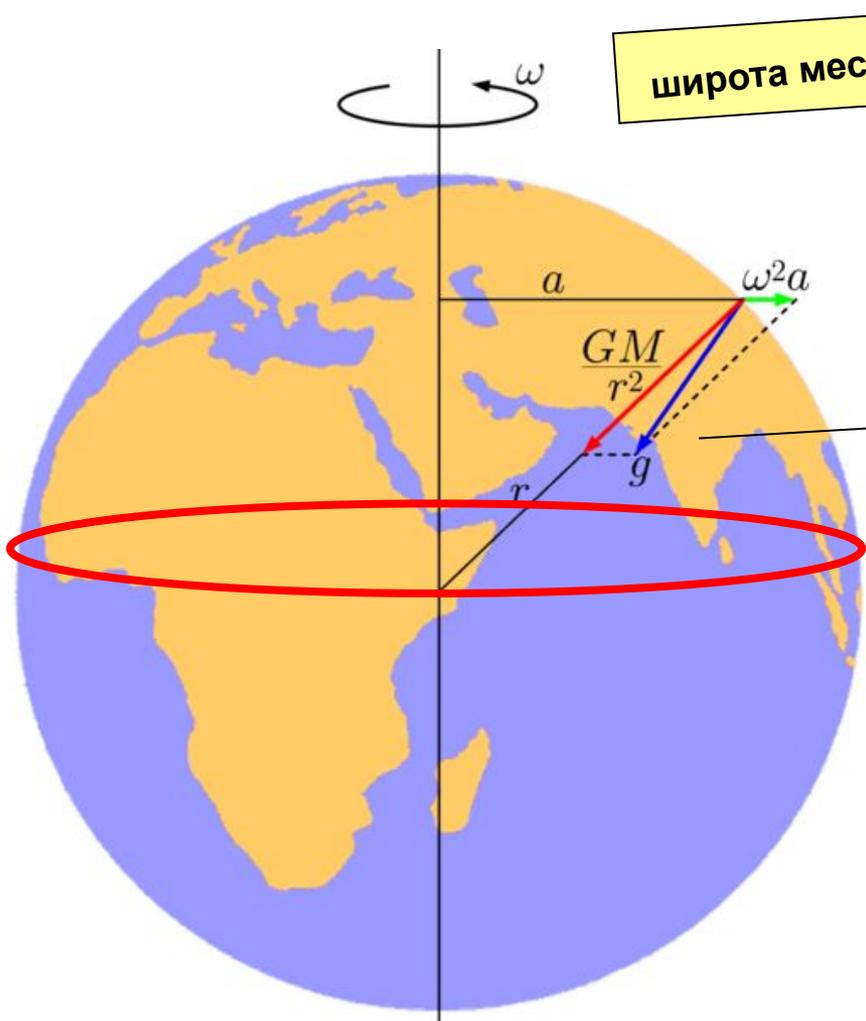
Если перейти **во вращающуюся со скоростью ω систему отсчета**, то в ней **МТ** покоится. Это можно формально объяснить тем, что кроме силы $F_{\text{ц}}$ на точку действует равная по величине и противоположная по направлению сила, которая называется **центробежной**:

$$F_{\text{цб}} = m \omega^2 R$$

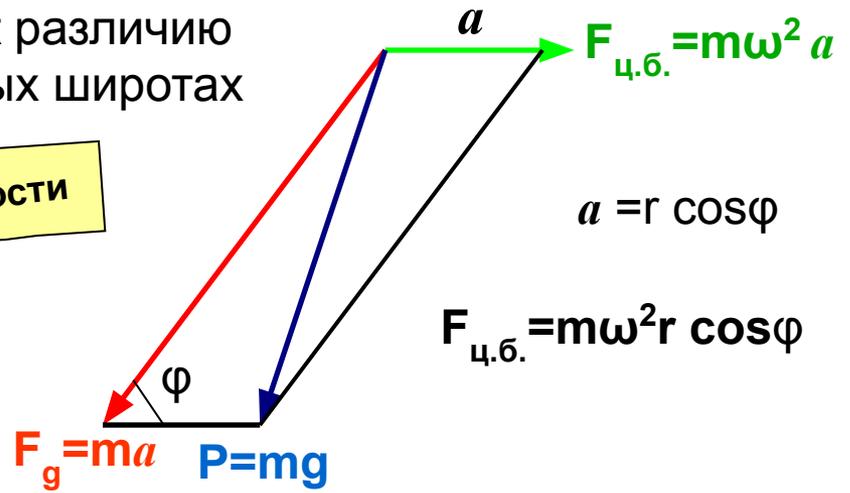


Центробежная сила инерции $F_{\text{цб}}$ возникает во вращающейся системе отсчета **независимо от того, покоится тело в этой системе или движется** относительно нее с какой-то скоростью.

Наличие центробежной силы приводит к различию ускорения свободного падения на разных широтах



широта местности



g обусловлено действием двух сил

Результирующая сила направлена не к центру Земли.

$$\vec{P} = \vec{F}_g + \vec{F}_{\text{ц.б.}}$$

На полюсе $\varphi = \pi/2$. $F_{\text{ц.б.}} = 0$, т.к. $a = 0$
 $g_{\text{п}} = GM_3/R_3^2$.

На экваторе: $\varphi = 0$ $a = R_3$
 $g_3 = GM_3/R_3^2 - m\omega^2 R_3 < g_{\text{п}}$,

$m\omega^2 R_3 = 0,3\%$ веса $\omega = 2\pi/T$.

Центробежная *сила инерции*, связанная с вращением **Земли** вокруг своей оси влияет на величину и направление ускорения свободного падения.

Эта сила направлена в сторону, противоположную силе притяжения, и поэтому *уменьшает* ускорение свободного падения.

Сила инерции *равна нулю на полюсах*.

На экваторе сила инерции максимальна и приводит к уменьшению ускорения свободного падения на величину

$$m_3/\epsilon \left(\frac{\dot{\alpha}}{T_3} \right)^2 R_3 = 0.034 \quad 2$$

В результате влияния всех факторов ускорение свободного падения меняется с *широтой* от 9.78 м/с^2 на экваторе до 9.83 м/с^2 на полюсах. На средних широтах $\sim 45^\circ$ ускорение близко к значению $g = 9.81 \text{ м/с}^2$.

Вес тела на экваторе примерно на 0.3% меньше веса того же тела на полюсе.

Сила Кориолиса

Если тело массой m движется с какой-то скоростью \mathbf{v}' относительно вращающейся системы отсчета (вращающийся диск или Земля), то появляется дополнительная сила, называемая **кориолисовой силой инерции** или просто **силой Кориолиса** \mathbf{F}_K .

$$\mathbf{F}_K = 2m[\mathbf{v}' \boldsymbol{\omega}]$$

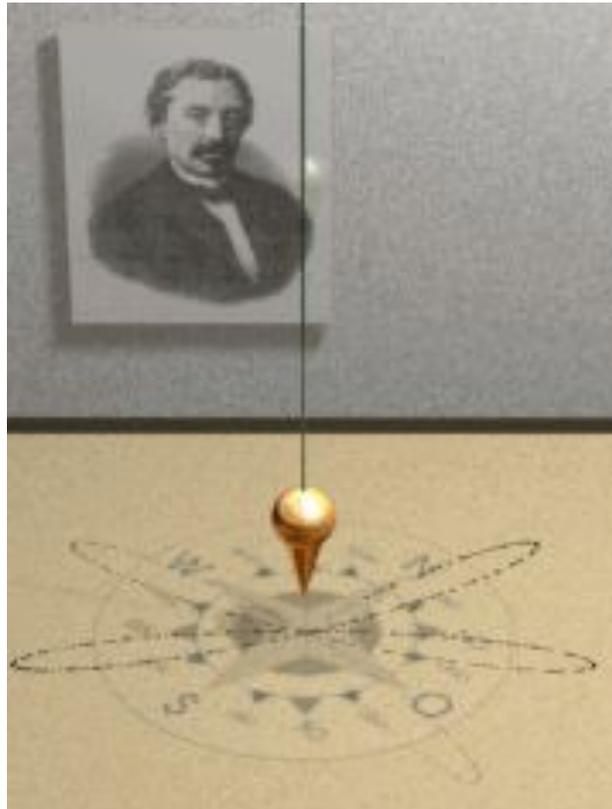
В таком виде получается чисто формально при замене в нормальном ускорении члена $\boldsymbol{\omega}\mathbf{R}$ на $\mathbf{v}' + \boldsymbol{\omega}\mathbf{R}$. Т.е. наблюдатель сидя на диске помимо реальной силы \mathbf{F} заметит, что на тело действуют две силы инерции $\mathbf{F}_{цб}$ и \mathbf{F}_K (могут быть направл. в разные стороны)

- В **северном полушарии** у всех рек, текущих по меридиану (причем независимо от того, на север или на юг) подмывается **правый берег** по отношению к направлению течения, а в южном полушарии — левый. Тоже с **правым рельсом** (стачивание)
- **Силы инерции как и силы гравитации пропорциональны массе**
- **Неинерциальная система эквивалентна гравитационному полю.**
- **Этот вывод в физике - принцип эквивалентности.**

Маятник Фуко.

Силы Кориолиса проявляются и при качаниях маятника.

Маятник Фуко – маятник, предназначенный для наблюдения за вращением Земли.



На широте φ
плоскость качаний
маятника
поворачивается за
сутки на угол

$$2\pi \sin \varphi$$

Плоскость качания маятника поворачивается относительно Земли по часовой стрелке, причем за сутки она совершает один оборот.

Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета (Н.И.С.О.)

В ОТСУТСТВИИ ВНЕШНИХ СИЛ

Закон	И.С.О.	Н.И.С.О.
1. сохранения энергии	$E_2 - E_1 = 0$	$E_2 - E_1 = A_{ин}$
2. сохранения импульса	$\frac{dK}{dt} = 0$	$\frac{dK}{dt} = F_{ин}$
3. сохранения момента импульса	$\frac{dL}{dt} = 0$	$\frac{dL}{dt} = M_{ин}$