

Физика

- *Лектор: Давлетшина Миляуша
Рафаэлевна, доцент кафедры
физики УГНТУ*

Лекция 1

Введение.

Основы кинематики

Литература:

Савельев В.А. Курс физики, 2008 г., том 1

Трофимова Т.И. Курс физики, 2005 г., гл.1

Схема метода научного познания

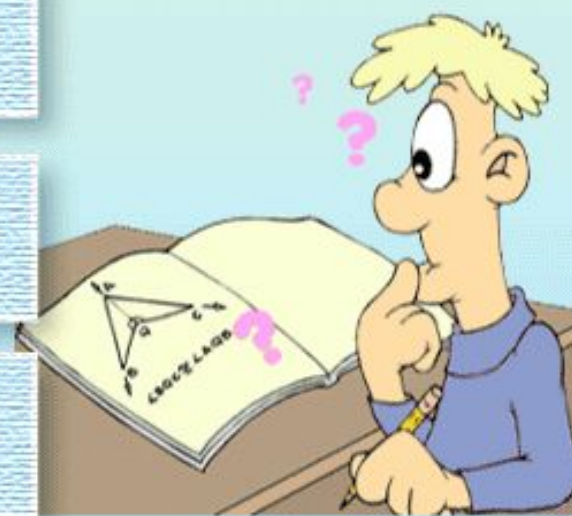
Наблюдения

Обобщения

Гипотезы

Опыты

Теория, закон



Единицы измерений физических величин

Основные физические величины					
длина	<i>м</i>	(<i>l</i>)	сила электрического тока	<i>А</i>	(<i>I</i>)
масса	<i>кг</i>	(<i>m</i>)	сила света	<i>кд</i>	(<i>I</i>)
время	<i>с</i>	(<i>t</i>)	количество вещества	<i>моль</i>	(<i>v</i>)
температура	<i>К</i>	(<i>T</i>)			
Дополнительные физические величины					
угол плоский	<i>рад</i>	(φ)	угол телесный	<i>стерадиан</i>	(Ω)
Производные физические величины					
площадь	<i>м²</i>	(<i>S</i>)	электрический заряд	<i>Кл</i>	(<i>q</i>)
объем	<i>м³</i>	(<i>V</i>)	напряженность электрического поля	<i>В/м</i>	(<i>E</i>)
скорость	<i>м/с</i>	(<i>v</i>)	электрическое напряжение		
ускорение	<i>м/с²</i>	(<i>a</i>)	(разность потенциалов)	<i>В</i>	(<i>U</i>)
плотность	<i>кг/м³</i>	(ρ)	электрическая емкость	Φ	(<i>C</i>)
сила	<i>Н</i>	(<i>F</i>)	электрическое сопротивление	<i>Ом</i>	(<i>R</i>)
частота	<i>Гц</i>	(ν)	магнитный поток	<i>Вб</i>	(Φ)
давление	<i>Па</i>	(<i>p</i>)	магнитная индукция	<i>Тл</i>	(<i>B</i>)
энергия			индуктивность	<i>Гн</i>	(<i>L</i>)
работа					
кол-во теплоты	<i>Дж</i>	(<i>E, A, Q</i>)			
мощность	<i>Вт</i>	(<i>N, P</i>)			

Приставки кратных и дольных единиц

ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ

КРАТНЫЕ			ДОЛЬНЫЕ		
ПРИСТАВКА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	МНОЖИТЕЛЬ	ПРИСТАВКА	ОБОЗНАЧЕНИЕ	МНОЖИТЕЛЬ
экса	Э	10^{18}	атто	а	10^{-18}
пета	П	10^{15}	фемто	ф	10^{-15}
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
гекто	г	10^2	санتي	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}

Плакаты 9-10: Векторы

ФИЗИКА

9

МЕХАНИКА

Действие над векторами

Вектор

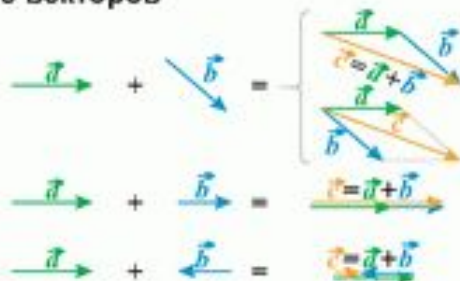
величина, задаваемая численным значением и направлением



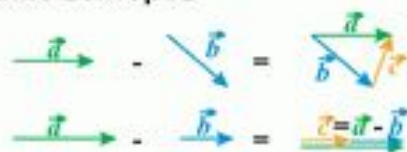
$\vec{S}$ - вектор

S - модуль вектора (длина вектора)

Сложение векторов



Вычитание векторов



Умножение вектора на скаляр



ФИЗИКА

10

МЕХАНИКА

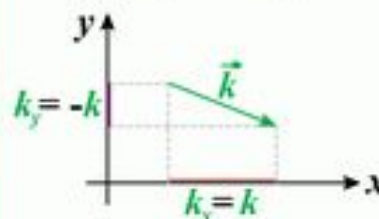
Проекция вектора

Одномерный случай

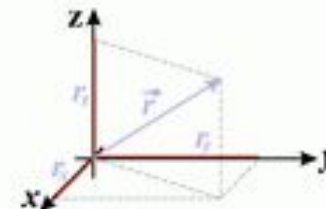


Проекция положительна, если от проекции начала вектора к проекции конца нужно идти по направлению оси

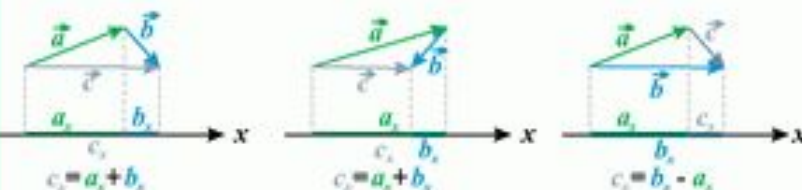
Двумерный случай



Трёхмерный случай



Проекция суммы (разности) векторов



Проекция суммы (разности) векторов равна сумме (разности) проекций векторов на эту же ось



ДЕКАРТОВЫ КООРДИНАТЫ

Декартова система координат [по имени франц. философа и математика Р. Декарта (1596 - 1650)], - система координат на плоскости или в пространстве, обычно с взаимно перпендикулярными осями и одинаковыми масштабами по осям - прямоугольные Д. к.

- *Декарт Рене заложил основы аналитической геометрии, дал понятия переменной величины и функции, ввёл многие алгебраические обозначения. Высказал закон сохранения количества движения, дал понятие импульса силы. Общая причина движения, по Декарту, — Бог, который сотворил материю, движение и покой.*

Портрет René Descartes (1596-1650)

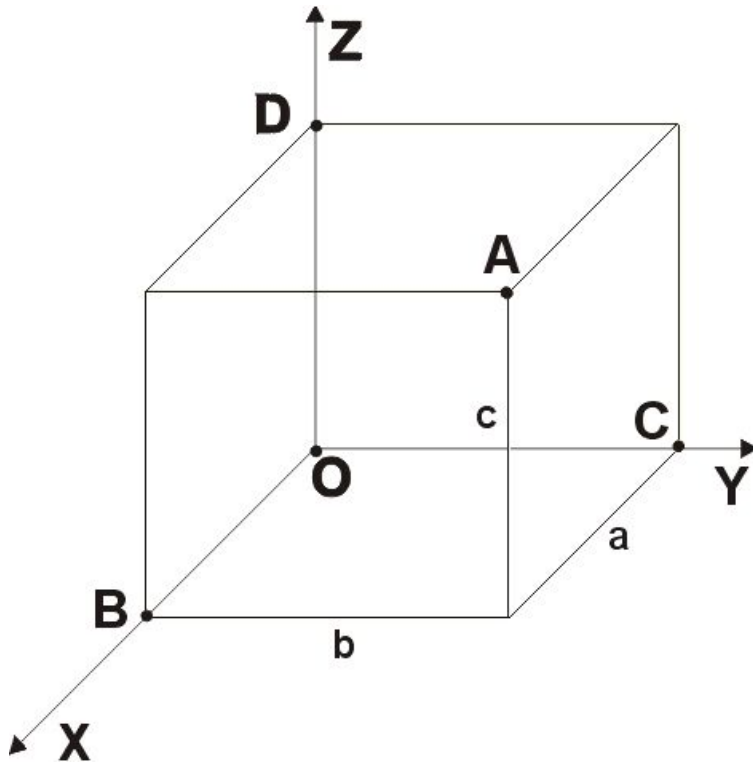
[Музей Лувр](#), Richelieu, 2nd floor, room 27



Прямоугольная система координат в пространстве образуется тремя взаимно перпендикулярными осями координат X , Y и Z . Оси координат пересекаются в точке O , которая называется **началом координат**, на каждой оси выбрано положительное направление, указанное стрелками, и **единица измерения** отрезков на осях.

X — ось абсцисс X — ось абсцисс, Y — ось ординат X — ось абсцисс, Y — ось ординат, Z — ось аппликата.

Прямоугольная система координат



- Положение точки A в пространстве определяется тремя координатами x , y и z .
- Координата x равна длине отрезка OB , координата y — длине отрезка OC , координата z — длине отрезка OD в выбранных единицах измерения.

- Прямоугольная система координат также описывается набором ортов, сонаправленных с осями координат. Количество ортов равно размерности системы координат и все они перпендикулярны друг другу. Такие орты составляют базис, притом ортонормированный.

- В трёхмерном случае такие орты обычно обозначаются

$\mathbf{i}, \mathbf{j}$ и $\mathbf{k}$ или $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y$ и $\mathbf{e}_z$.

Могут также применяться обозначения со стрелками $\hat{i}, \hat{j}$ и $\hat{k}$ или другие в соответствии с обычным способом обозначения векторов в той или иной литературе.

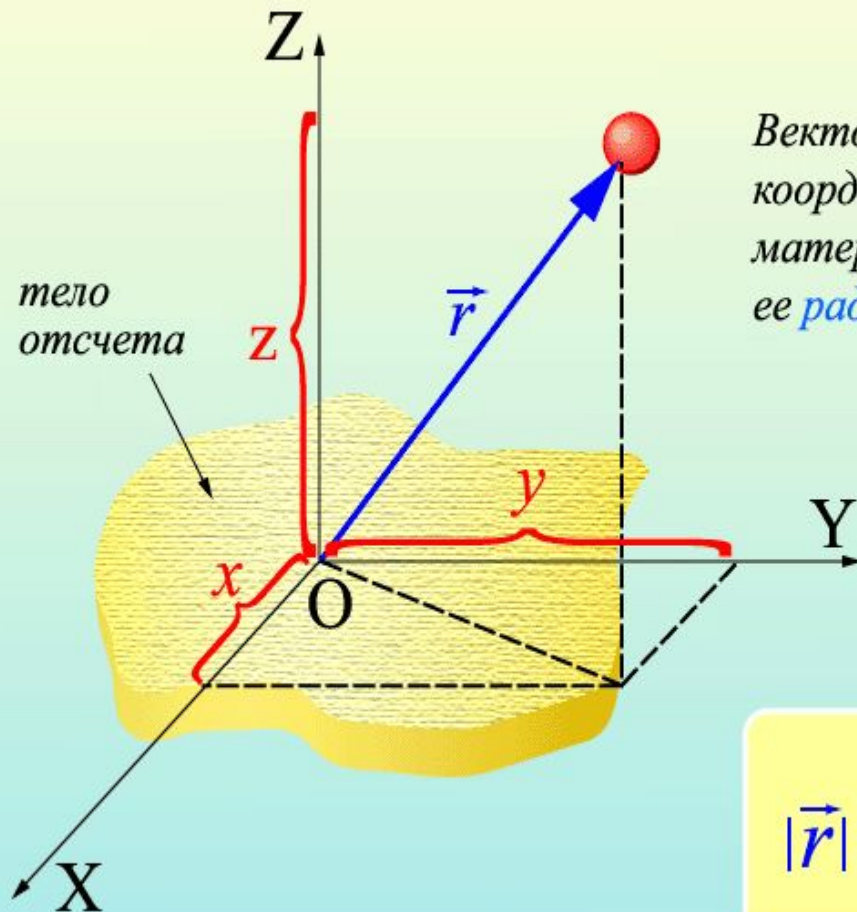
Радиус-вектор и координаты точки



- Координата x называется **абсциссой** точки A , координата y — **ординатой** точки A , координата z — **аппликатой** точки A . Символически это записывают так:
 $A(x, y, z)$
или привязывают запись координат к конкретной точке с помощью индекса:
 x_A, y_A, z_A

Радиус-вектор и его модуль

Радиус-вектор материальной точки



Вектор $\vec{r}$, проведенный из начала координат в место расположения материальной точки, называется ее *радиус-вектором*

$$|\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

МЕХАНИКА

Система отсчета

Движение - относительно, и для его описания необходимо:

ТЕЛО ОТСЧЕТА

тело, которое в данной задаче принято за неподвижное

СИСТЕМА КООРДИНАТ

положение точки M в пространстве можно описать
либо с помощью радиус-вектора $\vec{r}$,
либо с помощью координат x, y, z .

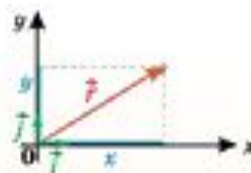
Прямолинейное
движение



$$\vec{r} = x\vec{i}$$

$$r = x$$

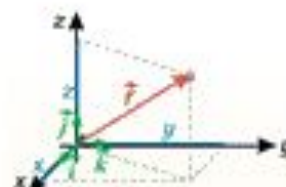
Плоское движение



$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Общий случай



$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - единичные векторы (орты)

ЧАСЫ



• для отсчета времени

ТЕЛО
ОТСЧЕТА

+

СИСТЕМА
КООРДИНАТ

+

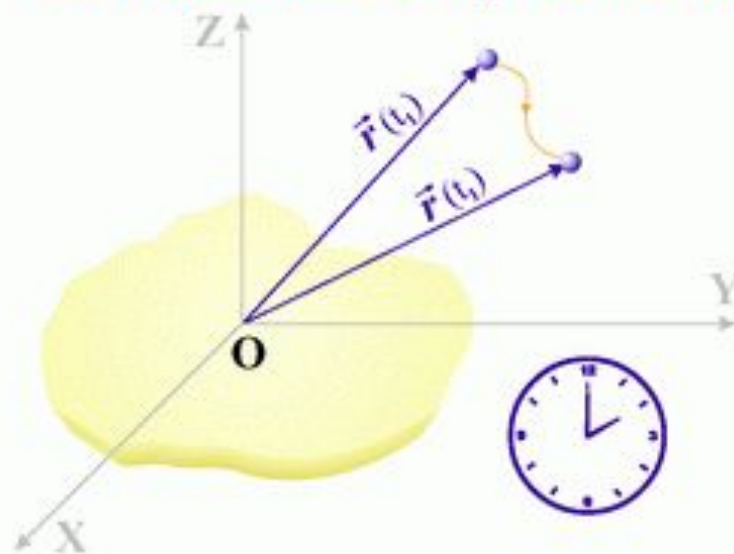
ЧАСЫ

=

СИСТЕМА
ОТСЧЕТА

МЕХАНИКА

Система отсчета Закон движения материальной точки



Для количественного описания изменений положения тела во времени кроме тела отсчета и системы координат необходимо располагать прибором для измерения времени - часами

Тело отсчета, система координат и часы образуют **систему отсчета**:

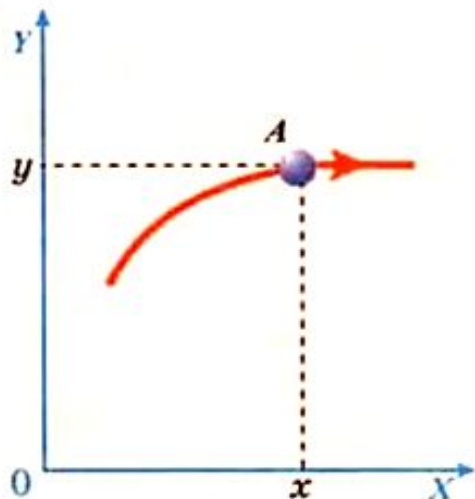
Система отсчета = тело отсчета + система координат + часы

Закон движения материальной точки задан, если для каждого момента времени t известен ее радиус-вектор $\vec{r}(t)$ или координаты $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$

Система координат, перемещение, скорость, ускорение

КОООДИНАТНЫЙ СПОСОБ ЗАДАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ

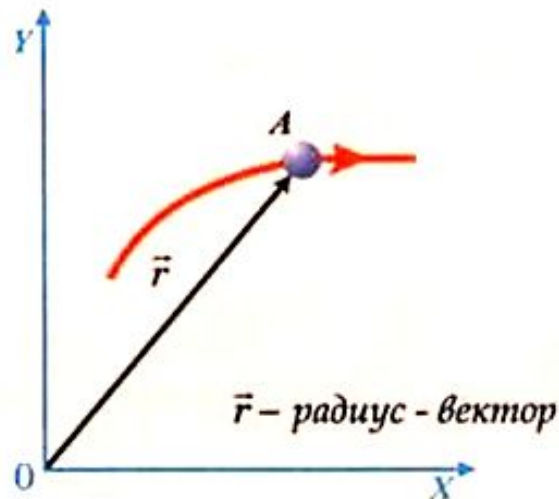
①



$\begin{cases} x(t) \\ y(t) \end{cases}$ — закон движения
в координатной форме

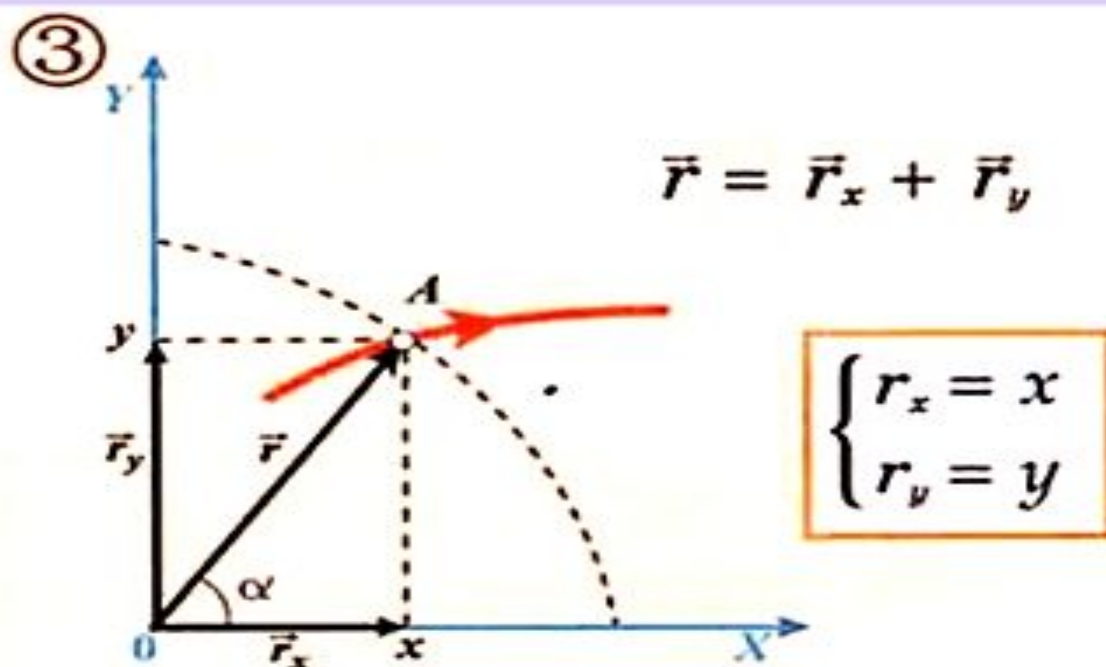
ВЕКТОРНЫЙ СПОСОБ ЗАДАНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ

②



$\vec{r}(t)$ — закон движения
в векторной форме

СВЯЗЬ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ В КООРДИНАТНОЙ И ВЕКТОРНОЙ ФОРМАХ



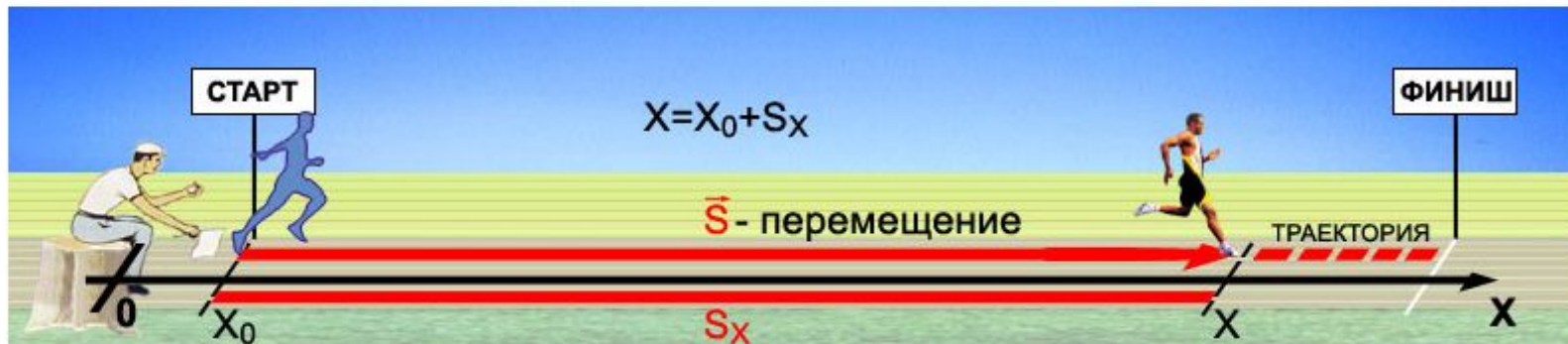
$\vec{r}_x, \vec{r}_y$ — компоненты вектора $\vec{r}$
на оси X и Y
(векторные величины)

r_x, r_y — проекции вектора $\vec{r}$
на оси X и Y (скалярные
величины)

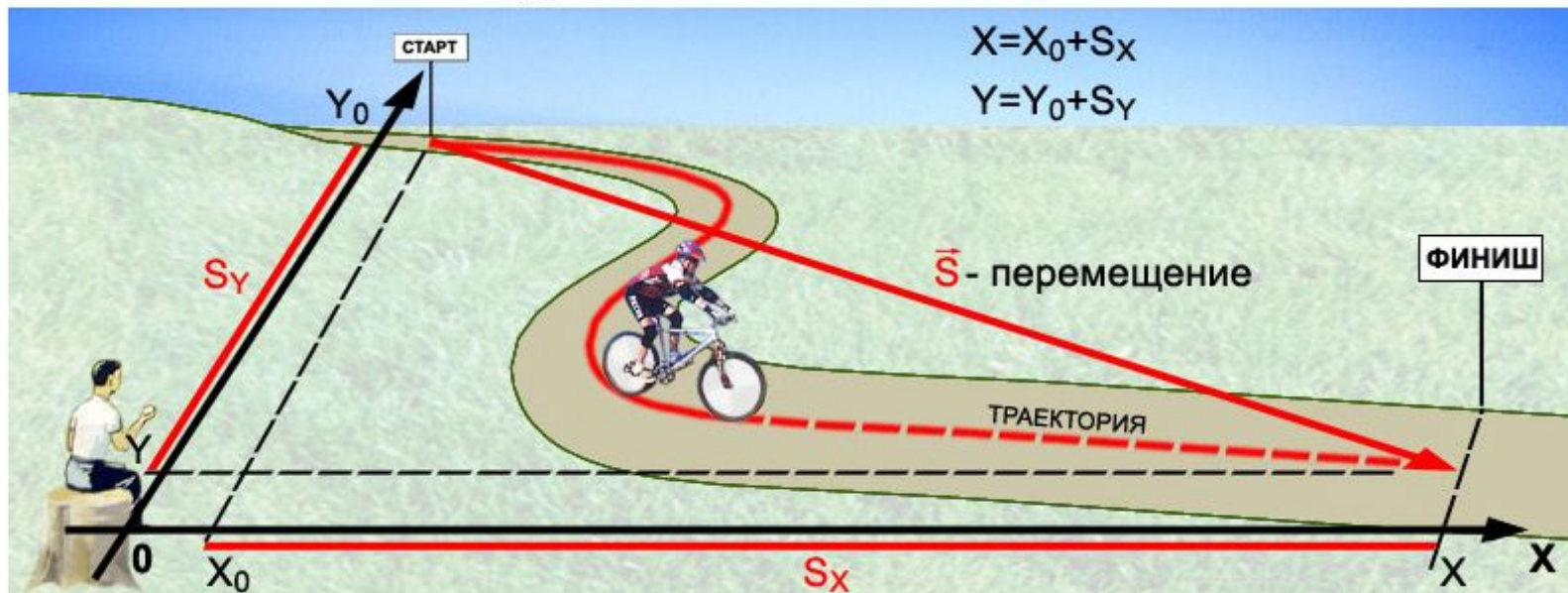
Траектория, путь и перемещение

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА (ТОЧКИ)

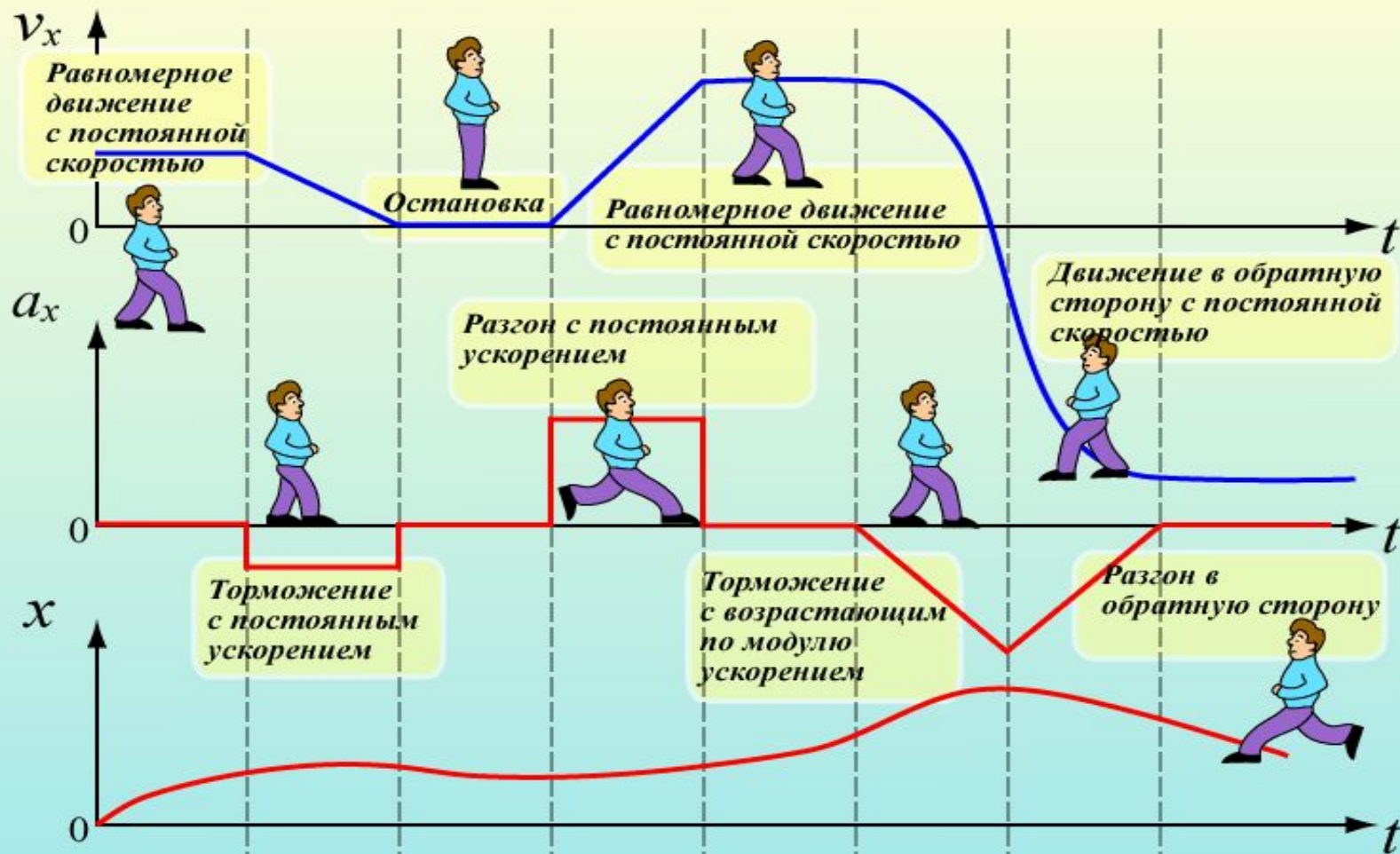
1. ДВИЖЕНИЕ ПО ПРЯМОЙ



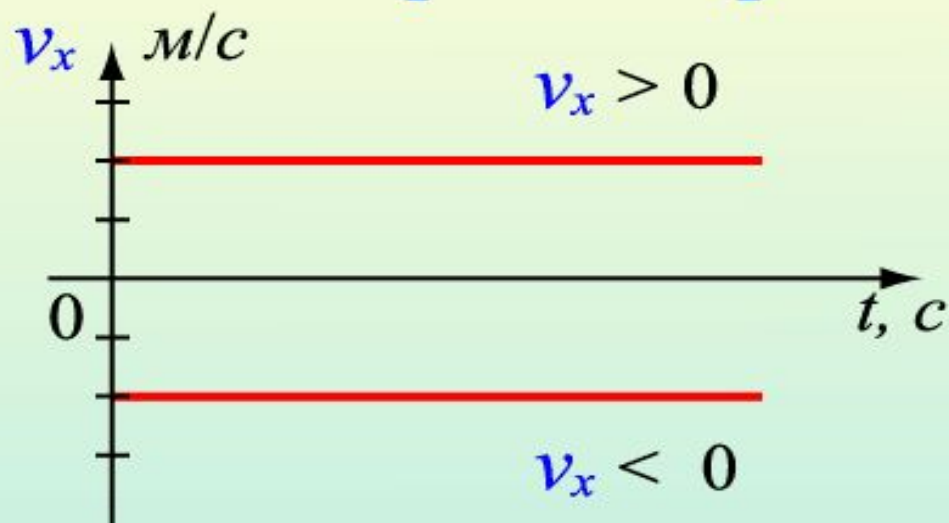
2. ДВИЖЕНИЕ ПО ПЛОСКОСТИ



Графическое описание движения



Графическое представление равномерного движения



$$v_x = \text{const}$$

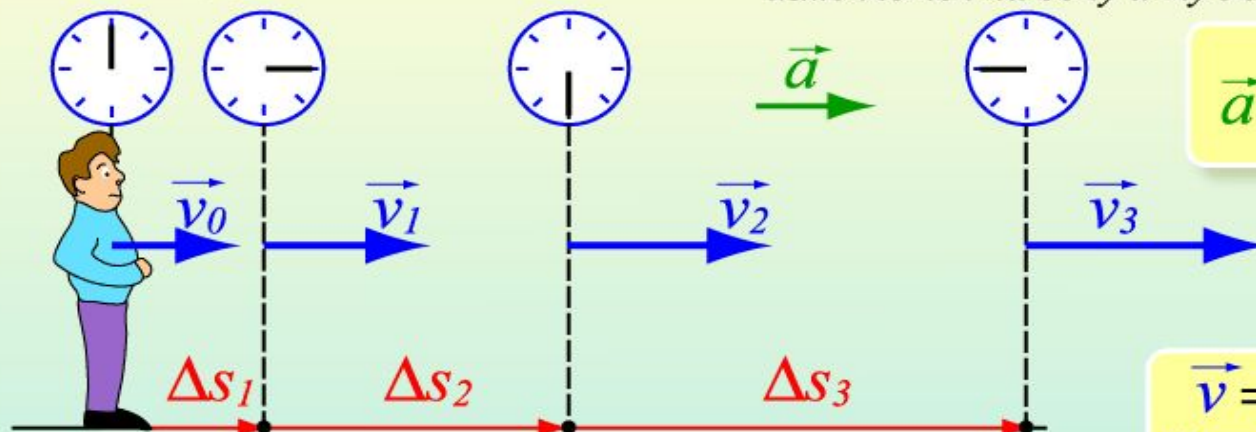
Путь численно равен
площади прямоугольника



$$S = v_x \cdot t$$

Равнопеременное движение

движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени изменяется на одну и ту же величину



$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

$$\frac{\Delta \vec{v}_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta \vec{v}_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta \vec{v}_3}{\Delta t_3}$$

$$\vec{a}_1 = \vec{a}_2 = \vec{a}_3$$

$$a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} \quad a_2 = \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \quad a_3 = \frac{\Delta v_3}{\Delta t_3}$$

Равнопеременное движение – движение с постоянным ускорением

$$\vec{s} = \vec{v}t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$$

$$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

сложение скоростей в классической механике

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЙ (ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫ)

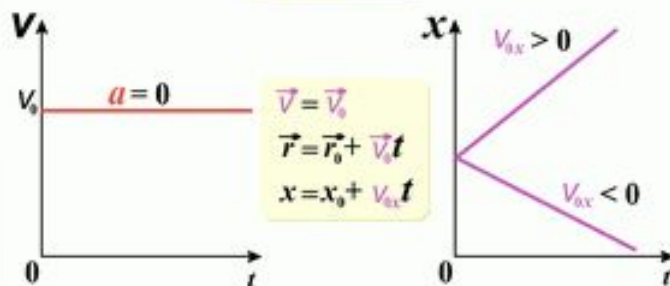


МЕХАНИКА

Прямолинейное движение

Равномерное движение

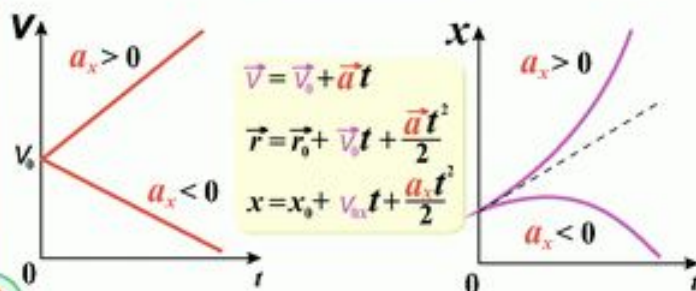
$$(\vec{v} = \text{const})$$



$$\begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}_0 \\ \vec{r} &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t \\ x &= x_0 + v_{0x} t \end{aligned}$$

Равнопеременное движение

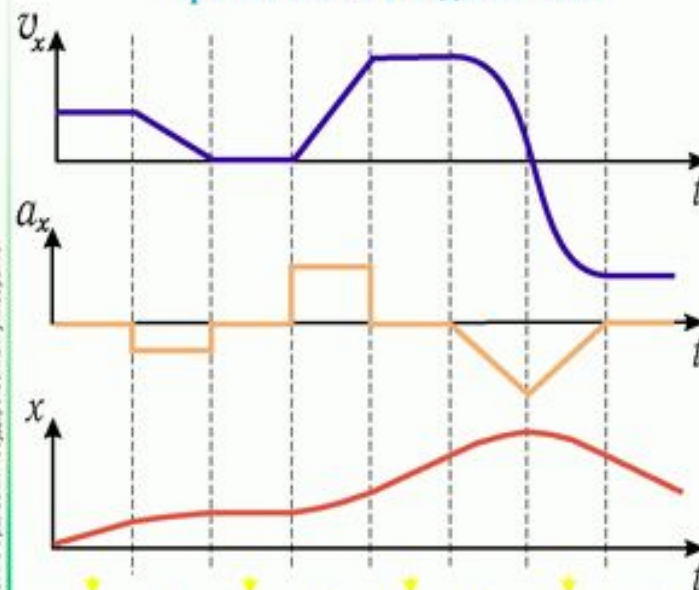
$$(\vec{a} = \text{const})$$



$$\begin{aligned} \vec{v} &= \vec{v}_0 + \vec{a} t \\ \vec{r} &= \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2} \\ x &= x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \end{aligned}$$

МЕХАНИКА

Графическое описание прямолинейного движения



Равномерное движение с постоянной скоростью

Остановка

Равномерное движение с постоянной скоростью

Разгон в обратную сторону

Торможение с постоянным ускорением

Разгон с постоянным ускорением

Торможение с возрастающим по модулю ускорением

Движение в обратную сторону с постоянной скоростью

①

ВЕКТОР МГНОВЕННОГО УСКОРЕНИЯ

Изменение скорости $\Delta \vec{v}$ при криволинейном движении за промежуток времени Δt



МГНОВЕННОЕ УСКОРЕНИЕ -

векторная физическая величина, равная пределу отношения изменения скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло

МЕХАНИКА

Свободное падение тел

Все тела обтекаемой формы при свободном падении приобретают одинаковое ускорение $a = g = 9,8 \frac{м}{с^2}$



$m_2 > m_1$ но $g_{1,2} = const$

Время падения для всех тел в безвоздушном пространстве с одной и той же высоты одинаковое

Итальянский ученый Г.Галилей (1564-1642) опытным путем установил законы инерции, законы свободного падения, движения тела, брошенного под углом к горизонту и др.

ВАКУУМ

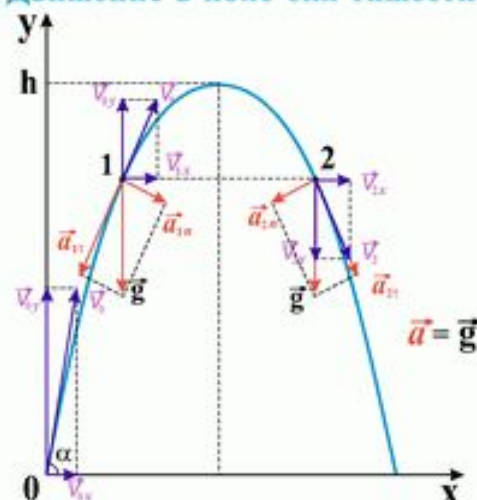
При падении $y = v_{iy}t + \frac{g}{2}t^2$; $v_y = v_{iy} + gt$

При вертикальном взлете $y = v_{iy}t - \frac{g}{2}t^2$; $v_y = v_{iy} - gt$

Высоту можно обозначать буквами y, h, H, l

МЕХАНИКА

Движение в поле сил тяжести



В любой момент времени выполняются следующие соотношения:

$$v_x = v_0 \cos \alpha \quad v_y(t) = v_0 \sin \alpha - gt \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$x(t) = v_{0x} t \quad y(t) = v_{0y} t - \frac{gt^2}{2}$$

$$a_x = g \frac{v_{iy}}{v} \quad a_y = g \frac{v_{iy}}{v} \quad a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

На любой горизонтали:

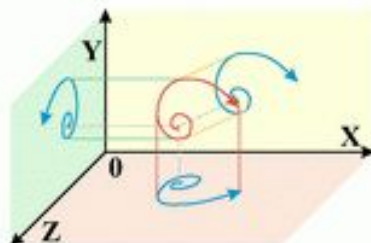
$$v_{1x} = v_{2x} = v_{0x} \quad |\vec{v}_1| = |\vec{v}_2|$$

МЕХАНИКА

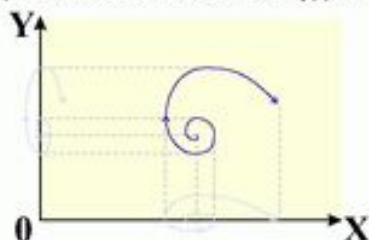
Прямолинейное неравномерное движение



Рене ДЕКАРТ
французский ученый
(1596-1650)



В пространстве любое сложное движение можно спроектировать на плоскости ДЕКАРТОВОЙ системы координат



А в плоскости любое сложное по траектории движение можно спроектировать на координатные оси X, Y, Z

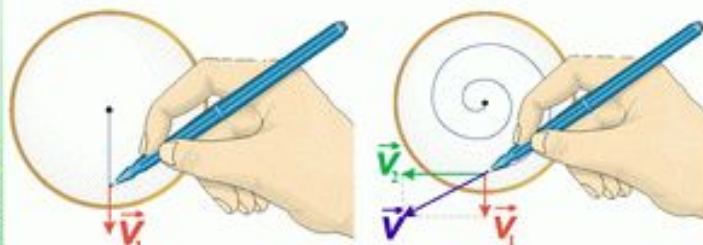
Сложное по траектории движение можно представить как совокупность **прямолинейных движений** вдоль осей координат

МЕХАНИКА

Движение на вращающемся теле

Опыт:

Круг из чистой бумаги наклеим на пластмассовый диск, закрепленный на оси электродвигателя с редуктором, уменьшающим число оборотов в секунду



ДИСК НЕПОДВИЖЕН

Траектория грифеля - прямая
(вдоль вертикального радиуса)

ДИСК ВРАЩАЕТСЯ

Траектория грифеля - спираль

Движение грифеля на вращающемся диске складывается из двух движений:

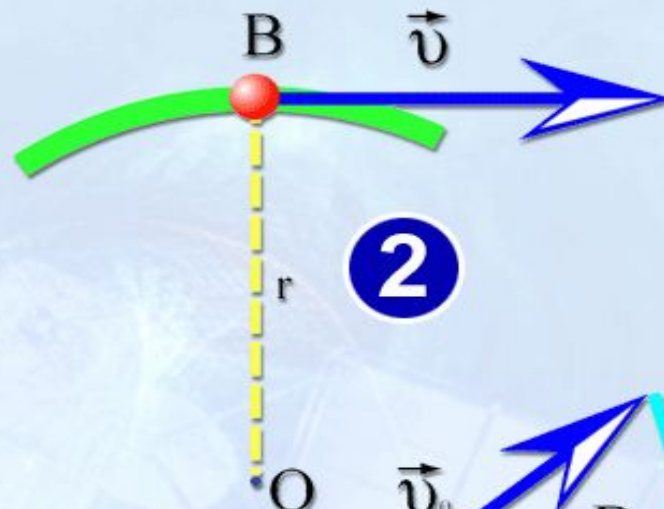
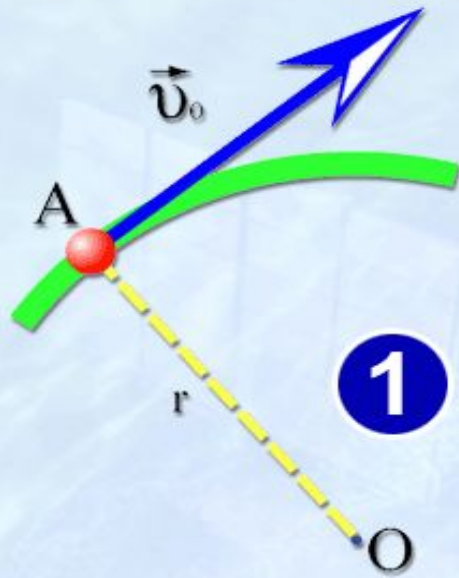
1 - из равномерного прямолинейного движения грифеля со скоростью $\vec{v}_1$;

2 - и движения относительно вращающегося диска со скоростью $\vec{v}_2$, касательной к траектории

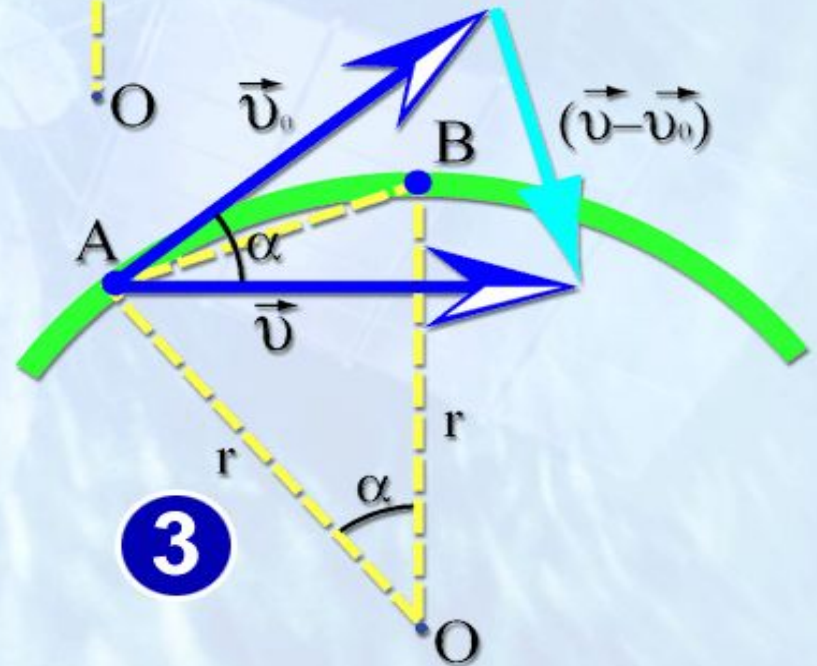
Вектор $\vec{v}$ результирующей скорости

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$$

Движение МТ по окружности

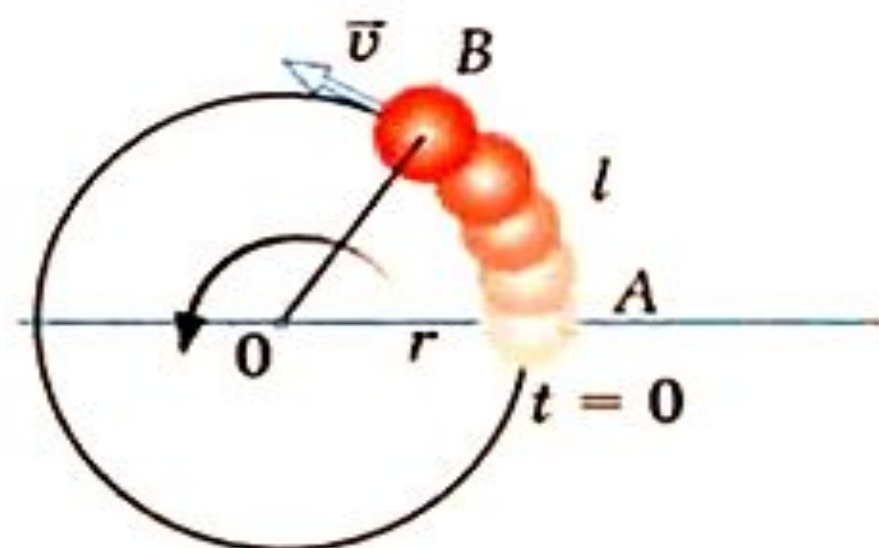


$$|\vec{a}| = \frac{|\vec{v}|^2}{r}$$



①

1. По пройденному ею пути l
по окружности



Период вращения T –
время
одного оборота
по окружности

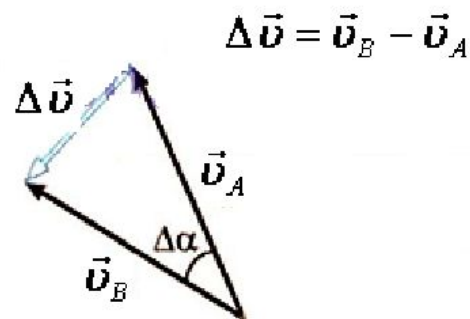
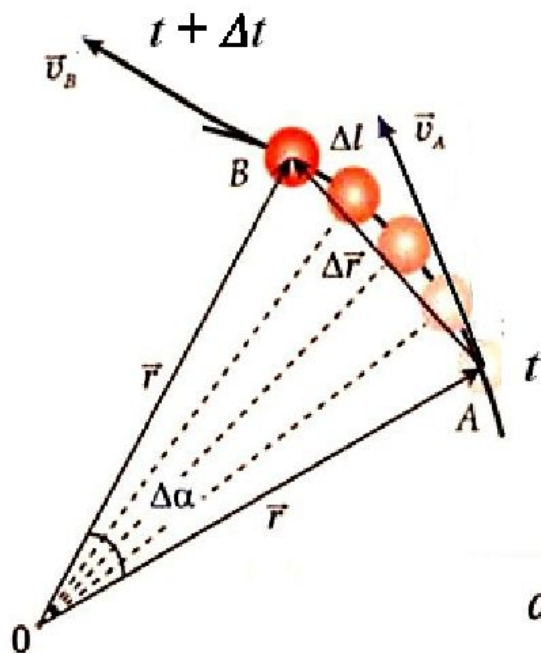
$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

Вращательное движение МТ

④

Ускорение при равномерном движении частицы по окружности

а) при $\Delta v \rightarrow 0$, $\Delta \alpha \rightarrow 0$; б) при $\Delta t \rightarrow 0$, $\Delta \vec{v} \perp \vec{v}_A$, $\Delta \vec{v} \perp \vec{v}_B$

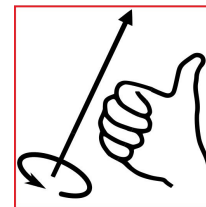
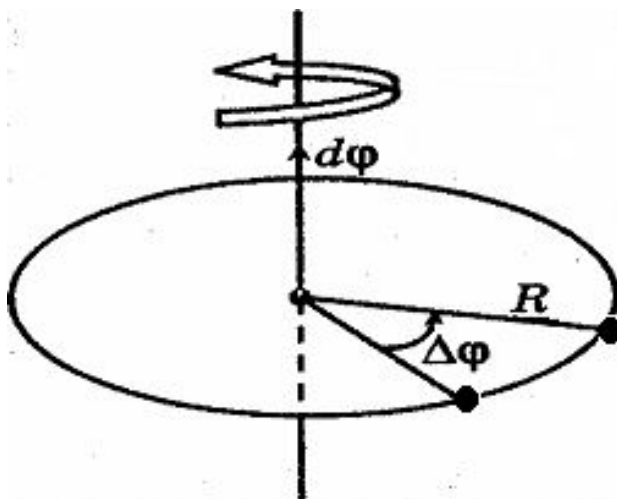


$$\frac{\Delta v}{\Delta r} = \frac{v}{r} \Rightarrow \Delta v = \frac{v}{r} \Delta r$$

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{r} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$$

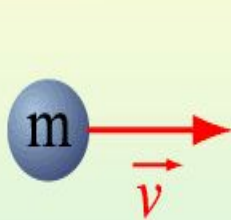
$$a_n = \frac{v^2}{r} = \omega^2 r = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 \nu^2 r$$

Направление углового перемещения при вращательном движении материальной точки



Лекция 2. Основы динамики

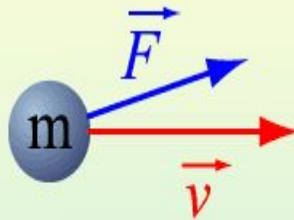
Законы Ньютона



$$\vec{v} = \text{const}$$

I закон

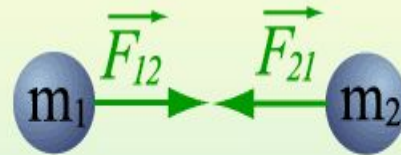
Существуют такие системы отсчета, в которых всякое тело будет сохранять первоначальное состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения до тех пор, пока действие других тел не заставит его изменить это состояние.



$$\vec{F} = m\vec{a}$$

II закон

Под действием силы тело приобретает такое ускорение, что его произведение на массу тела равно действующей силе.

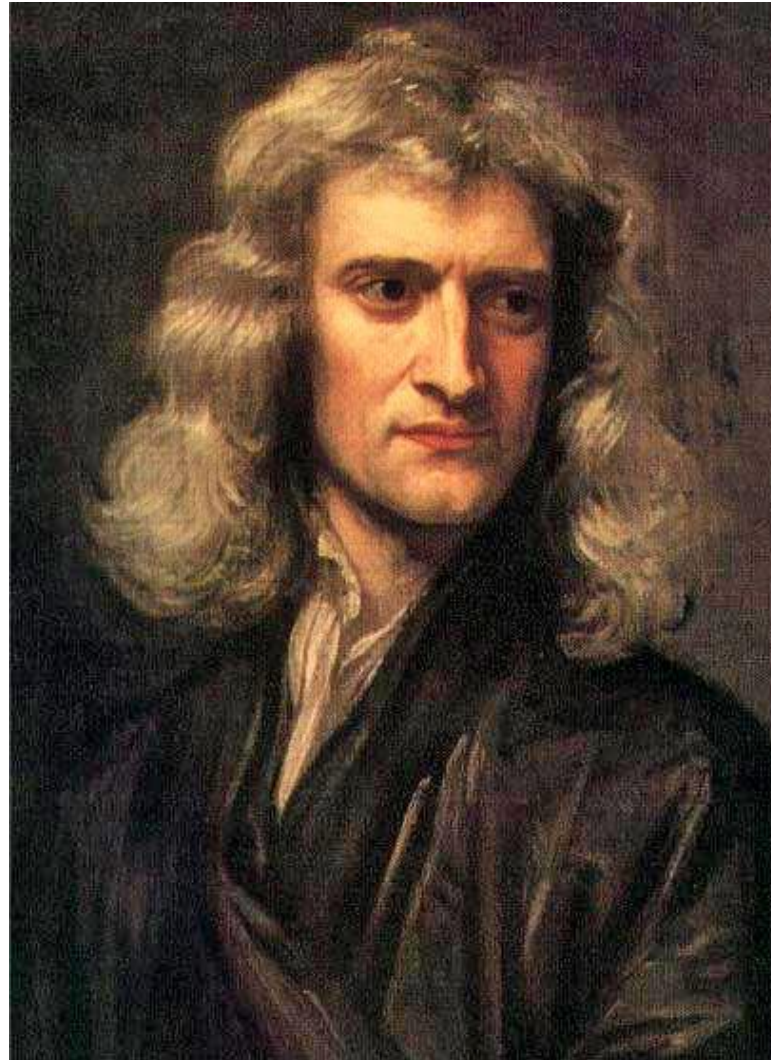


$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

III закон

Силы, с которыми взаимодействующие тела действуют друг на друга, равны по модулю и направлены по одной прямой в противоположные стороны.

НЬЮТОН Исаак. (4.I 1643 — 31.III 1727). Английский физик, астроном и математик, член Лондонского королевского общества (1672), его президент (с 1703). Один из основоположников современного естествознания.



Второй закон Ньютона

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$\vec{a}$ – ускорение тела, м/с²

$\vec{F}$ – сила, действующая на тело, Н

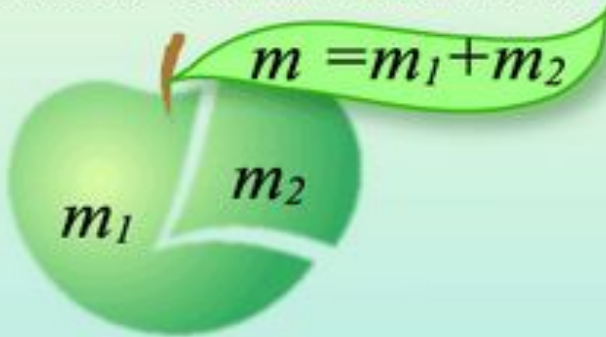
m – масса тела, кг

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

Свойства массы

Классическая механика

1. Выполняется закон сохранения массы и энергии.
2. Масса не зависит от скорости движения тела.
3. Масса – величина аддитивная.



$$m_{\text{системы}} = \sum_{i=1}^N m_i$$

Релятивистская механика

1. Выполняется закон сохранения массы и энергии.

$$m = m_0 + \frac{E}{c^2}$$

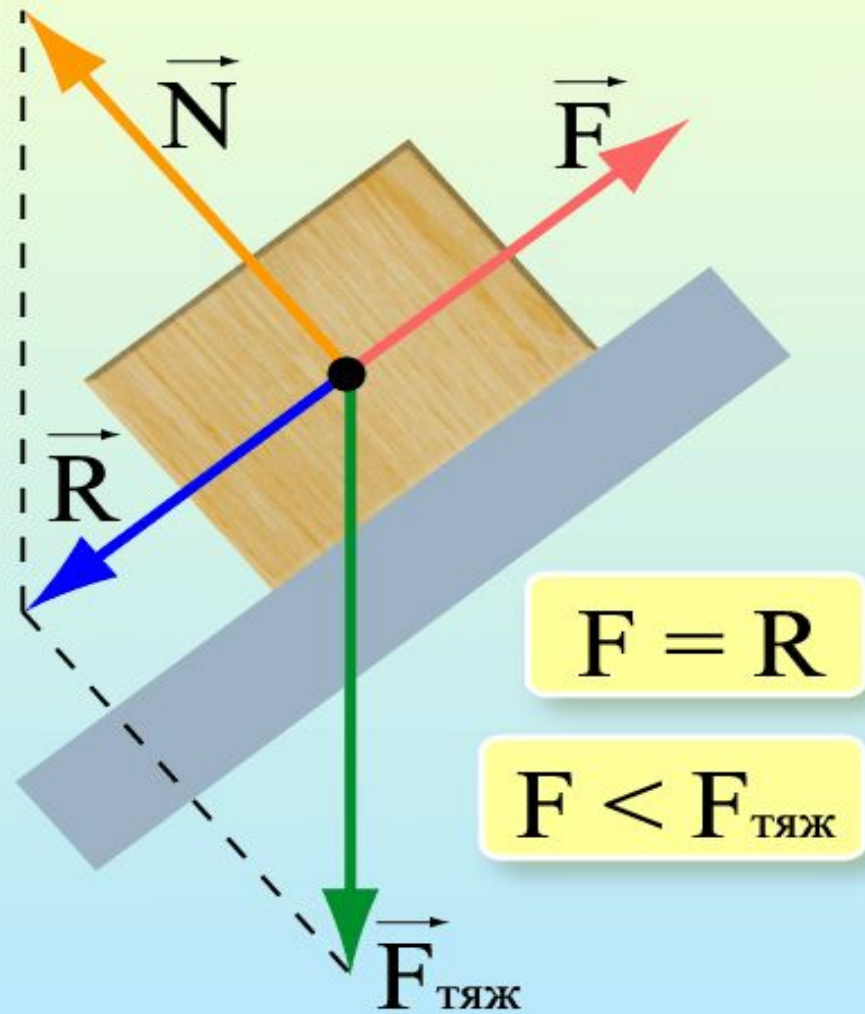
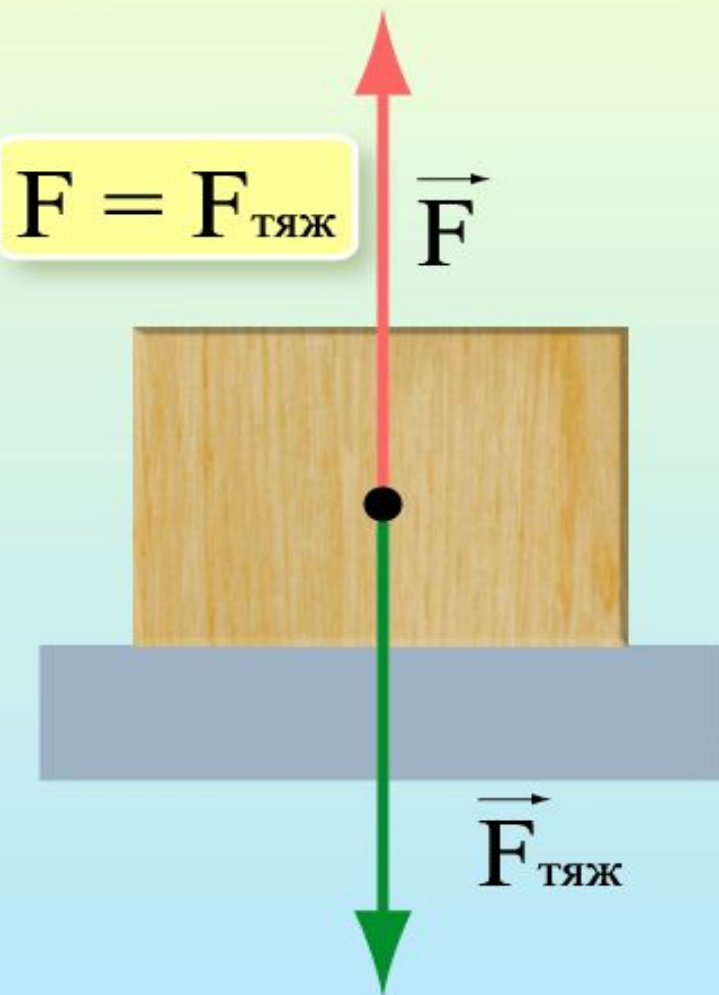
2. Масса зависит от скорости.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

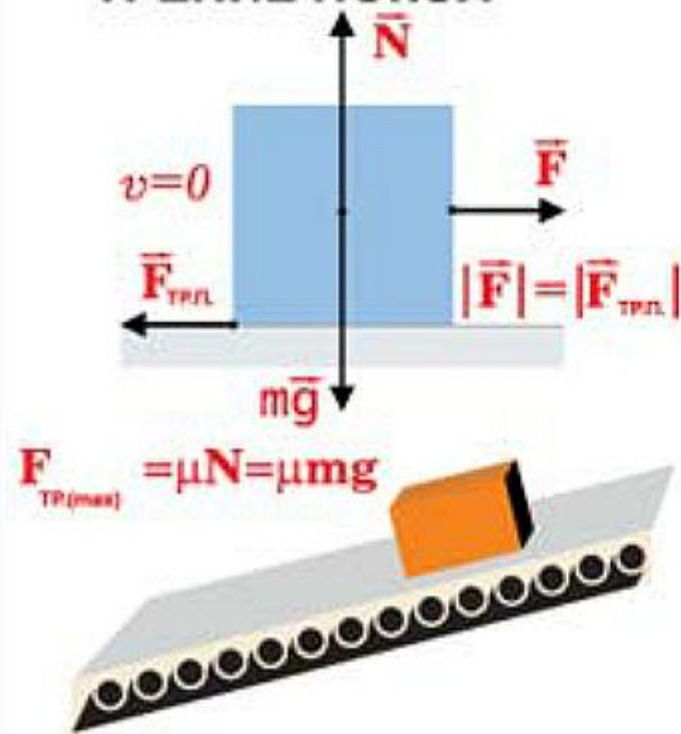
3. Масса – величина неаддитивная.

Масса ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс составляющих его протонов и нейтронов.

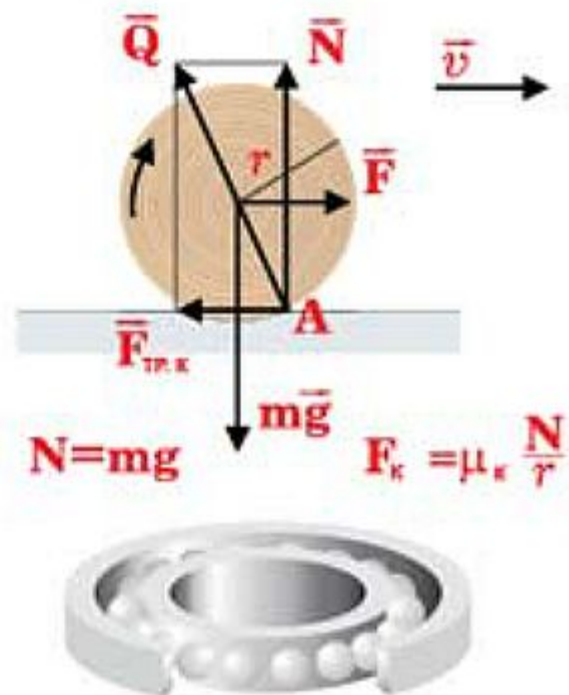
Сила



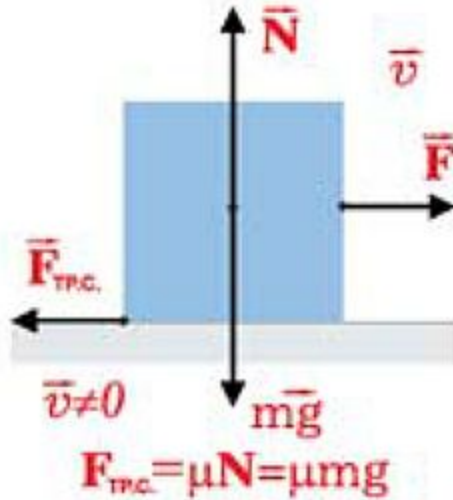
ТРЕНИЕ ПОКОЯ



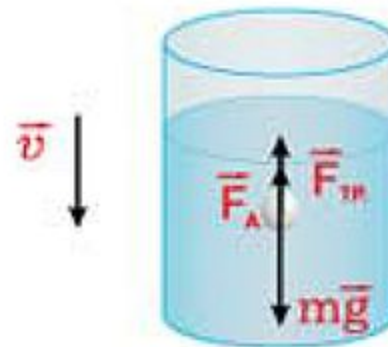
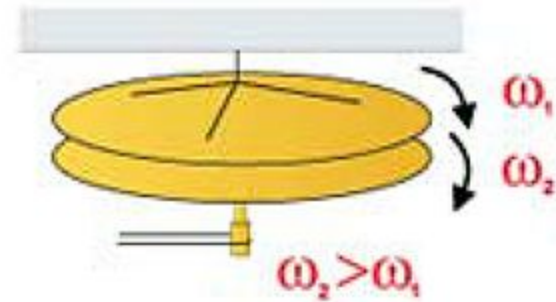
ТРЕНИЕ КАЧЕНИЯ



ТРЕНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ

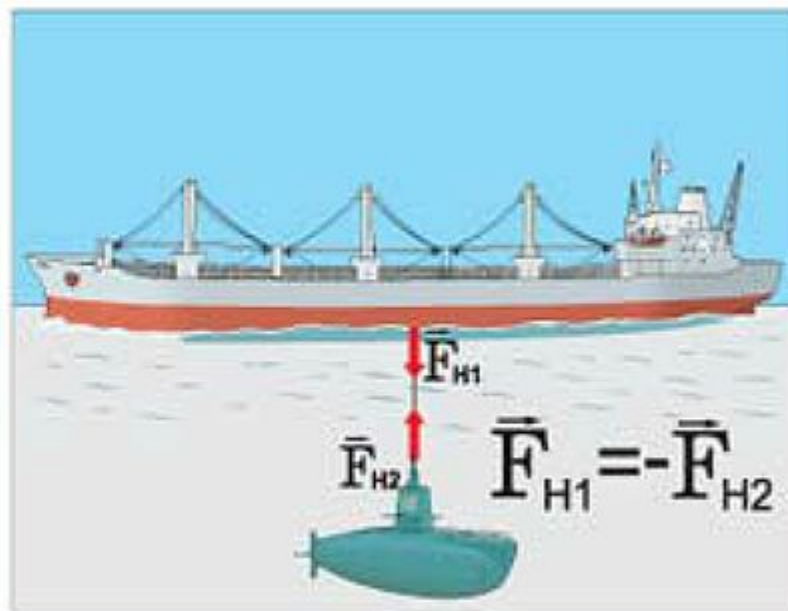
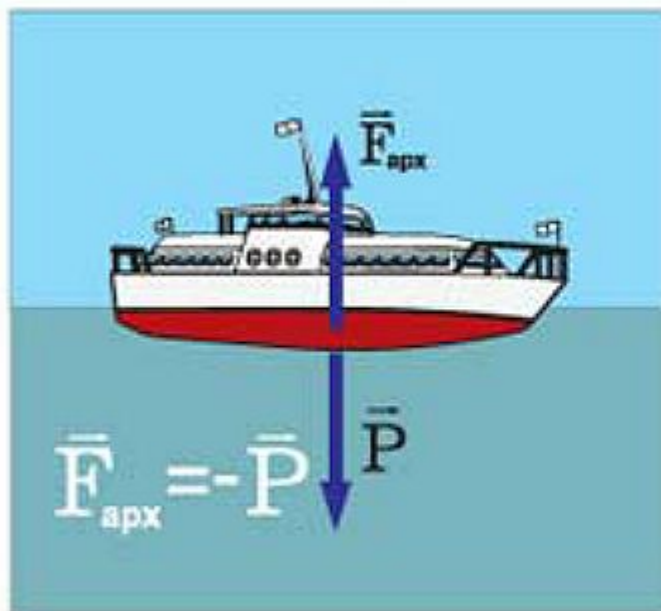


ТРЕНИЕ В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ



$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_{\text{тр}} = 0$$

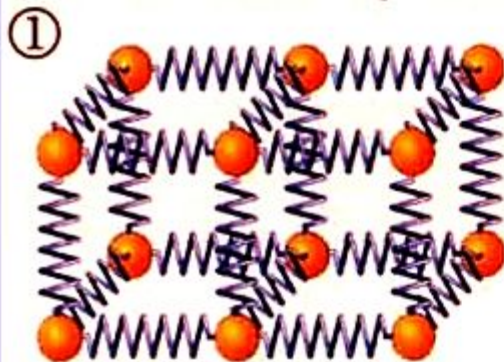
$$F_{\text{тр}} = \alpha v \quad F_{\text{тр}} = \beta v^2$$



СИЛА УПРУГОСТИ – сила, возникающая при деформации тела и направленная противоположно направлению смещения частиц при деформации

УПРУГИЕ ДЕФОРМАЦИИ ТЕЛ

Механическая модель кристалла



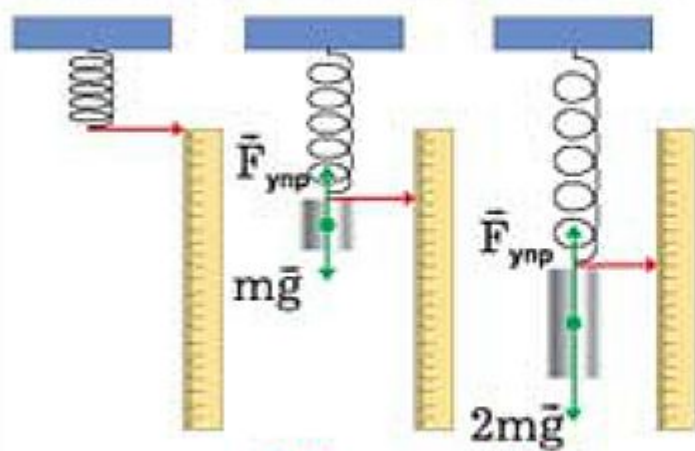
Сила упругости восстанавливает первоначальные размеры и форму тела

Сжатие воздушного шарика под действием силы $\vec{F}$ и силы реакции $\vec{N}_2$ стены



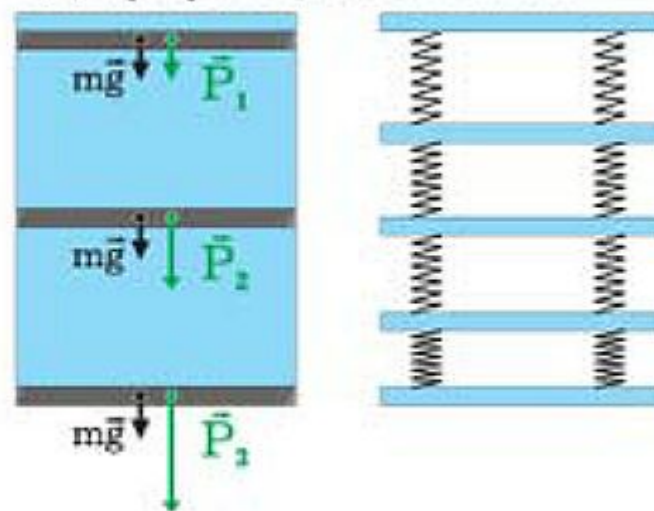
Сила реакции опоры –
– сила упругости,
действующая
на тело
со стороны опоры
перпендикулярно
ее поверхности

Деформация растяжения



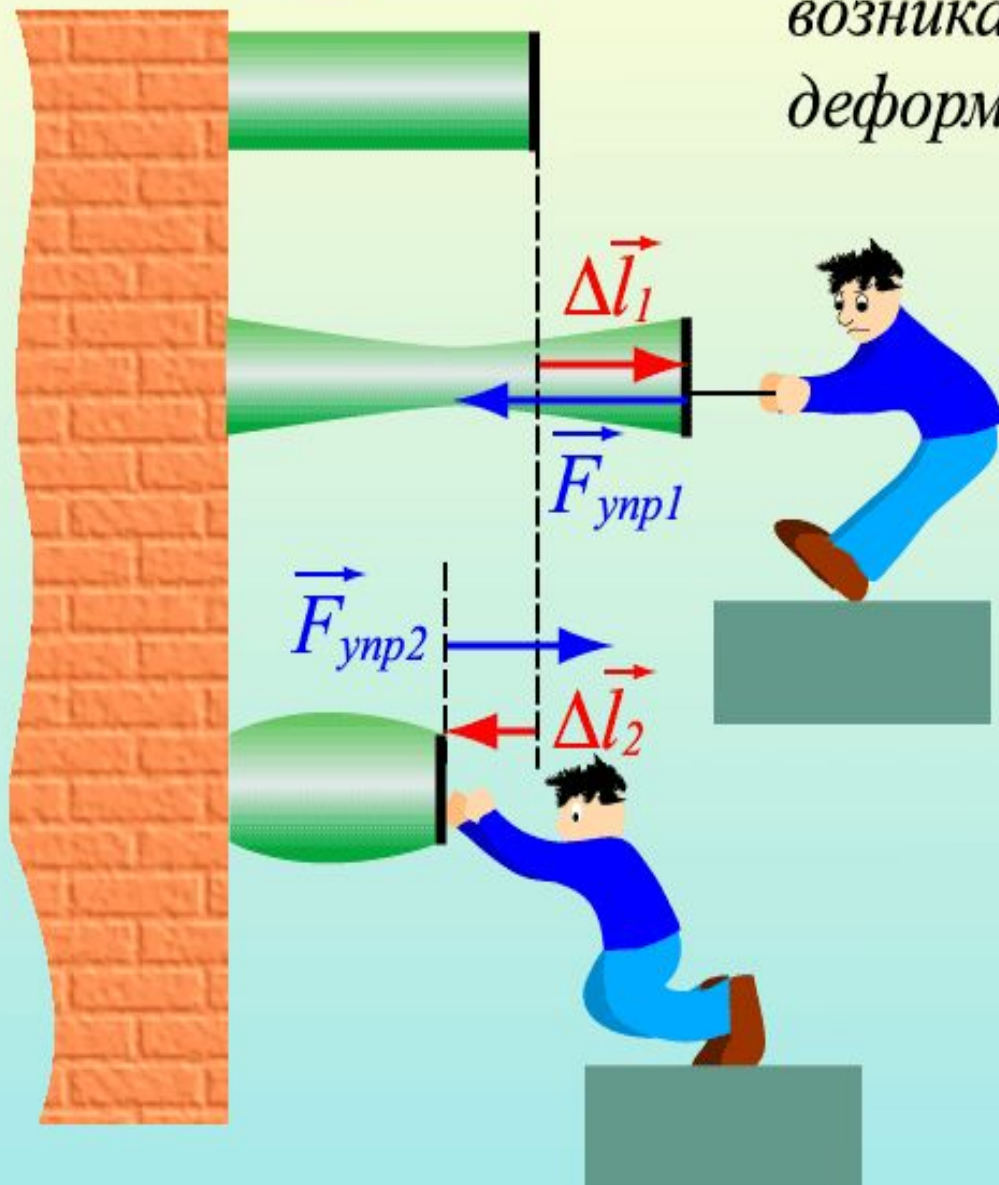
$$F_{упр} = -kx$$

Деформация сжатия



Сила упругости

Упругие силы – силы, возникающие при упругой деформации тел



Закон Гука

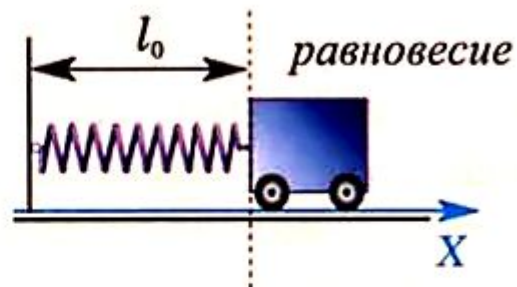
$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta\vec{l}$$

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

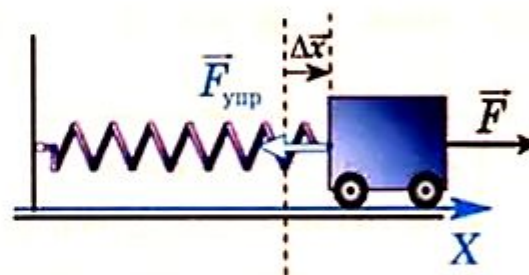
Потенциальная энергия упруго деформированного тела

Упругие силы растяжения и сжатия в пружине под действием внешней силы

а) нерастянутая пружина

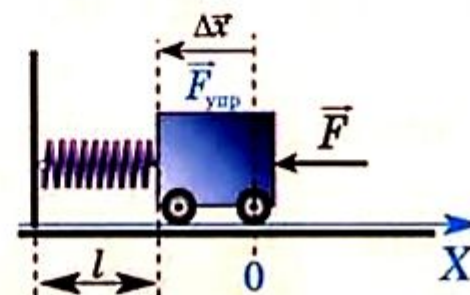


б) растянутая пружина



$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta \vec{x}$$

в) сжатая пружина



ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Между любыми двумя материальными точками действует сила взаимного притяжения, прямо пропорциональная произведению масс этих точек и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними

$$\textcircled{2} \quad F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G – гравитационная постоянная (коэффициент пропорциональности, одинаковый для всех тел)

①

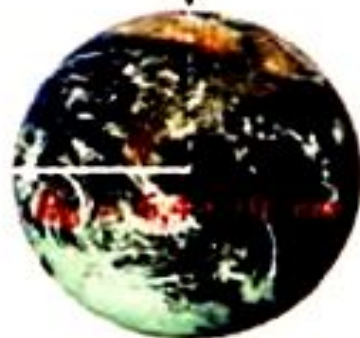


$$a_n = 0,0027 \text{ м/с}^2$$

$$\frac{R_{\oplus}}{r} = \frac{1}{60}$$

$$r = 384\,000 \text{ км}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2 \quad a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 0,0027 \text{ м/с}^2$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{a_n}{g} = \frac{0,0027 \text{ м/с}^2}{9,8 \text{ м/с}^2} = \frac{1}{3600} \\ \left(\frac{R_{\oplus}}{r} \right)^2 = \left(\frac{1}{60} \right)^2 = \frac{1}{3600} \end{array} \right.$$

$$a_n \sim F_g \sim \frac{1}{r^2}$$

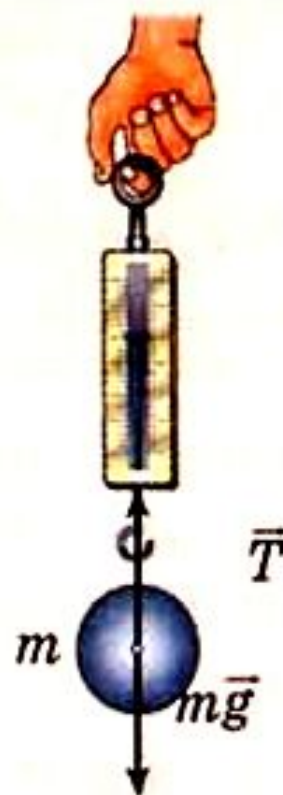
ВЕС ТЕЛА – суммарная сила упругости тела, действующая при наличии силы тяжести на все опоры, подвесы

ВОЗНИКНОВЕНИЕ СИЛЫ УПРУГОСТИ ПРИ ПОДВЕШИВАНИИ ТЕЛА

Измерение веса тела

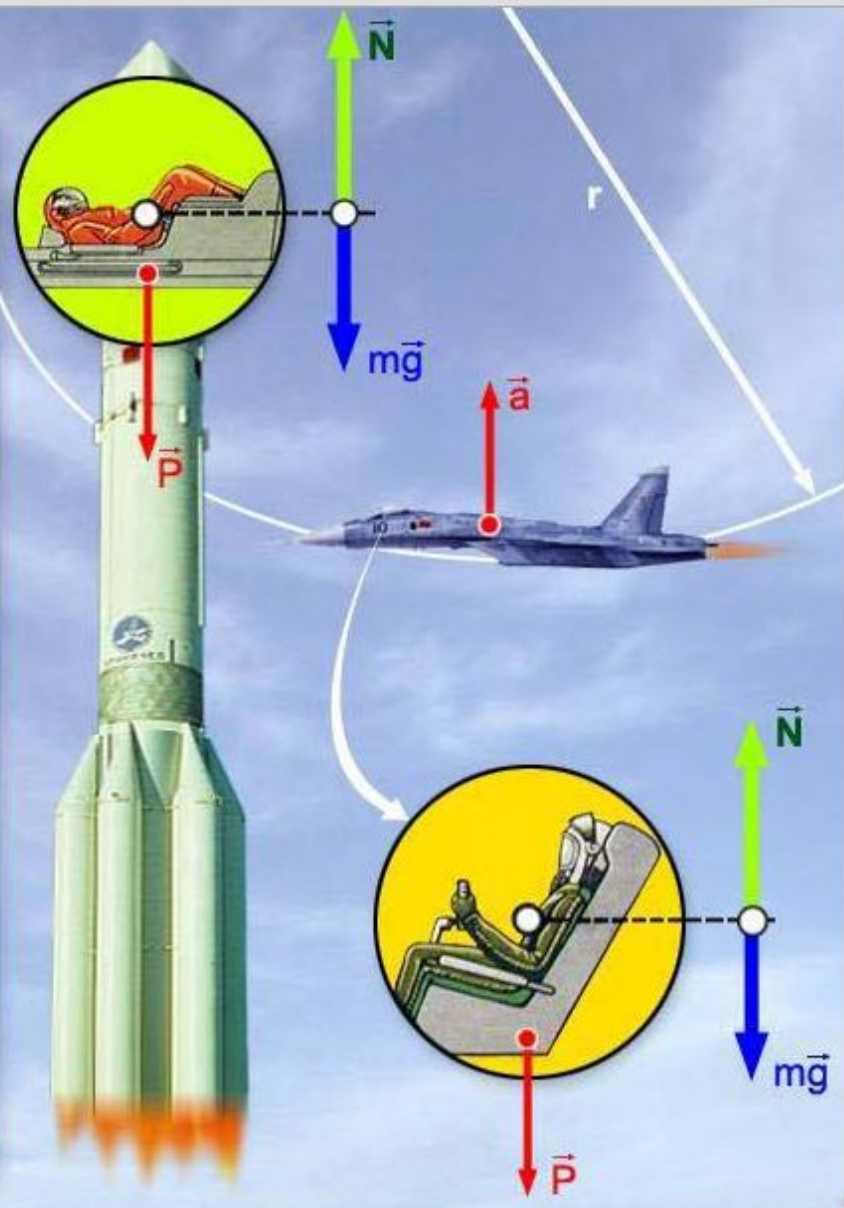
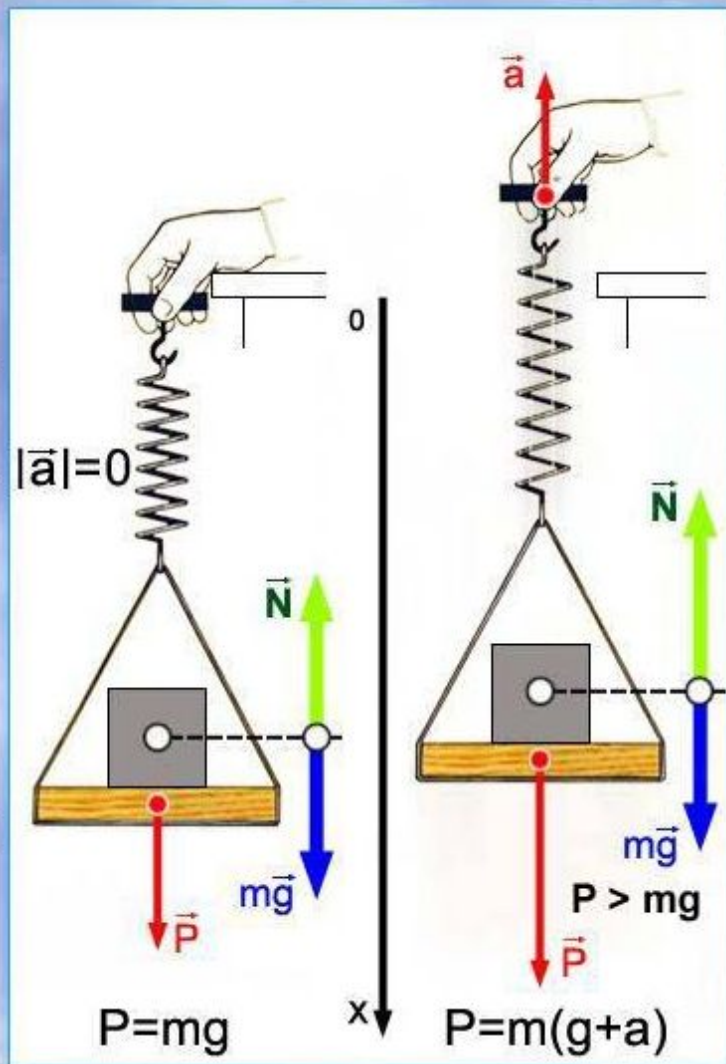
④

$$\vec{T} = m\vec{g}$$



Сила и вес тела

ПЕРЕГРУЗКИ



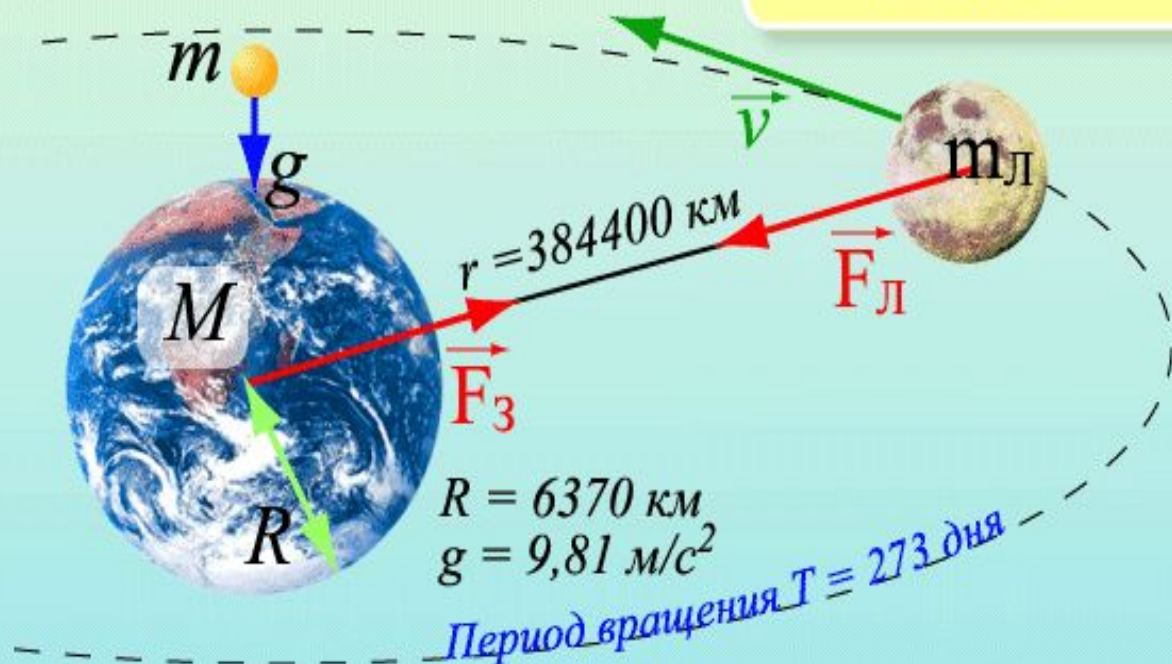
Центростремительное ускорение Луны

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

$$m_{\text{Л}} a = \gamma \frac{M m_{\text{Л}}}{r^2}$$

$$m g = \gamma \frac{m M}{R^2}$$

$$a = g \left(\frac{R}{r} \right)^2 \approx 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$



Совпадение $a_{\text{цс}}$ и a убедило Ньютона в справедливости закона

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПРИТЯЖЕНИЕ

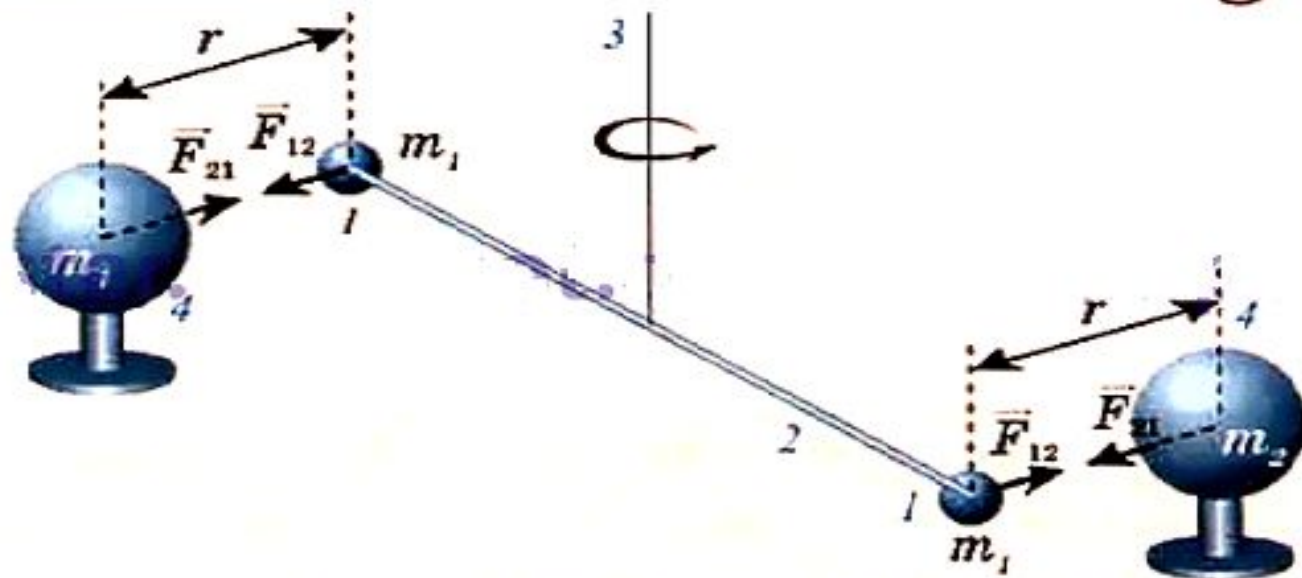
*Совпадение нормального ускорения Луны, вращающейся вокруг Земли, с ускорением, приобретаемым Луной под действием силы притяжения к Земле
убедило Ньютона в справедливости закона тяготения*

*Сила гравитационного притяжения двух тел
обратно пропорциональна квадрату расстояния
между ними*

Принципиальная схема опыта Кавендиша по определению гравитационной постоянной

Крутильные весы

③



1 – шарики, имеющие одинаковую массу m_1

2 – легкое коромысло

3 – упругая нить

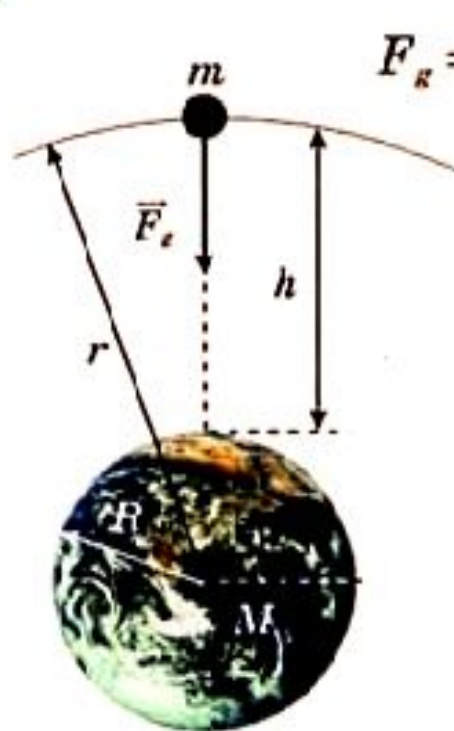
4 – массивные шары массой m_2

Под действием сил притяжения малых шаров к большим коромысло поворачивается. По углу закручивания нити определяется сила гравитационного притяжения F_{12} шариков массами m_1 и m_2

СИЛА ТЯЖЕСТИ

Гравитационная сила в поле тяжести Земли

①



$$F_g = G \frac{mM_{\oplus}}{r^2} = G \frac{mM_{\oplus}}{(R_{\oplus} + h)^2}$$

При $h \ll R_{\oplus}$

$$F_g = G \frac{mM_{\oplus}}{R_{\oplus}^2}$$

$$F_g = mg$$

*Сила тяжести – гравитационная сила,
действующая на тело*

УСКОРЕНИЕ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

При $h \ll R_{\oplus}$

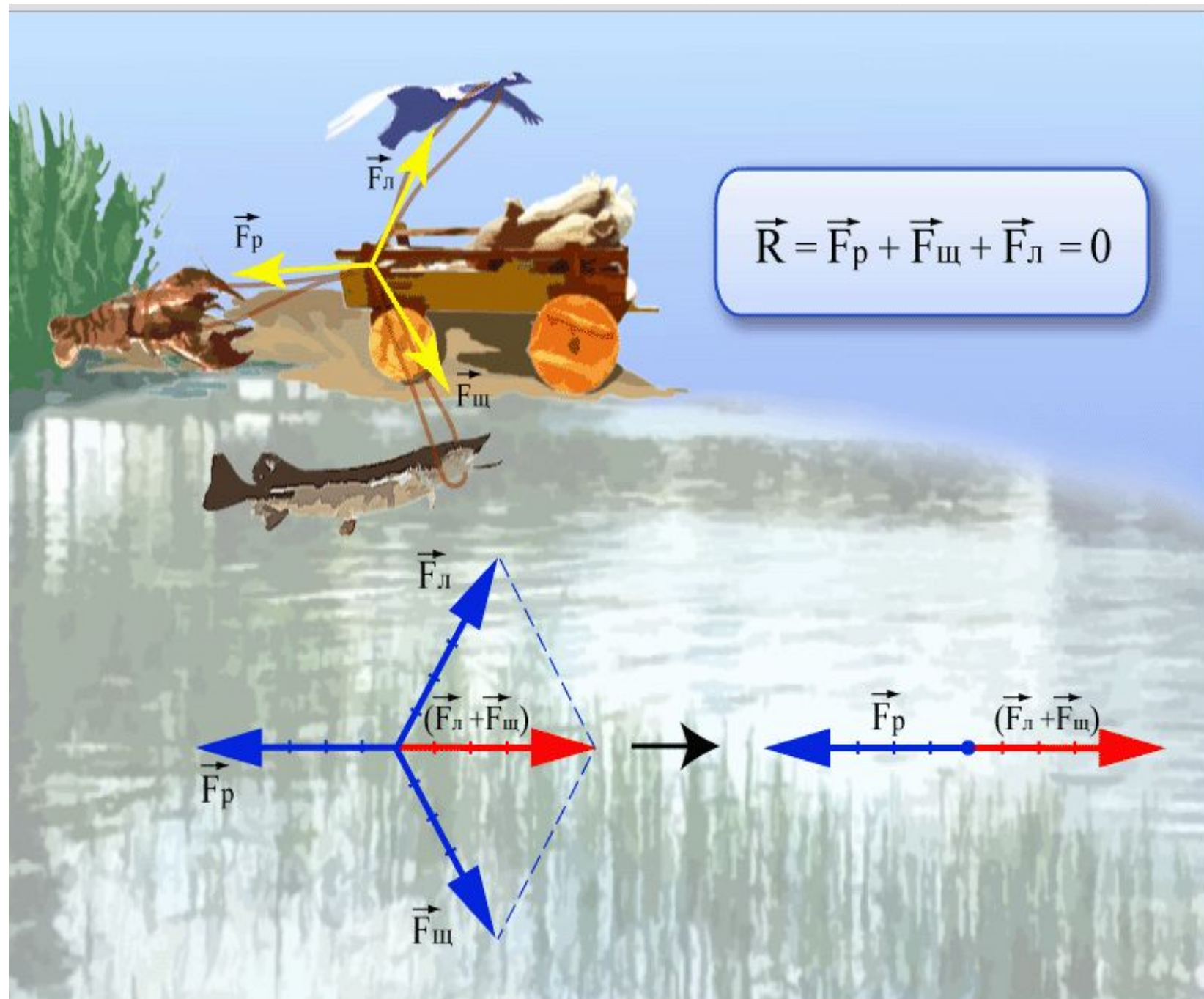
$$\textcircled{2} \quad a_g = g = \frac{F_g}{m} = G \frac{M_{\oplus}}{R_{\oplus}^2} = 9,8 \text{ м/с}^2$$

Ускорение свободного падения (гравитационное ускорение) – ускорение, приобретаемое телом под воздействием гравитационной силы вблизи поверхности небесных тел (планет, звезд)

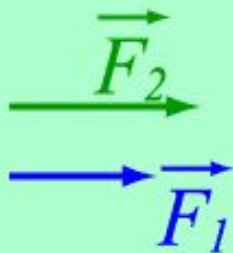
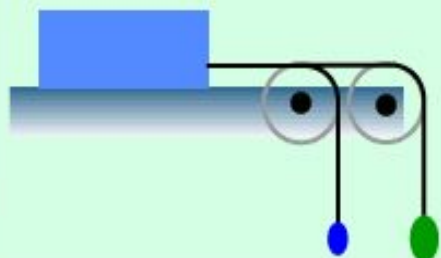
ГРАВИТАЦИОННОЕ УСКОРЕНИЕ НА ПЛАНЕТАХ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

③

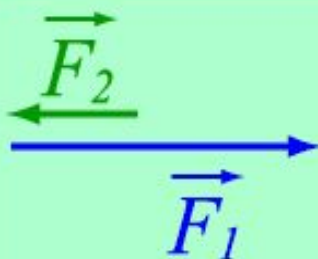
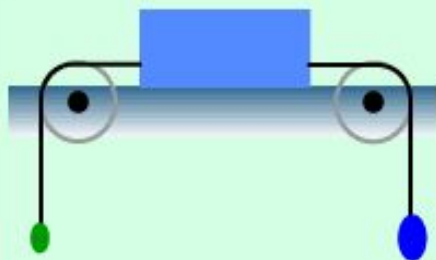
<i>Планета</i>	<i>Гравитационное ускорение, м/с²</i>
Меркурий	3,7
Венера	8,9
Земля	9,8
Луна	1,6
Марс	3,7
Юпитер	26
Сатурн	12
Уран	11
Нептун	12



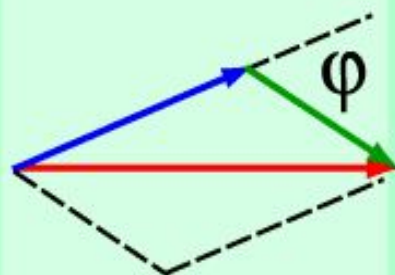
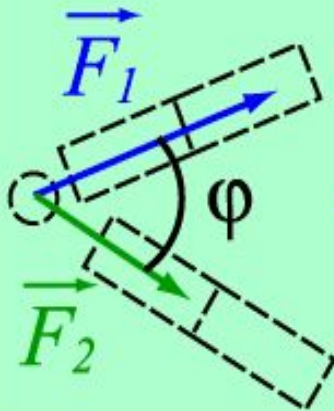
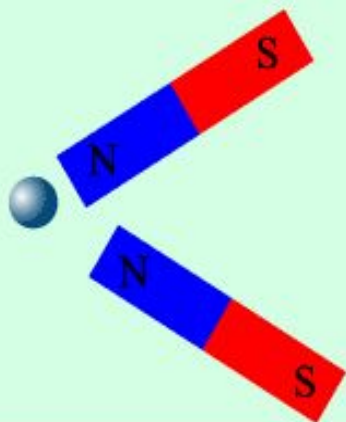
Сложение сил



$$F_p = F_1 + F_2$$

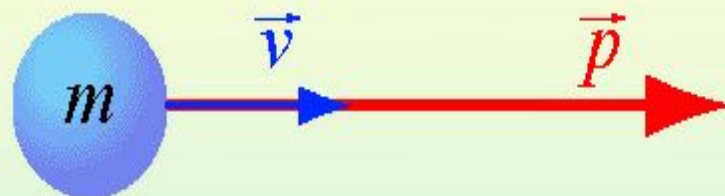


$$F_p = F_1 - F_2$$

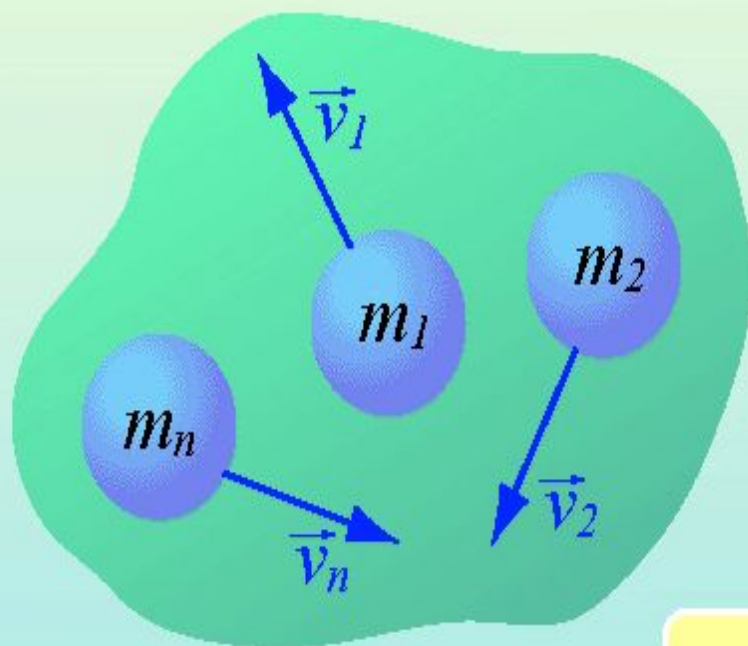


$$F_p^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\varphi$$

Импульс тела – мера механического движения



$$\vec{p} = m\vec{v}$$



$$\vec{p}_{\text{сист}} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$$

$$\vec{p}_{\text{сист}} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 + \dots + m_n\vec{v}_n$$

⑤

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Сохранение суммарного импульса шаров при их столкновении



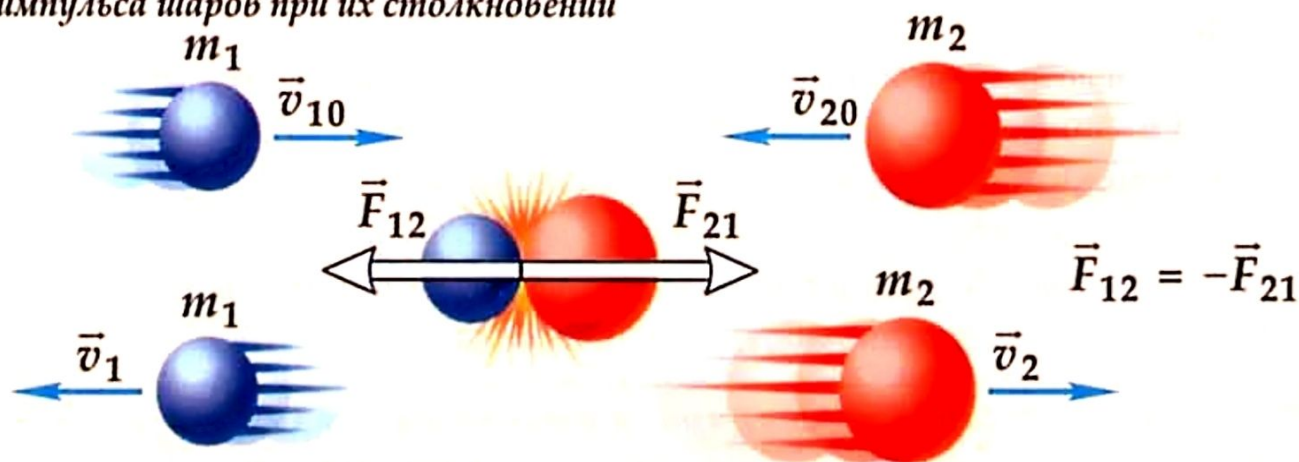
до
взаимодействия



взаимодействие



после
взаимодействия

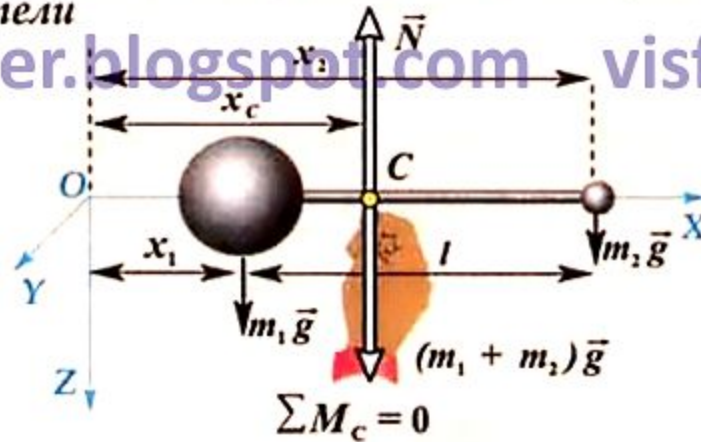


Замкнутая система – система тел, для которой равнодействующая внешних сил равна нулю

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_{10} + m_2 \vec{v}_{20}$$

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

④ Определение центра масс несимметричной гантели

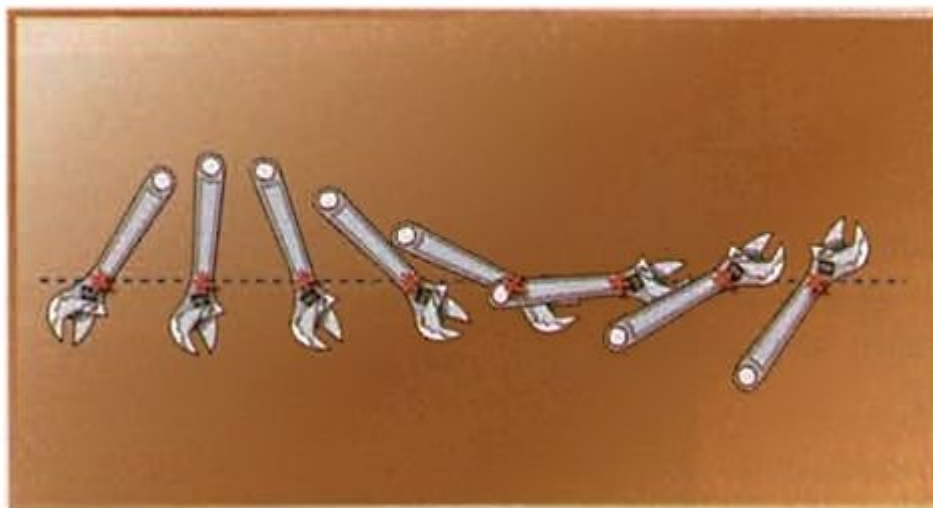


$$m_1 g (x_c - x_1) + N \cdot O - m_2 g (x_2 - x_c) = 0$$

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2}$$

Координата центра масс – средняя координата системы тел

- ⑥ Центр масс гаечного ключа движется по горизонтальному столу прямолинейно



⑦

*Центр масс спортсмена движется
по параболической траектории*



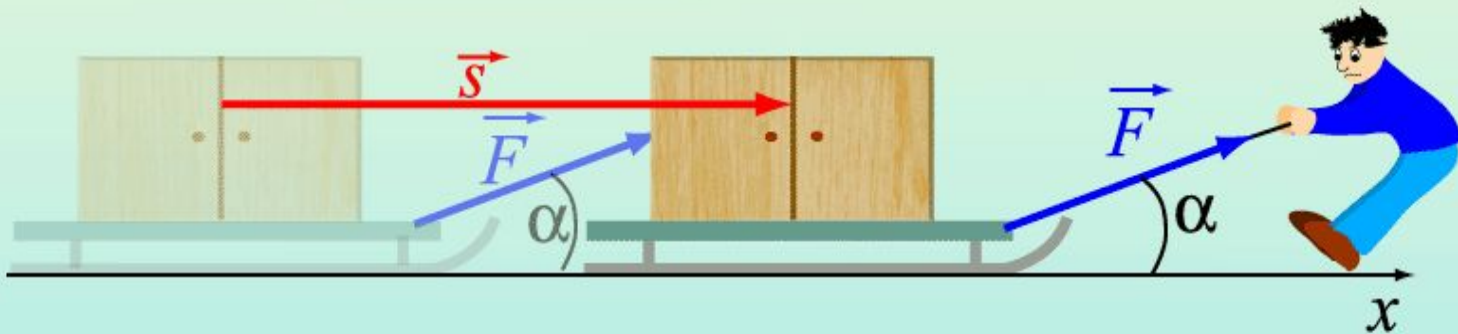


Лекция 3. Работа и энергия

Работа

– физическая величина, равная произведению модуля вектора силы на модуль вектора перемещения и на косинус угла между этими векторами

$$A = F s \cos \alpha$$



$$\alpha > 90$$

$$A < 0$$

$$\alpha = 90$$

$$A = 0$$

$$\alpha < 90$$

$$A > 0$$

МЕХАНИКА

Энергия

Скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения материи и мерой перехода движения материи из одной формы в другие

механическая



+

внутренняя



+

электрическая



+

тепловая



+

ядерная



+

и другие

= ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ = const

$$\Delta W = A_{\text{над сист}} = - A_{\text{сист}}$$

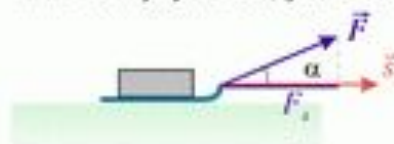


МЕХАНИКА

Работа

РАБОТА

физическая величина, равная произведению модуля вектора силы на модуль вектора перемещения и на косинус угла между этими векторами

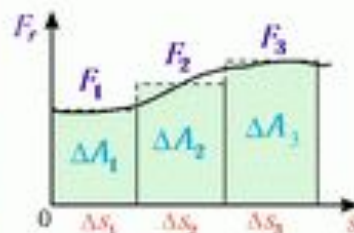


Для постоянной по модулю и направлению силы F

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha = F_s \cdot s$$

$$\alpha < \frac{\pi}{2} \rightarrow A > 0 \quad \alpha = \frac{\pi}{2} \rightarrow A = 0 \quad \alpha > \frac{\pi}{2} \rightarrow A < 0$$

Для переменной силы F



$$\Delta A_1 = F_1 \Delta s_1$$

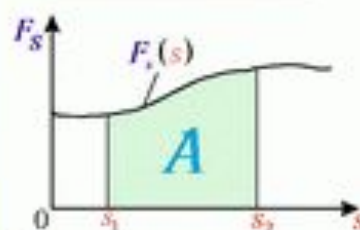
$$\Delta A_2 = F_2 \Delta s_2$$

$$\Delta A_3 = F_3 \Delta s_3$$

$$A \approx \Delta A_1 + \Delta A_2 + \Delta A_3$$

$$A \approx \sum_{i=1}^3 F_{si} \Delta s_i$$

Дополнительная информация



$$A = \lim_{i \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n F_{si} \Delta s_i = \int_{s_1}^{s_2} F_s ds$$

$$A = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F} d\vec{s}$$

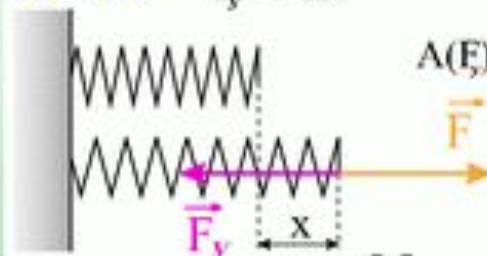


МЕХАНИКА

Работа консервативной силы

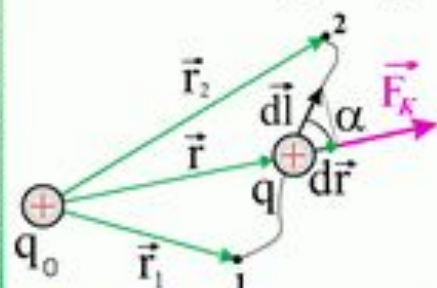
Сила, работа которой не зависит от формы пути, называется консервативной

УПРУГАЯ: $F_y = -kx$



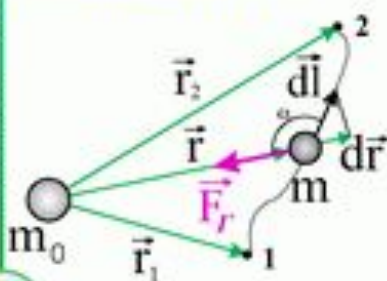
$$A(F_y) = \int_{x_1}^{x_2} F_y dx = - \int_{x_1}^{x_2} kx dx = -\frac{kx_2^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2}$$

КУЛОНОВСКАЯ: $F_k = k \frac{q_0 q}{r^2}$



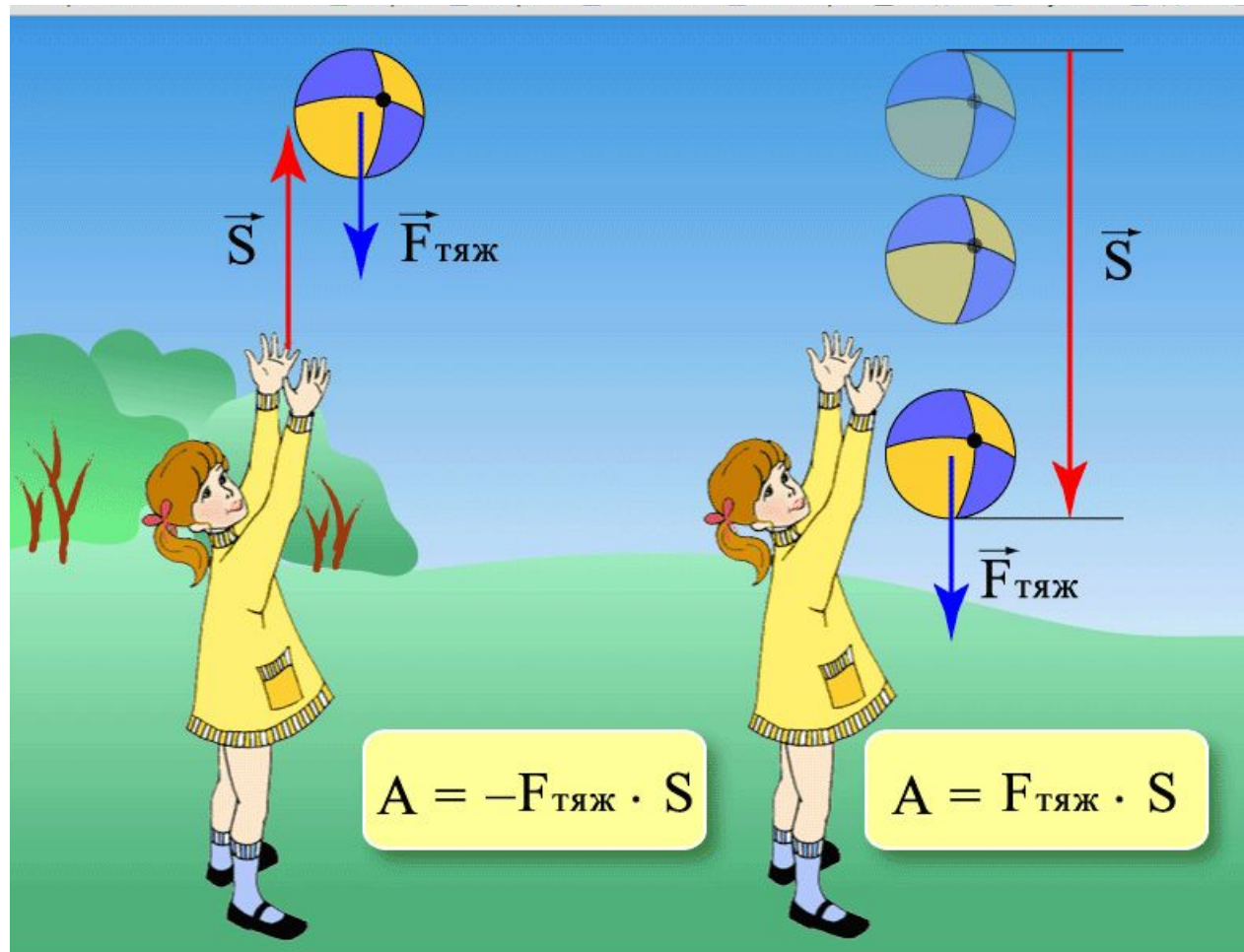
$$A(F_k) = \int_1^2 kq_0 q \frac{dl \cos \alpha}{r^2} = kq_0 q \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = kq_0 q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

ГРАВИТАЦИОННАЯ: $F_r = G \frac{m_0 m}{r^2}$



$$A(F_r) = \int_1^2 F_r dl \cos \alpha = - \int_{r_1}^{r_2} F_r dr = -Gm_0 m \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$



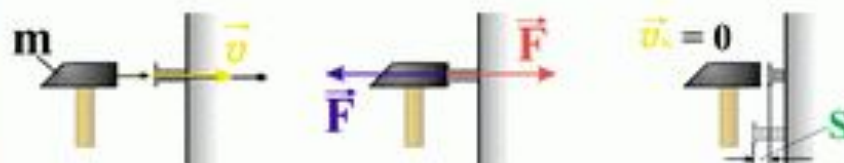


МЕХАНИКА

**Кинетическая энергия
 поступательного движения**
 Энергия механического движения

Кинетическая энергия
 W_k

= Работа, которую может
 совершить движущееся тело
 A_T



$$\vec{F} = m\vec{a}$$

$$\vec{F} = -\vec{F}$$

$$S = \frac{\vec{v}^2 - \vec{v}_0^2}{2a}$$

$$W_k = \vec{F} \vec{S} = \frac{1}{2} m v^2$$

Приращение
 кинетической энергии
 ΔW_k

=

Работа,
 совершенная над телом
 A



$$F = ma$$

$$S = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

$$A = \vec{F} \vec{S} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = W_{k2} - W_{k1} = \Delta W_k$$



МЕХАНИКА

Кинетическая энергия (свойства)

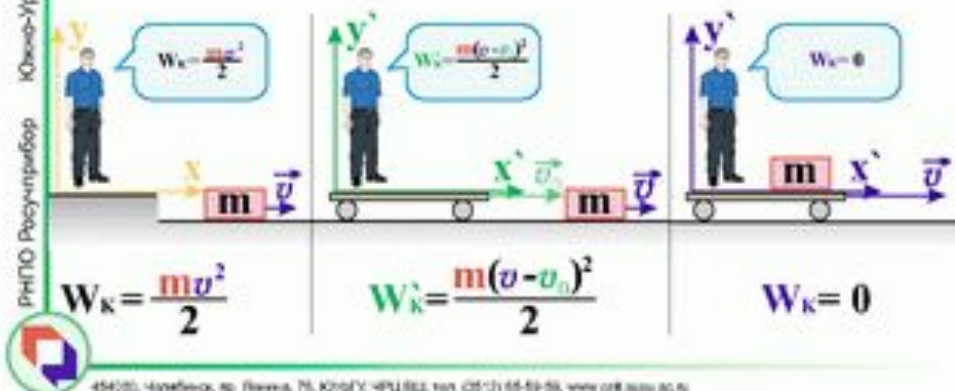
1 $W_k = \frac{mv^2}{2} \geq 0$ (всегда)

2 $\Delta W_k = A$, работе равнодействующей всех приложенных к телу сил

3 $W_k = A$
работе, которую совершает тело при торможении

4 W_k - величина аддитивная
 $W_k = W_{k1} + W_{k2} + \dots + W_{kn}$
Кинетическая энергия системы тел равна сумме кинетических энергий всех тел системы.

5 W_k - величина относительная



МЕХАНИКА

Потенциальная энергия тела в поле силы тяжести вблизи поверхности Земли

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ
ЭНЕРГИЯ W_p

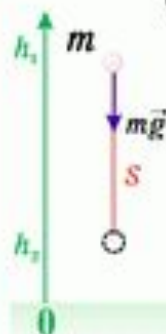
энергия, обусловленная взаимодействием тел
или отдельных частей тела

ИЗМЕНЕНИЕ
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ

работа, совершаемая над телом
консервативными силами $A_{\text{конс}}$

$$\Delta W_p = W_{p2} - W_{p1} = -A_{\text{конс}}$$

Сила тяжести $mg = \text{const}$, $g = \text{const}$ ($h \ll R_z$)



$$A = mg(h_1 - h_2)$$



$$A = mg \cdot S \cdot \cos \alpha = mg(h_1 - h_2)$$



$$A = mg \cdot \Delta h_1 + mg \cdot \Delta h_2 + \dots = mg(h_1 - h_2)$$

В любом случае:

$$A = mg(h_1 - h_2) = -\Delta W_p = (W_{p1} - W_{p2})$$

$$W_p = mgh$$

h - высота над уровнем, где потенциальная энергия принимается равной нулю

СВОЙСТВА

W_p

может принимать и положительные и отрицательные значения

W_p

величина относительная



МЕХАНИКА

Потенциальная энергия частицы и сила

Зависимость потенциальной энергии $W_{\text{п}}$ частицы от координаты x



Частица с энергией W_0 может находиться в точках с координатами от x_1 до ∞

$$W_0 = W_{\text{п}} + W_{\text{к}}$$

$$F_x = -\frac{dW_{\text{п}}}{dx}$$

Точки, где $F_x = 0$, представляют собой положения равновесия

$F_x = 0$		$F_x > 0$	$F_x < 0$
	равновесие		
$x = x_1$	устойчивое	$x_1 \leq x \leq x_2$	$x_1 \leq x \leq x_2$
$x = x_2$	неустойчивое		
$x = x_3$	устойчивое	$x_3 \leq x \leq x_4$	$x_3 \leq x \leq x_4$
$x \geq x_4$	безразличное		



Закон сохранения энергии

Если на тело или систему тел действуют силы, часть которых является консервативными, а часть - неконсервативными, то работа равнодействующей силы равна

$$A = A_{\text{конс}} + A_{\text{нк}} = \Delta W_K$$

$$A_{\text{конс}} = -\Delta W_{\text{П}}$$

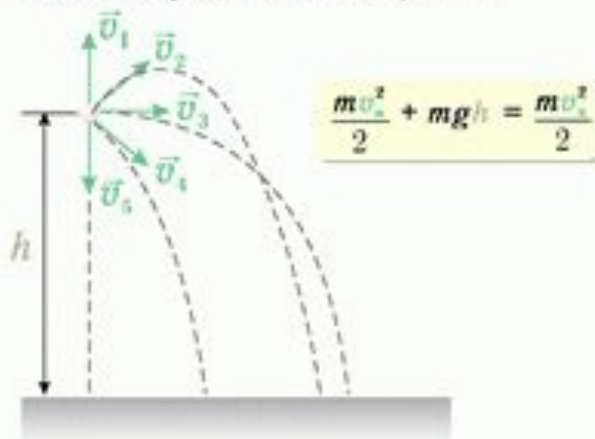
$$A_{\text{нк}} = \Delta W_K + \Delta W_{\text{П}}$$

Если в замкнутой системе $F_{\text{нк}} = 0$, то $A_{\text{нк}} = 0$, тогда для такой системы

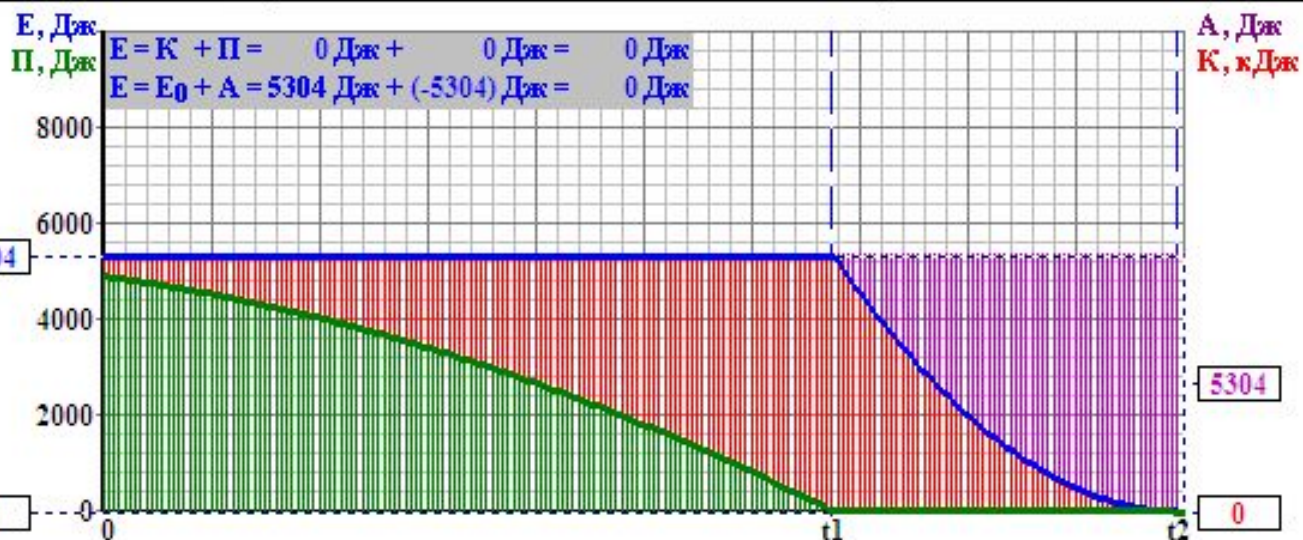
$$\begin{aligned} \Delta W_K + \Delta W_{\text{П}} &= 0 \\ W_K + W_{\text{П}} &= \text{const} \end{aligned}$$

УПРАЖНЕНИЕ

5 тел массой m брошены с высоты h со скоростями $v_1 = v_2 = v_3 = v_4 = v_5$.
Какие из них упадет с большей скоростью?



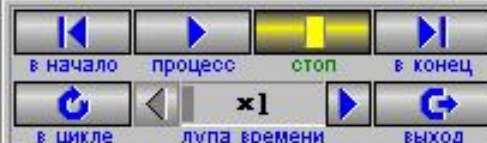
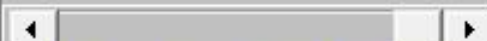
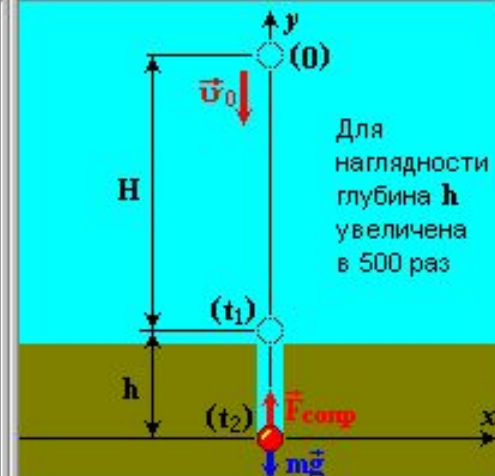
Кинетическая K , потенциальная Π и полная механическая E энергии системы "тело+Земля". Работа силы сопротивления A



Работа силы сопротивления A



Время 1.00·T

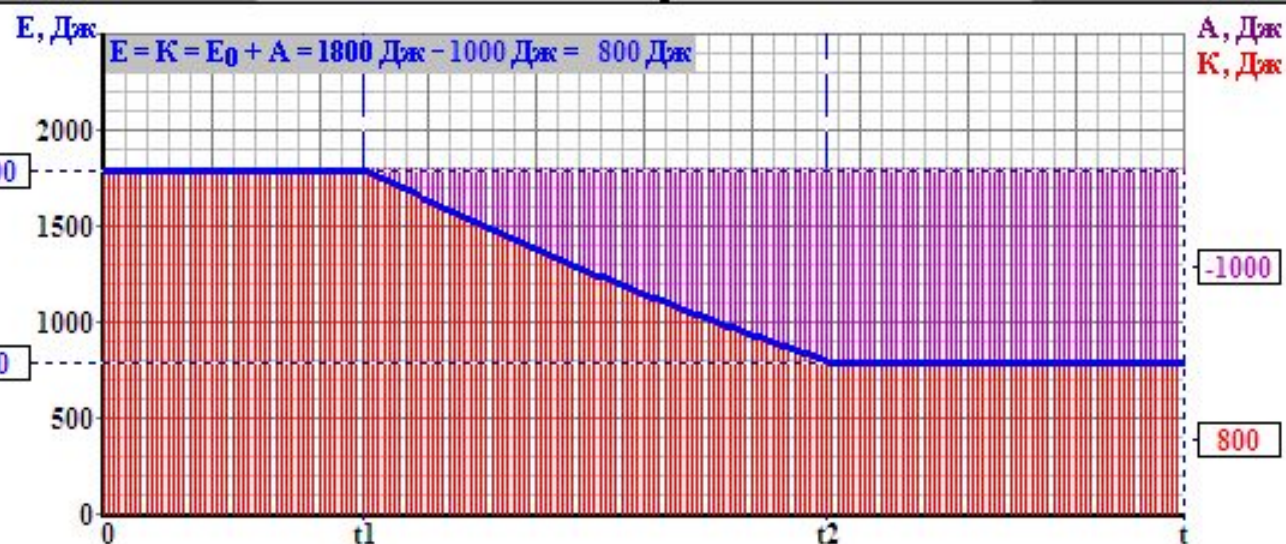


Графики Теория Условие Справка

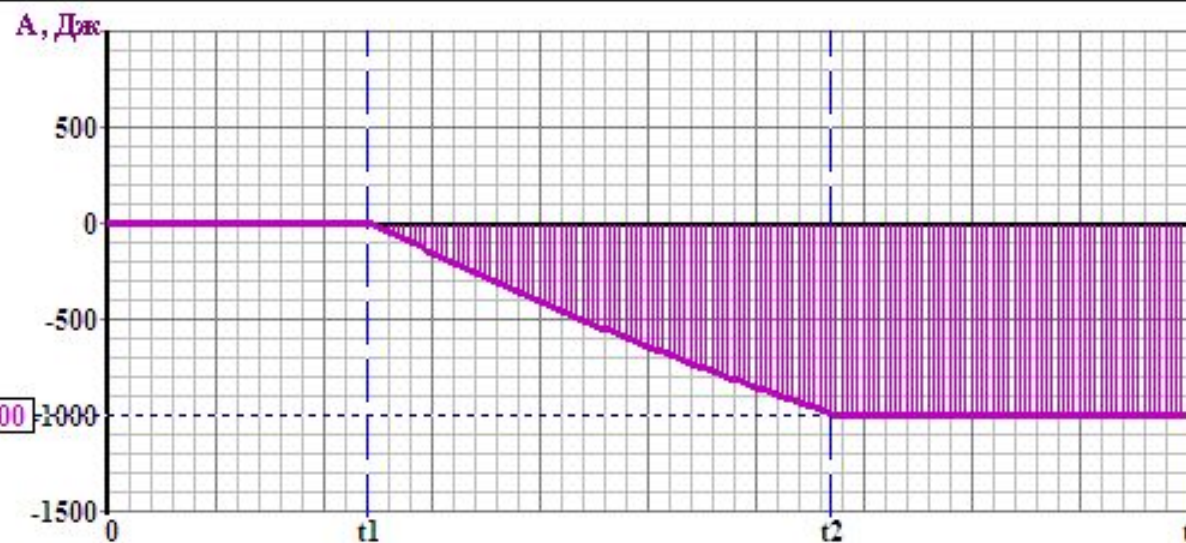
E y F_{comp}
 A_{comp} v_y a_y



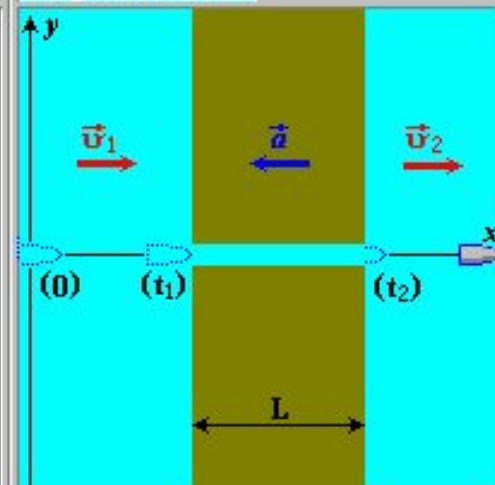
Кинетическая K и полная механическая E энергии пули.
Работа силы сопротивления A



Работа силы сопротивления A



Время 1.00·T



Navigation controls:

- в начало (left arrow)
- процесс (right arrow)
- стоп (stop button)
- в конец (right arrow)
- в цикле (refresh button)
- лупа времени (x1 magnifying glass)
- выход (exit button)

Graphs and Help:

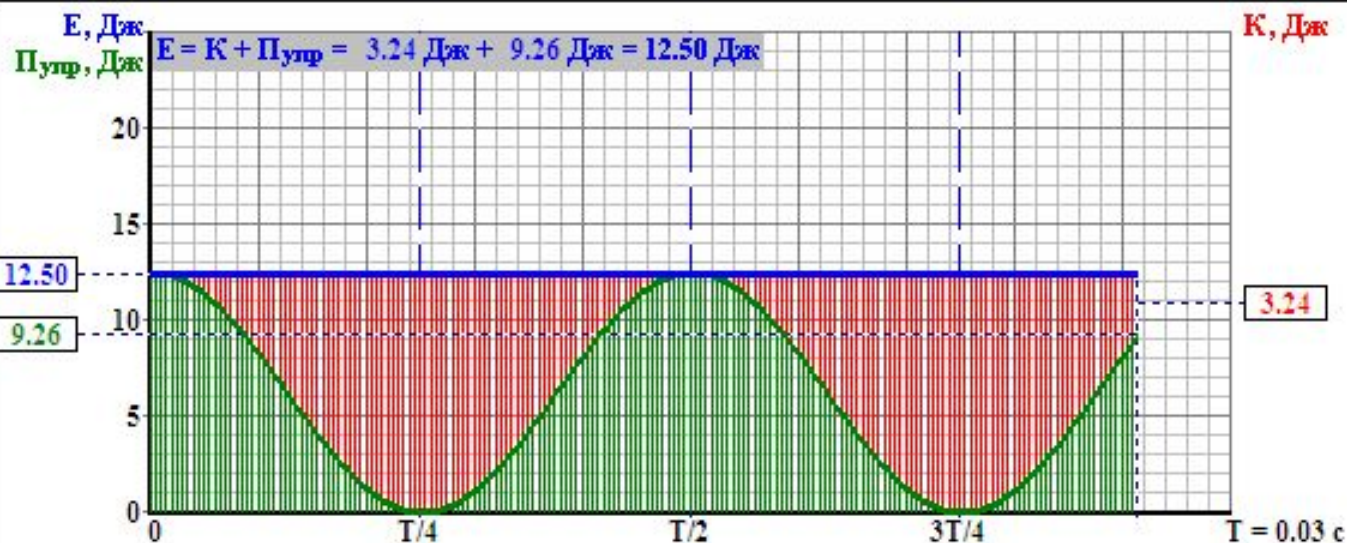
- Графики (selected)
- Теория
- Условие
- Справка

Variables:

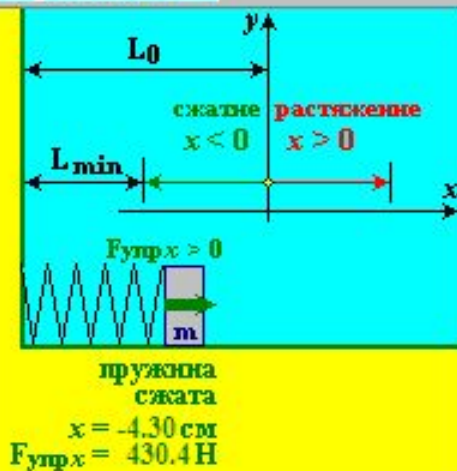
- E (selected)
- x
- $F_{\text{соп}}$
- $A_{\text{соп}}$
- v_x
- a_x

Music icon (bottom left)

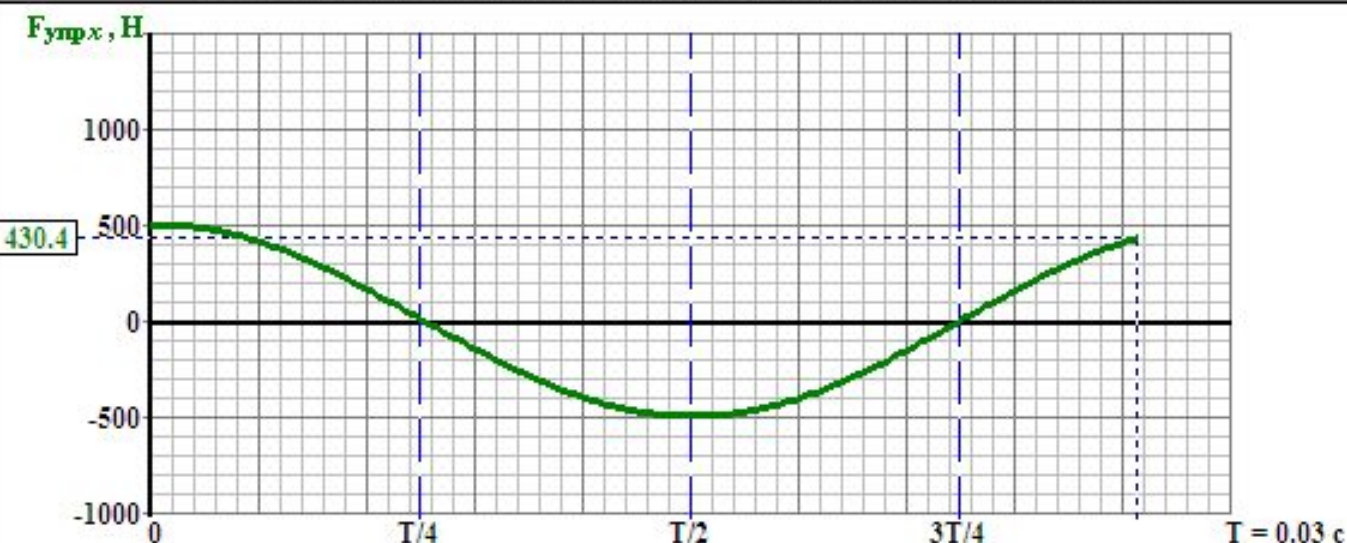
Кинетическая K , потенциальная $P_{упр}$ и полная E энергии системы



Время $0.92 \cdot T$

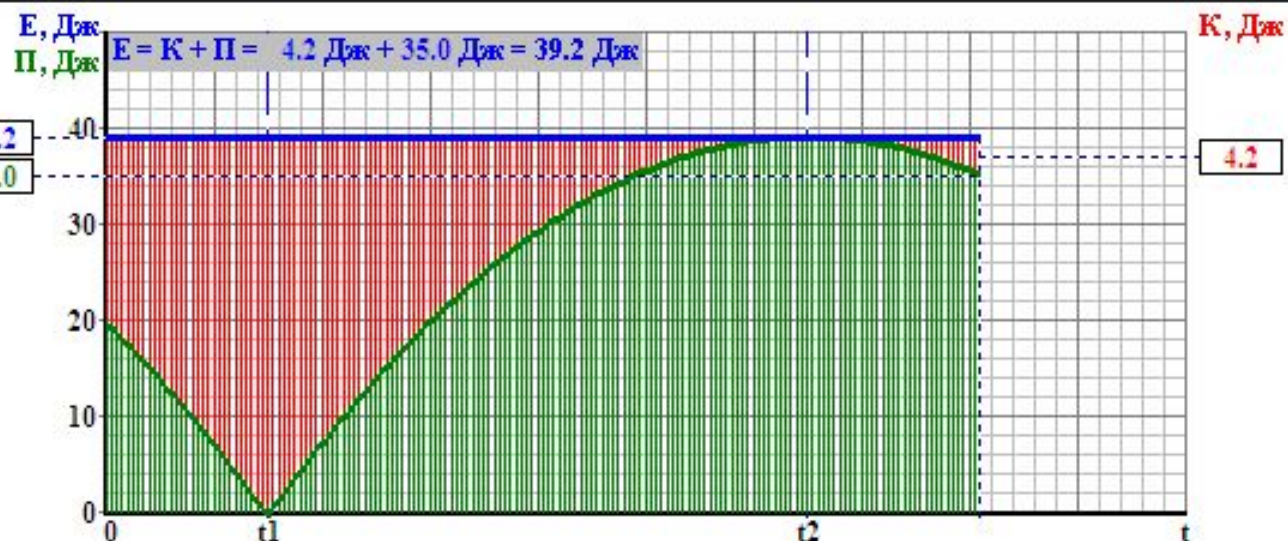


Горизонтальная проекция силы упругости пружины $F_{упрx}$ от времени t

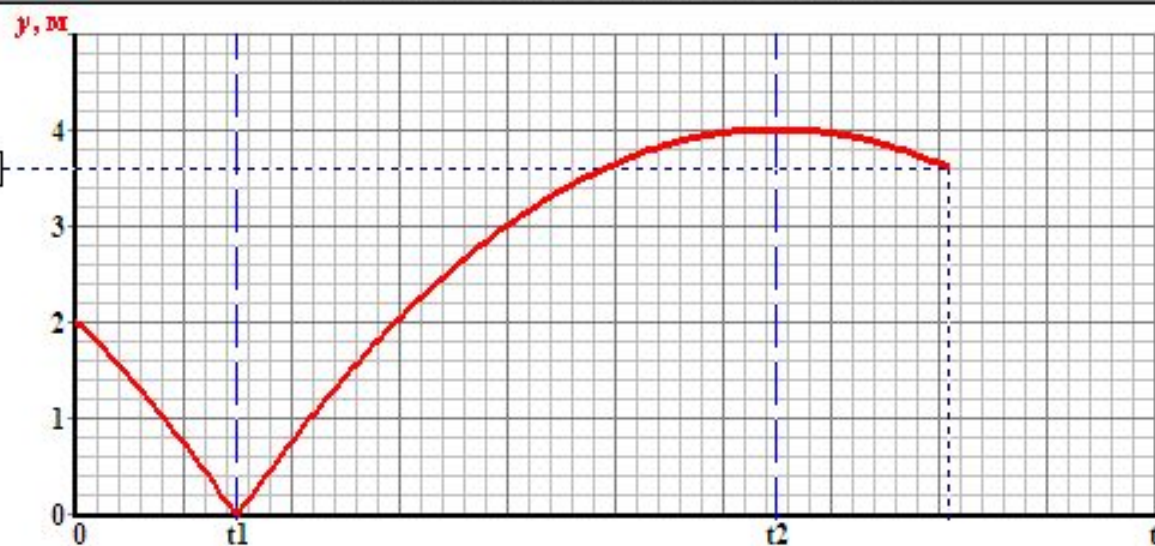


в начало процесс стоп в конец
 в цикле лупа времени выход
 Графики Теория Условие Справка
 Е x a_x F_{упр}(x)
 P_{упр} v_x F_{упр} P_{упр}(x)

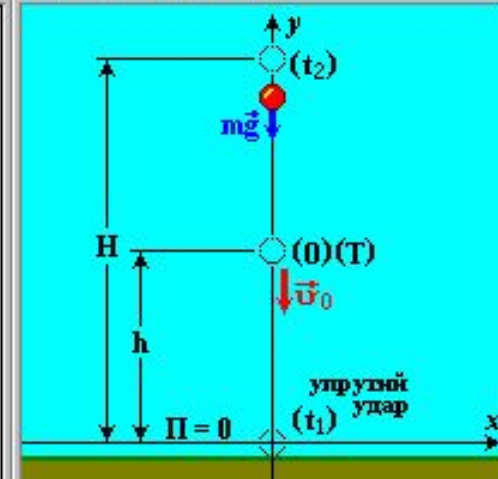
Кинетическая K , потенциальная Π и полная E энергии "мяча+Земли"



Ордината мяча y в зависимости от времени t

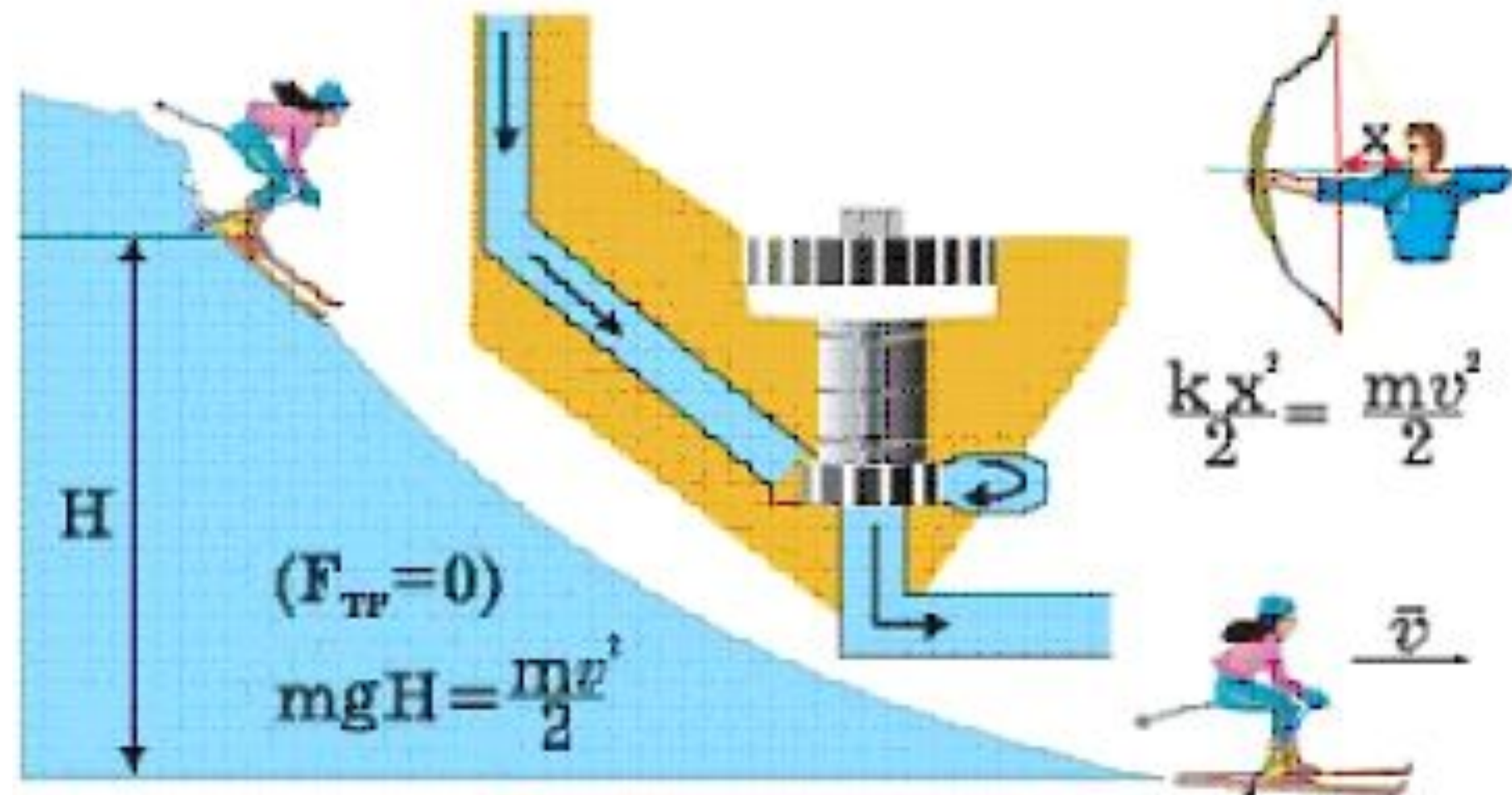


Время $0.81 \cdot T$



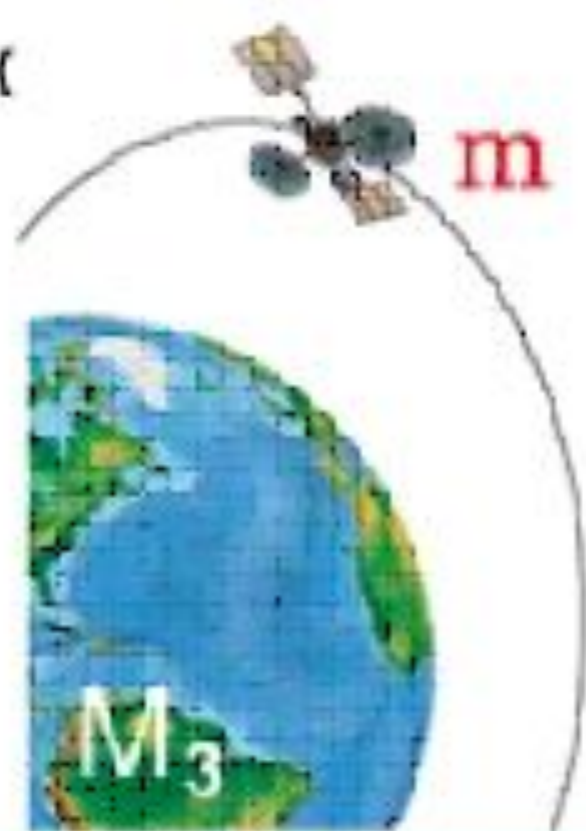
в начало процесс стоп в конец
 в цикле лупа времени выход
 Графики Теория Условие Справка
 Е u_y
 y a_y

3.58



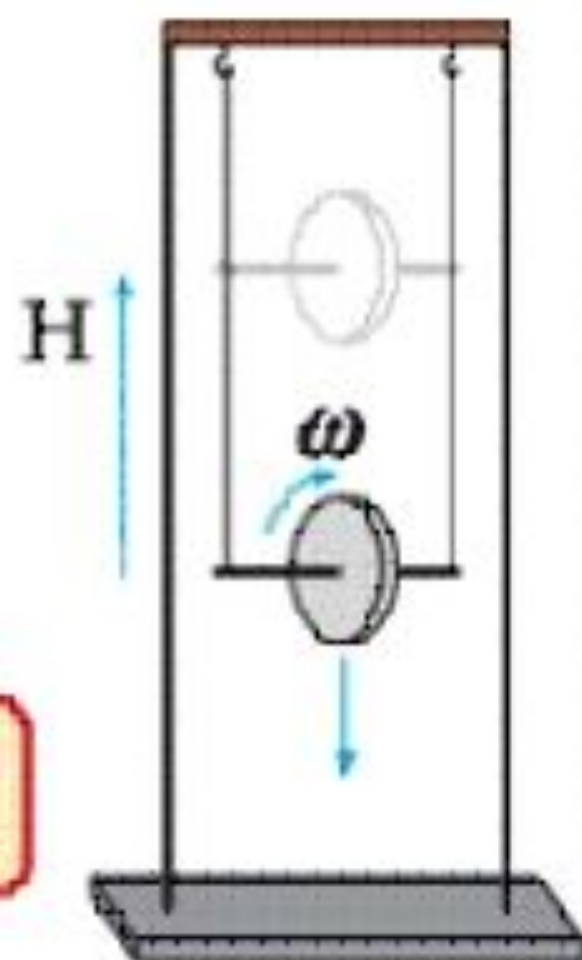
$$E_k + E_{\text{п}} = \text{const}$$

ВЕТРОПОДЪЕМНИК

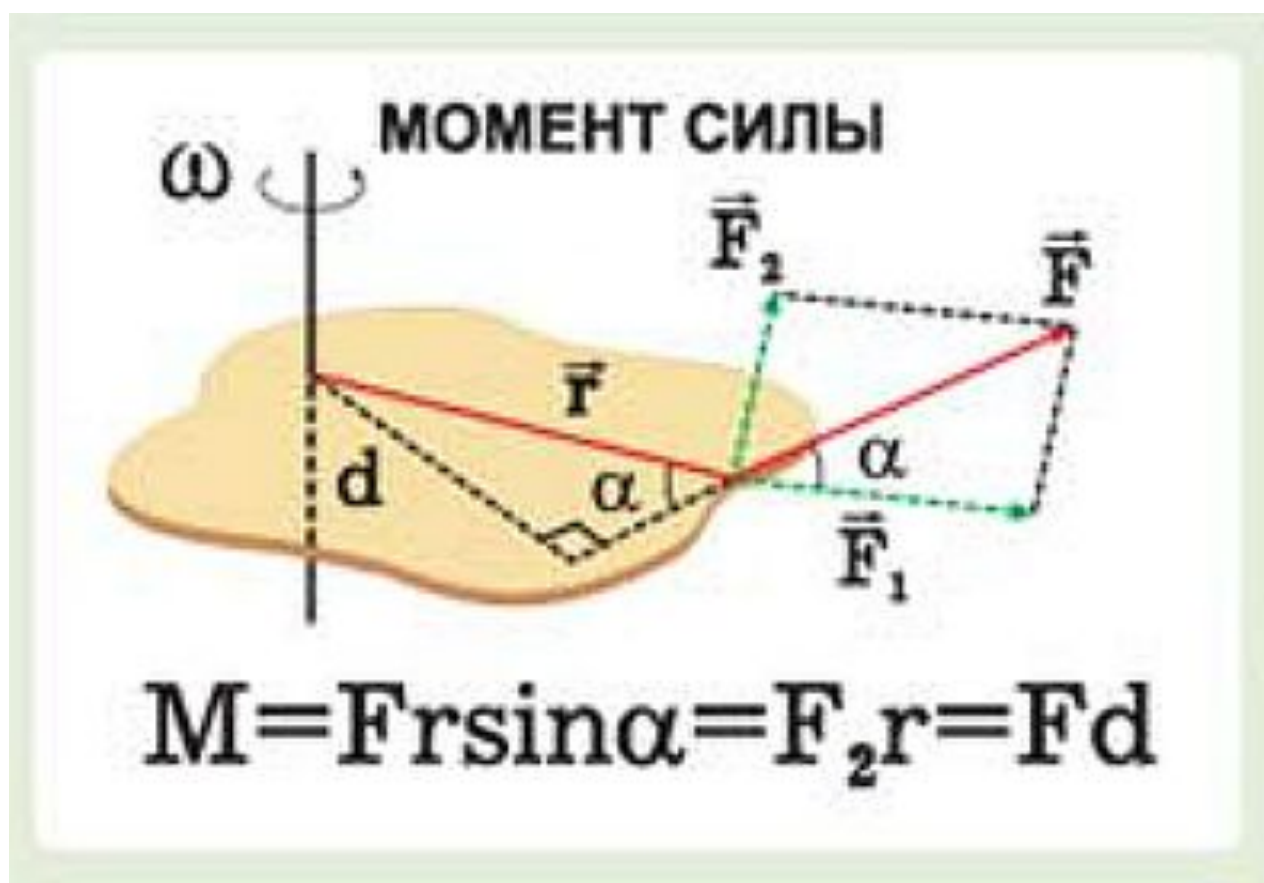


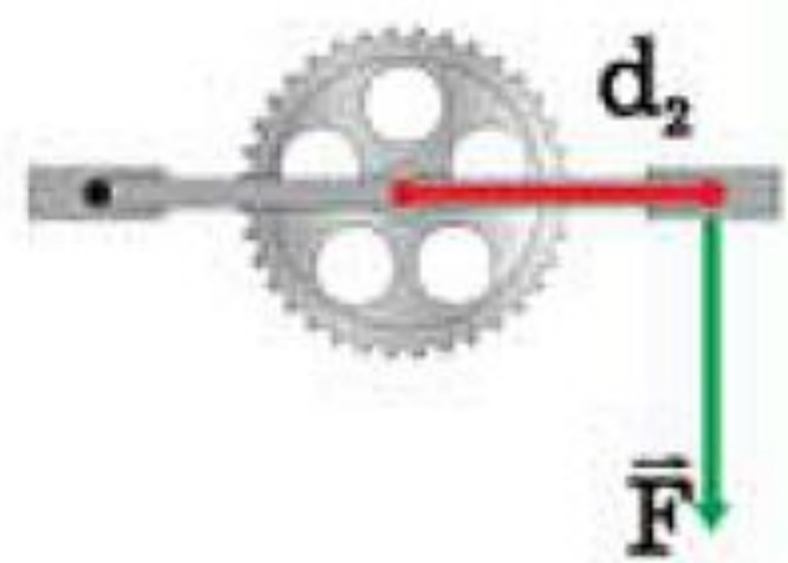
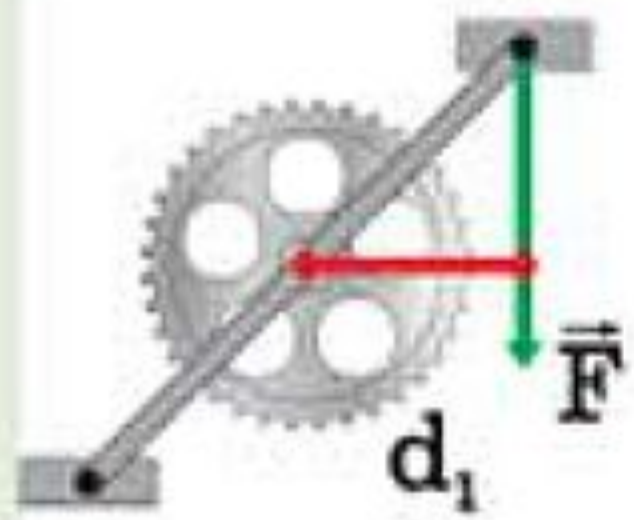
$$\frac{Mv^2}{2} - G \frac{mM_3}{R} = \text{const}$$

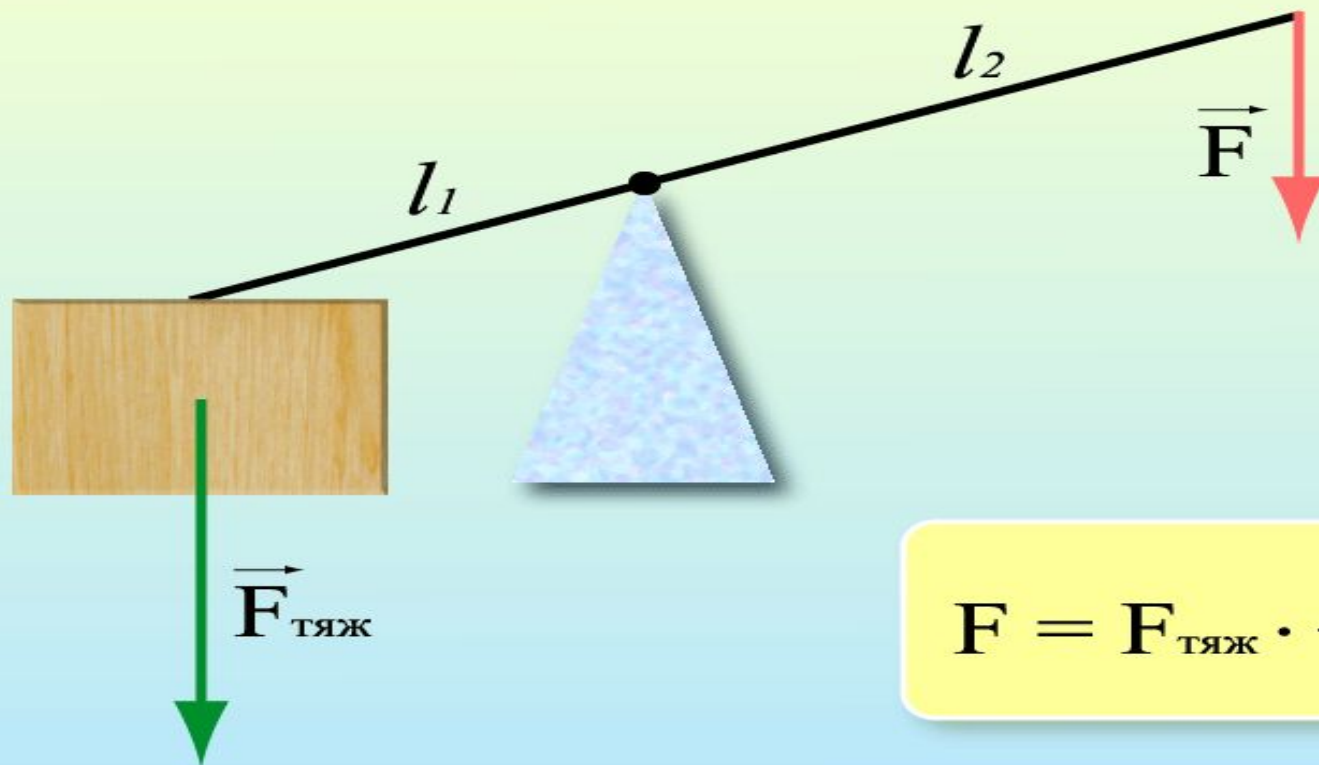
МАЯТНИК
МАКСВЕЛЛА



Лекция 4. Динамика вращательного движения







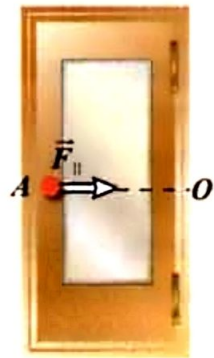
$$F = F_{\text{тяж}} \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

Примеры вращательного движения

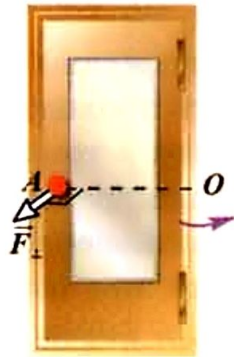
ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ АБСОЛЮТНО ТВЕРДОГО ТЕЛА

Вращательное движение абсолютно твердого тела – движение, при котором все точки тела в инерциальной системе отсчета движутся по окружностям, центры которых лежат на неподвижной прямой (оси вращения)

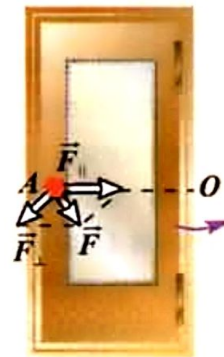
①



а) $\vec{F}_{\parallel} \parallel \overline{AO}$



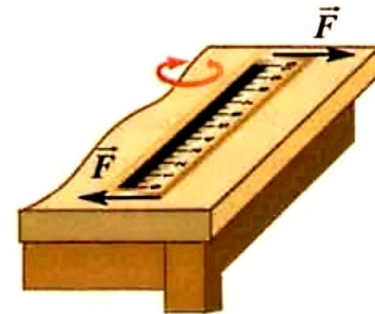
б) $\vec{F}_{\perp} \perp \overline{AO}$



в) $\vec{F}_{\parallel}$, $\vec{F}_{\perp}$ компоненты силы $\vec{F}$

Вращение тела относительно фиксированной оси может вызываться силой (или ее компонентой $\vec{F}_{\perp}$), перпендикулярной оси и отрезку, соединяющему точку приложения силы и ось вращения

②



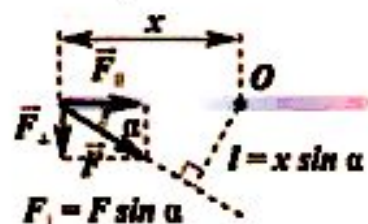
Возникновение вращательного движения при выполнении условия равновесия для поступательного движения ($\sum \vec{F} = 0$)

Момент силы - физическая величина, равная произведению модуля силы на ее плечо:

$$M = F l$$

Плечо силы - длина перпендикуляра, опущенного из оси вращения на линию действия силы.

Единица момента в СИ : ньютон-метр (Н м)



Моменты сил:

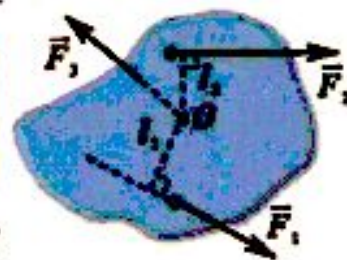
а) $M_0 = F l$



б) $M_1 = F_1 l$

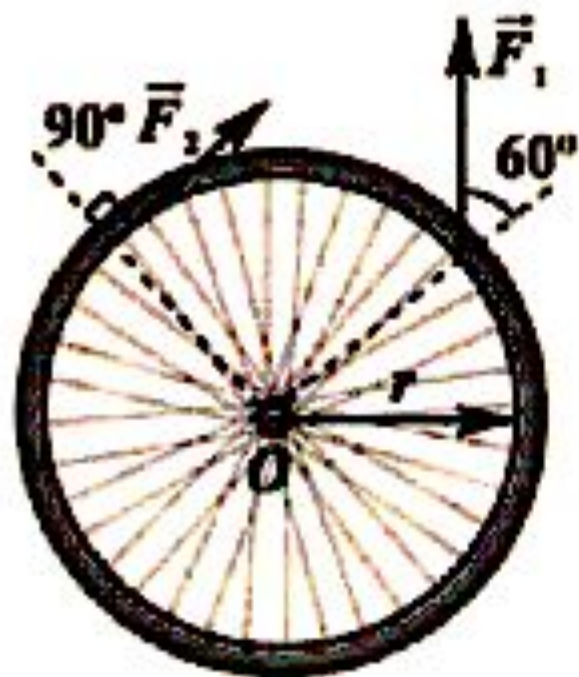
$M_2 = -F_2 l$

$M_3 = 0 (l_3 = 0)$



Момент считают положительным, если сила вращает тело относительно выбранной оси против часовой стрелки, и отрицательным, если по часовой стрелке

Вращательное движение твердого тела в инерциальной системе отсчета не возникает, если алгебраическая сумма моментов (относительно произвольной оси O) всех сил, действующих на тело, равна нулю

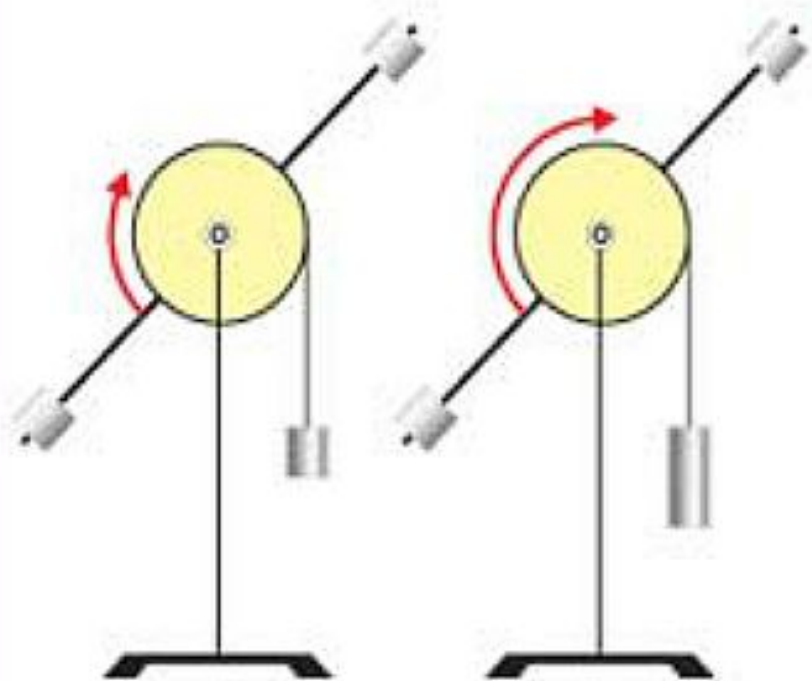


$$\Sigma M_o = 0$$

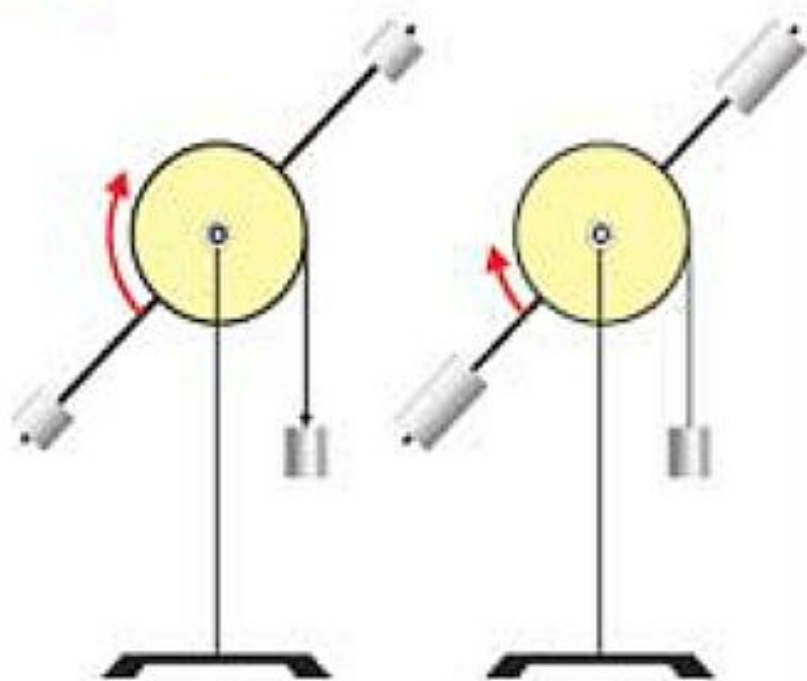
$$F_1 r \sin 60^\circ - F_2 r = 0$$

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ ДИНАМИКИ

$$\varepsilon = \frac{M}{J}$$

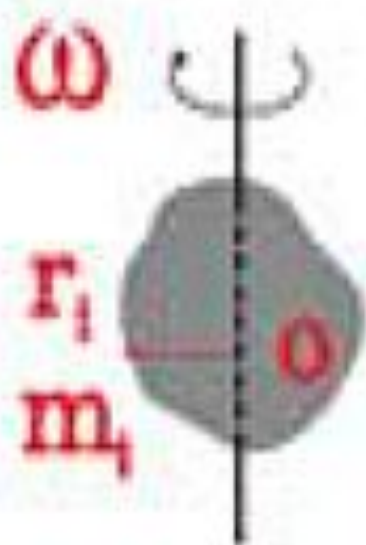


$$\varepsilon \sim M$$



$$\varepsilon \sim \frac{M}{J}$$

МОМЕНТ ИНЕРЦИИ

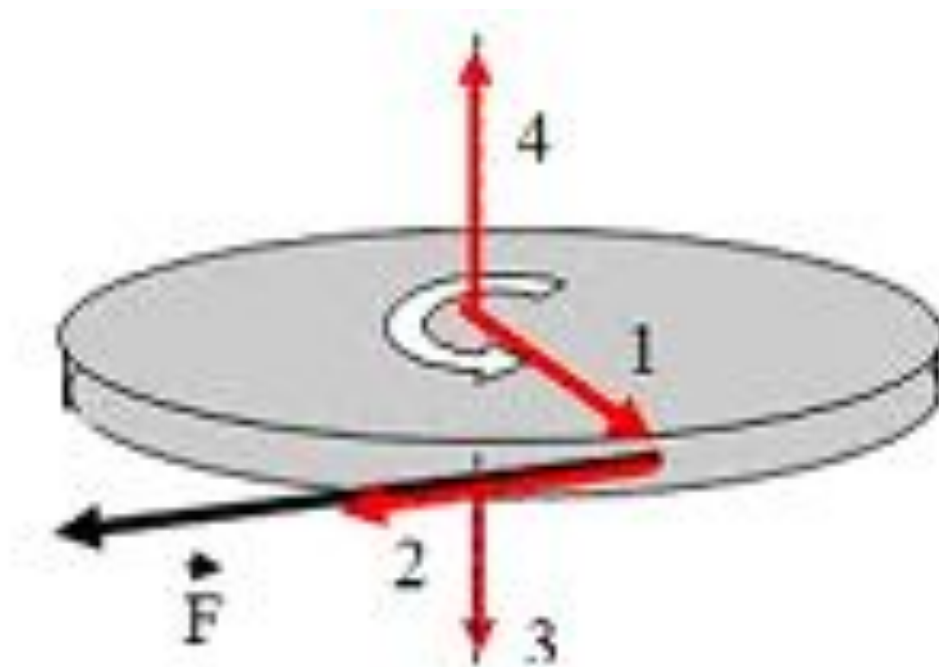


$$J_O = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2$$

O - центр масс

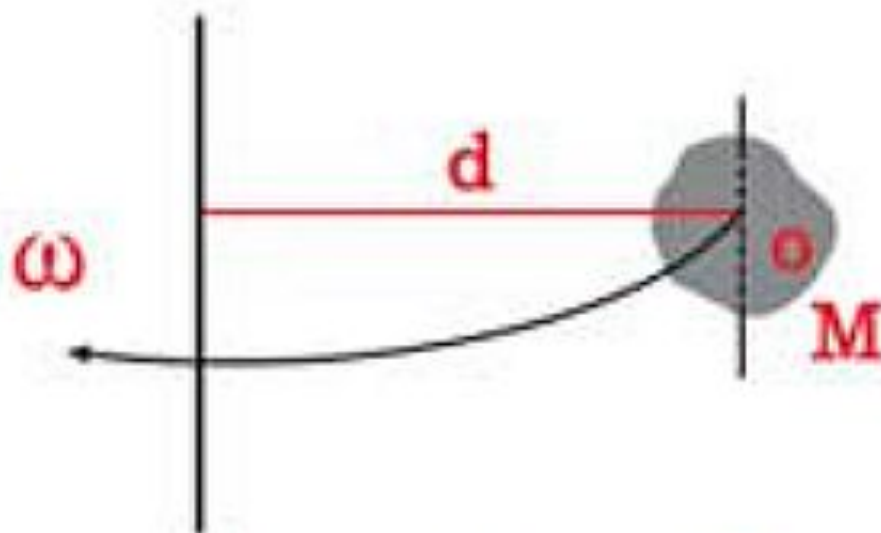
Равнозамедленное вращение диска под действием постоянной силы F .

- 1-радиус-вектор; 2- вектор линейного ускорения;
3- вектор углового ускорения и/или момента силы F ;
4- вектор углового перемещения и/или угловой скорости



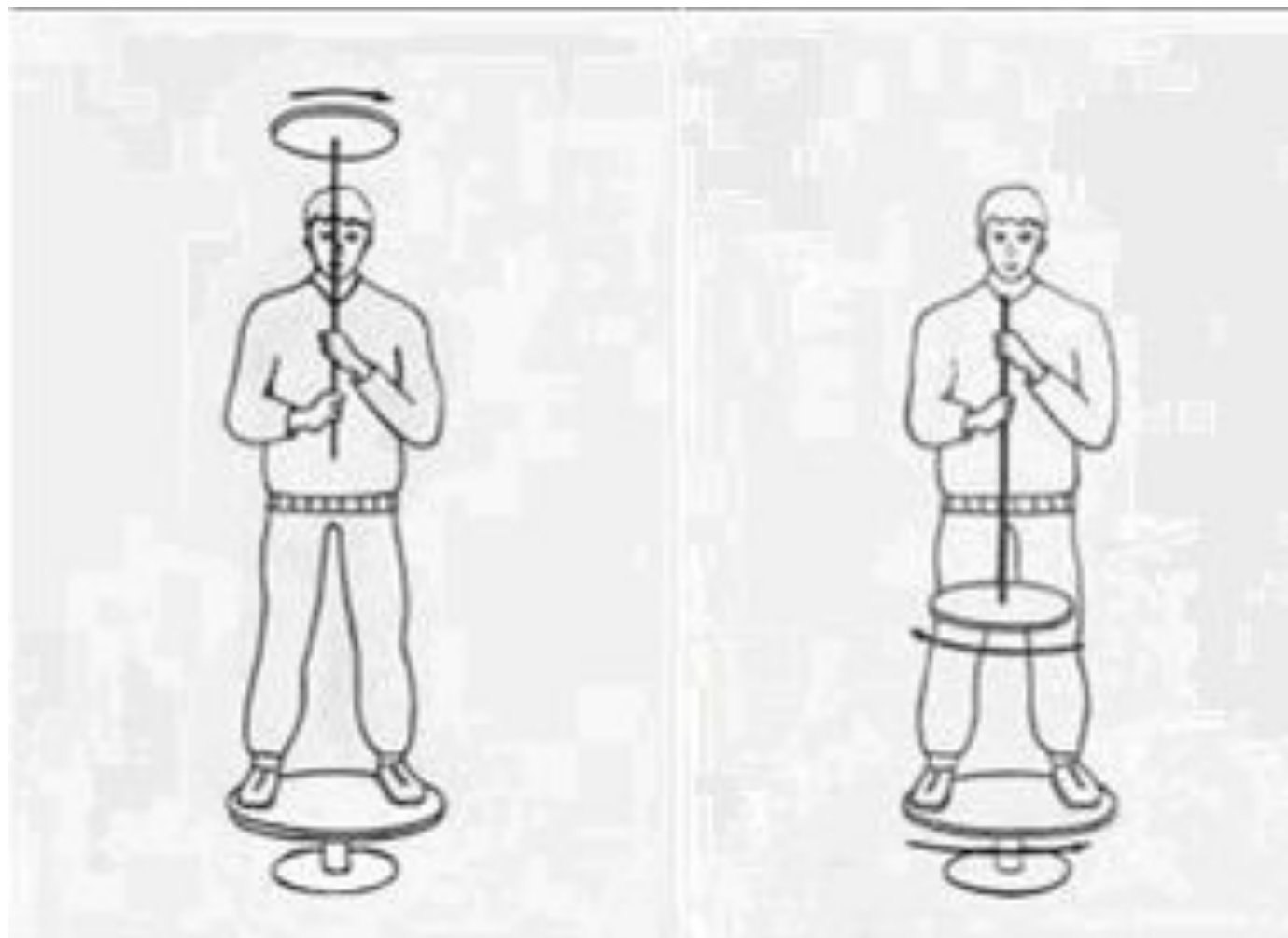
Изменение момента инерции тела при переносе оси вращения

ТЕОРЕМА ШТЕЙНЕРА



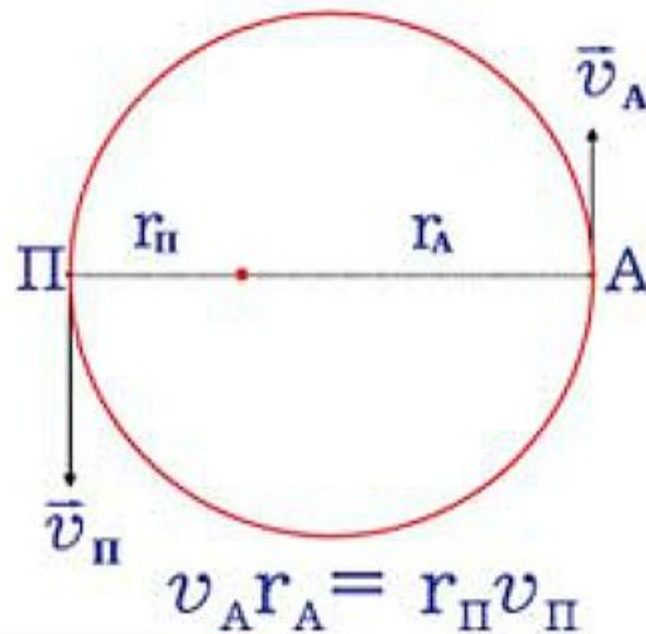
$$J_d = J_o + md^2$$

Закон сохранения момента импульса : $J\omega = \text{const}$





$$J_1 < J_2$$
$$\omega_1 > \omega_2$$



$$L = J\omega = \text{const}$$

Закон сохранения момента импульса : $J\omega = \text{const}$

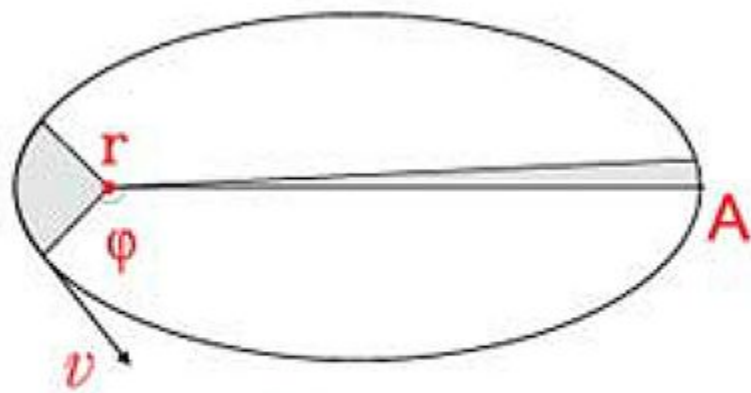


Закон сохранения момента импульса : $J\omega = \text{const}$





ВЕРТОЛЕТ



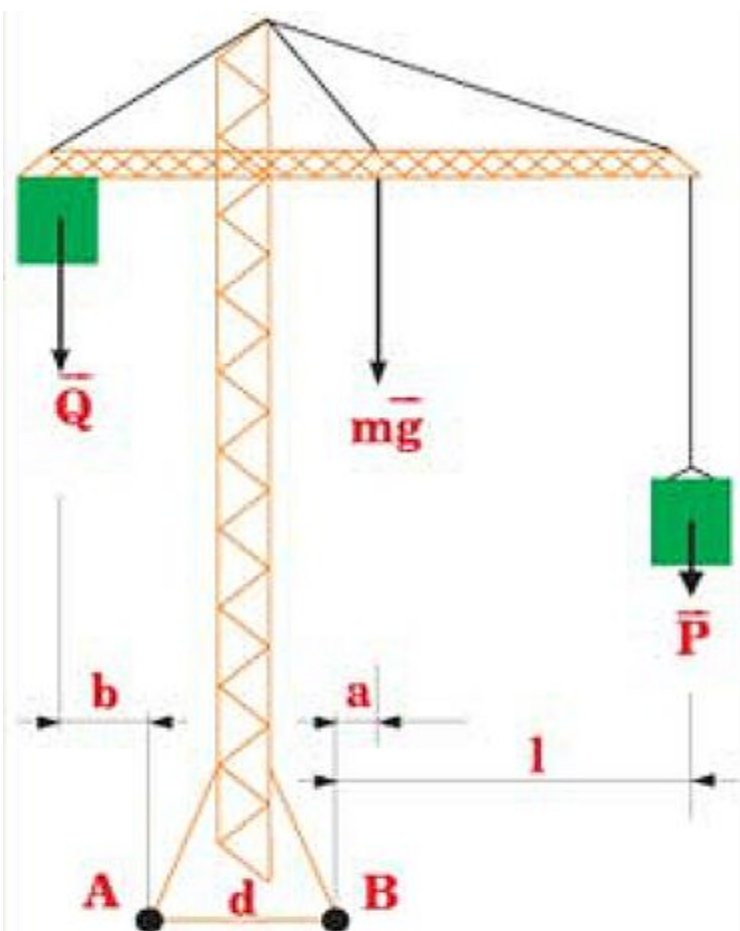
$$L = mvr \sin \varphi = \text{const}$$

Вращение винта вертолета



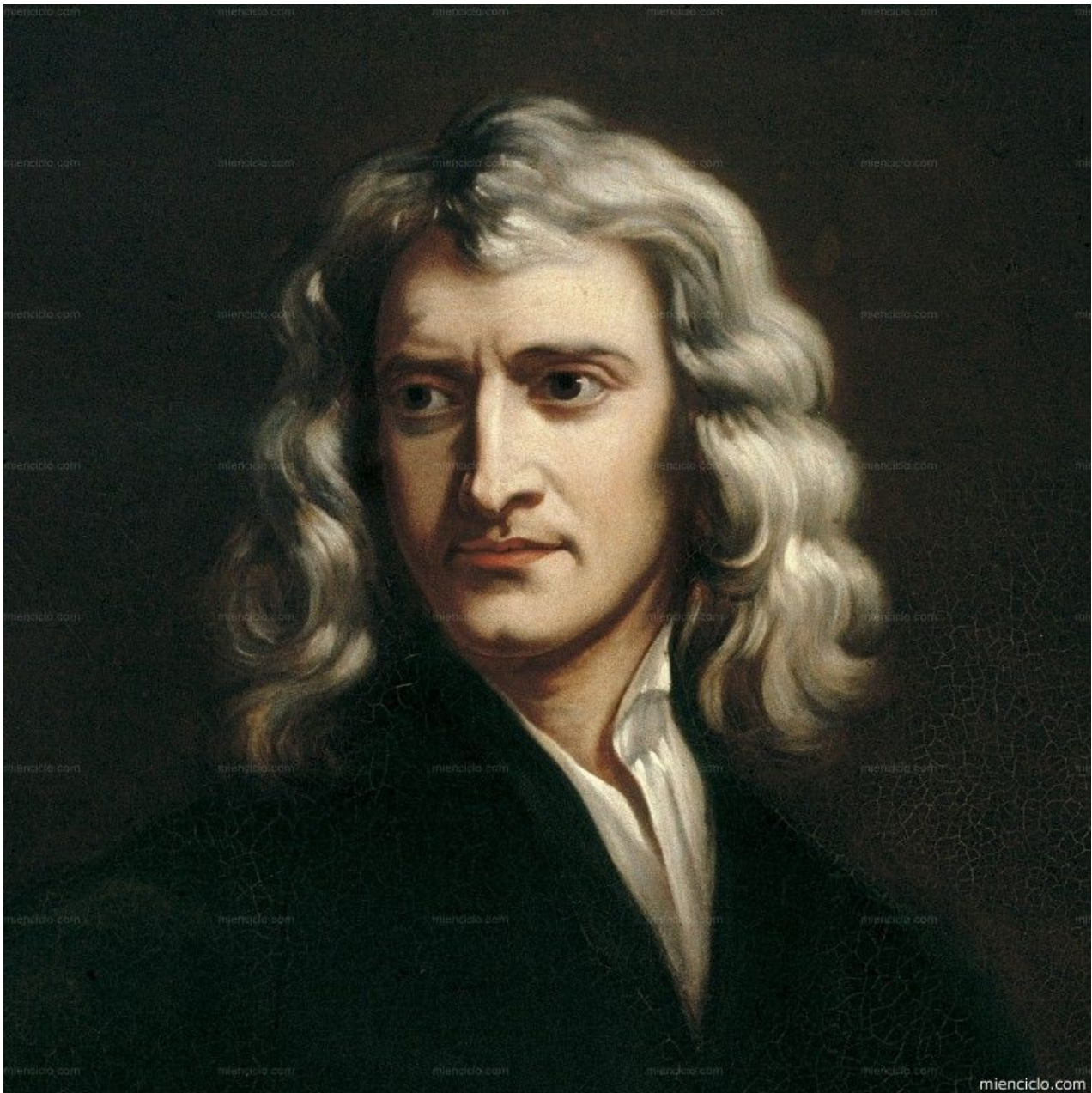






$$\left[\begin{array}{l} \Sigma M_B = 0 (\text{с грузом}) \\ P l + m g a - Q (b + d) = 0 \end{array} \right]$$

$$\left[\begin{array}{l} \Sigma M_A = 0 (\text{без груза}) \\ Q b - m g (a + d) = 0 \end{array} \right]$$





SIR ISAAC NEWTON

DRAWN AND SCRAPPED MDCLX BY JAMES MACARD EL. FROM AN ORIGINAL PORTRAIT
PAINTED BY ENOCH SEEMAN NOW IN THE POSSESSION OF THOMAS HOLLIS FR. AND ASS.

LES ITALIENS CES PEUPLES INGENIEUX ONT CRAINT DE PENSER LES FRANÇAIS
N'ONT OSE PENSER QU'À DEMIE ET LES ANGLAIS QUI ONT VOLÉ JUSQU'À L'INFINI
D'EN NE LEUR A POINT COUPÉ LES AILES SONT DEVENUS LES PRÉCÉPTEURS DES
NATIONS NOUS LEUR DEVONS TOUT DEPUIS LES LOIX PRIMITIVES DE LA GRÁVITÁ
TION DEPUIS LE CALCUL DE L'INFINI ET LA CONNAISSANCE PRÉCISE DE LA
MÈRE SI VAINEMENT COMBATTUES JUSQU'À LA NOUVELLE CHARVE ET À L'IN-
SERTION DE LA PETITE VÉROLE COMBATTUES ENCORE
ODE SUR LA MORT DE MADAME DE BARRETH AVEC UNE LETTRE PAR MONSIEUR DE VOLTAIRE



Лекция 5

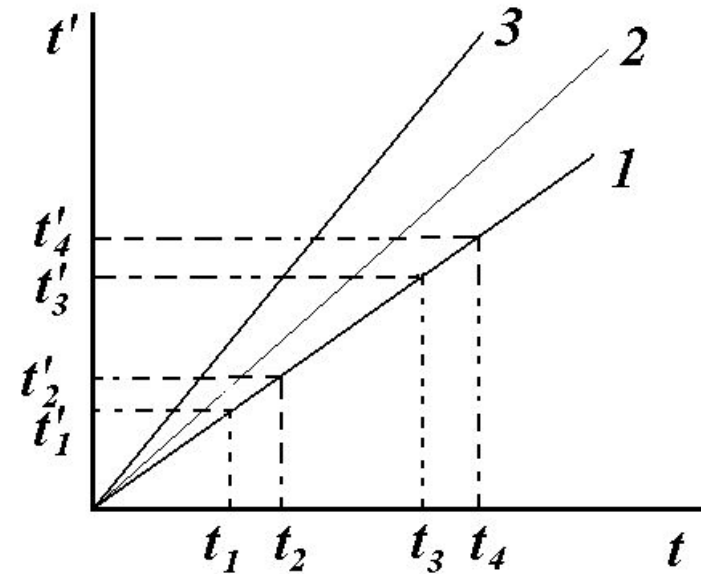
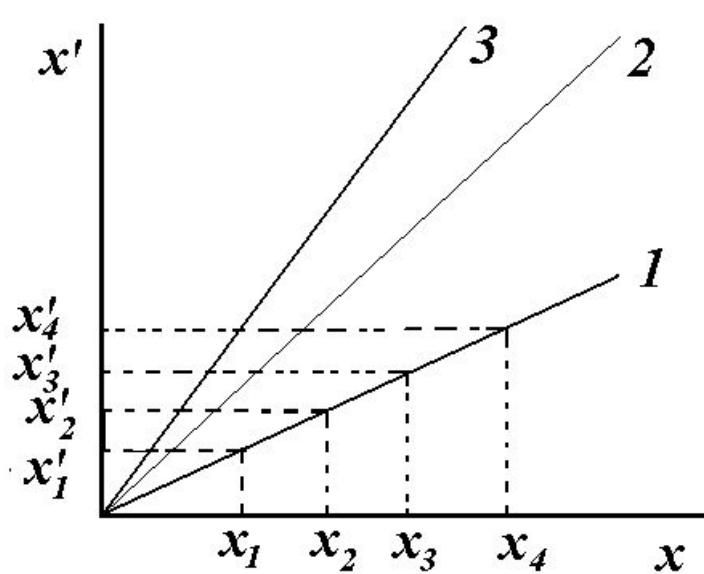
Специальная теория относительности (СТО)

(рассматриваются только инерциальные системы
отсчета)

Свойства симметрии пространства и времени

- *Однородность и изотропность пространства заключаются в том, что свойства пространства одинаковы в различных точках (однородность), а в каждой точке одинаковы во всех направлениях (изотропность);*
- *Однородность времени заключается в том, что протекание физических явлений (в одних и тех же условиях) в разное время их наблюдения одинаково*

Однородность пространства и времени

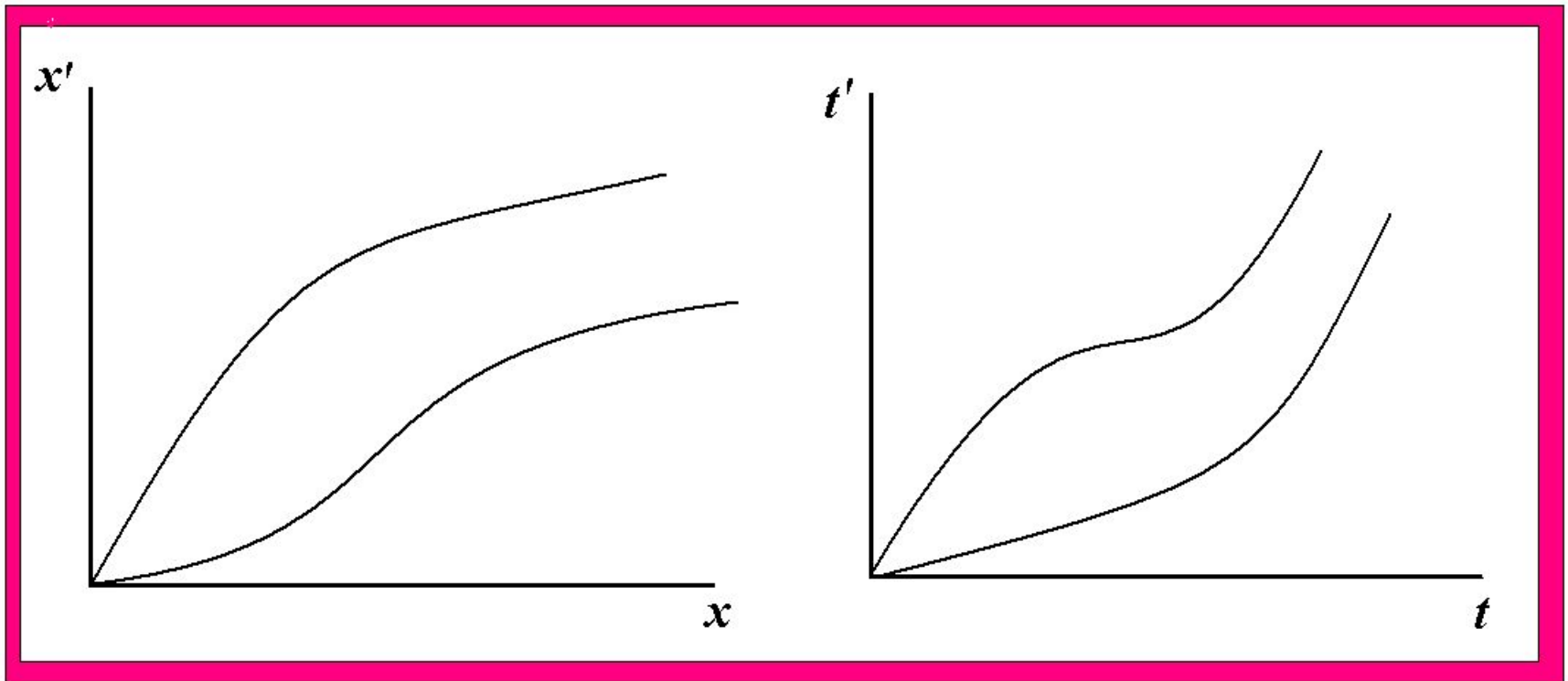


Общая теория относительности (ОТО)

(неинерциальные системы отсчета)

- *По отношению к неинерциальным системам отсчета пространство является неоднородным и неизотропным, время - неоднородным.*

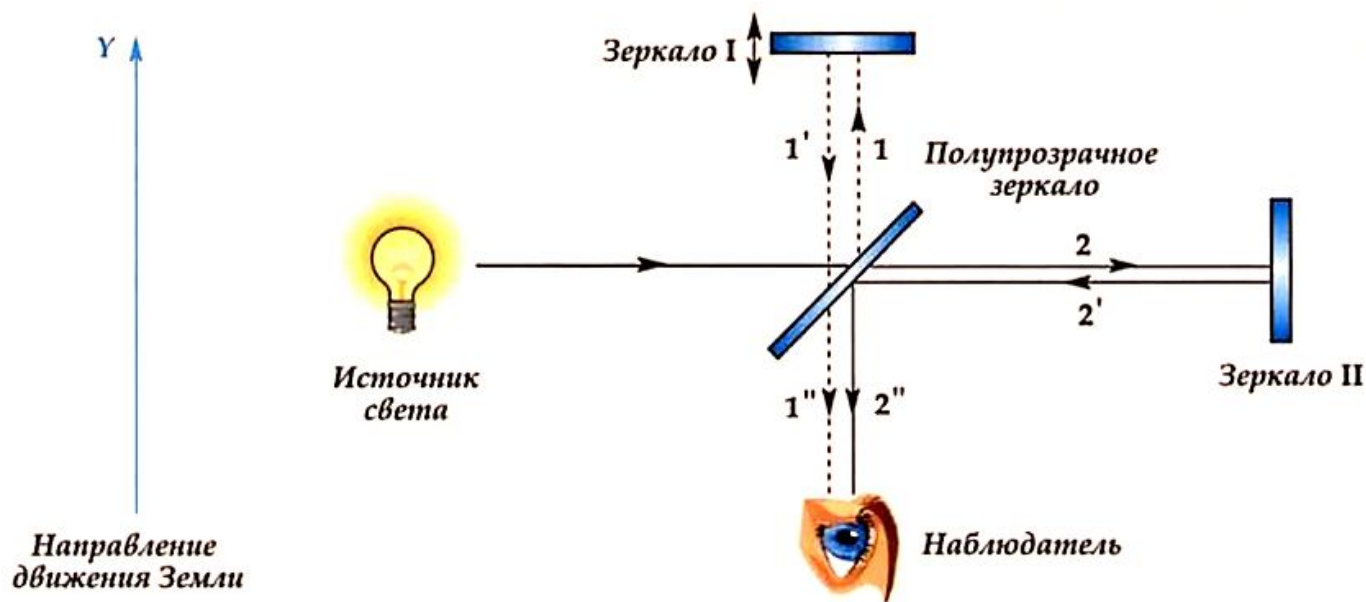
Неоднородные пространство и время



Постулаты специальной теории относительности

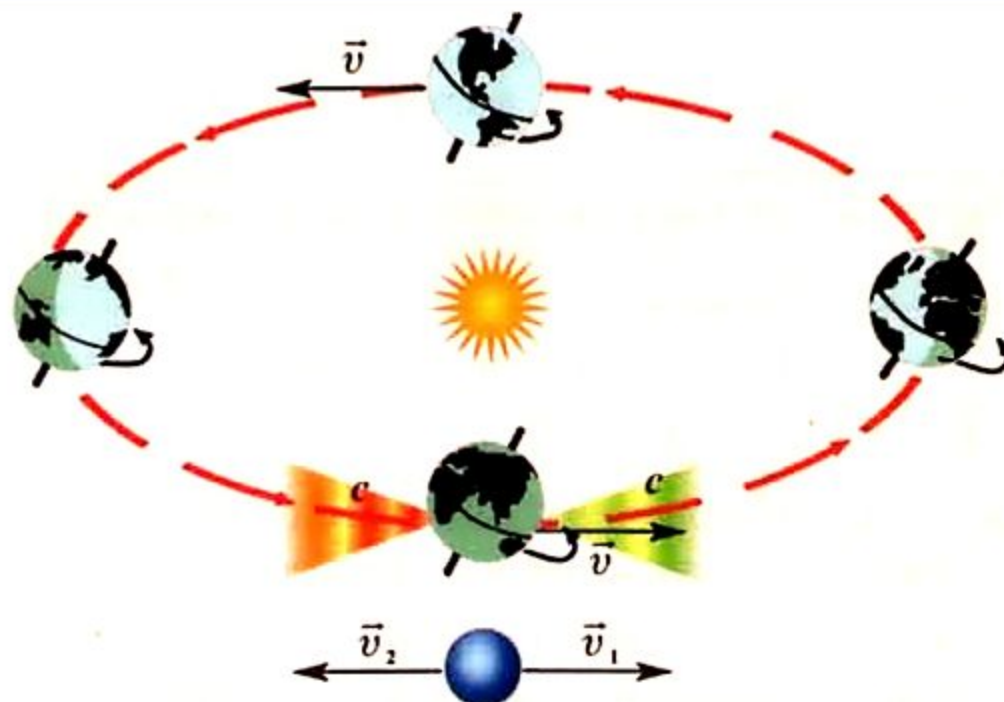
ОПЫТ МАЙКЕЛЬСОНА - МОРЛИ

①



СКОРОСТЬ СВЕТА ПРИ ДВИЖЕНИИ ЗЕМЛИ ВОКРУГ СОЛНЦА

①



$\vec{v}_1, \vec{v}_2$ – скорость распространения света вдоль
и против движения Земли

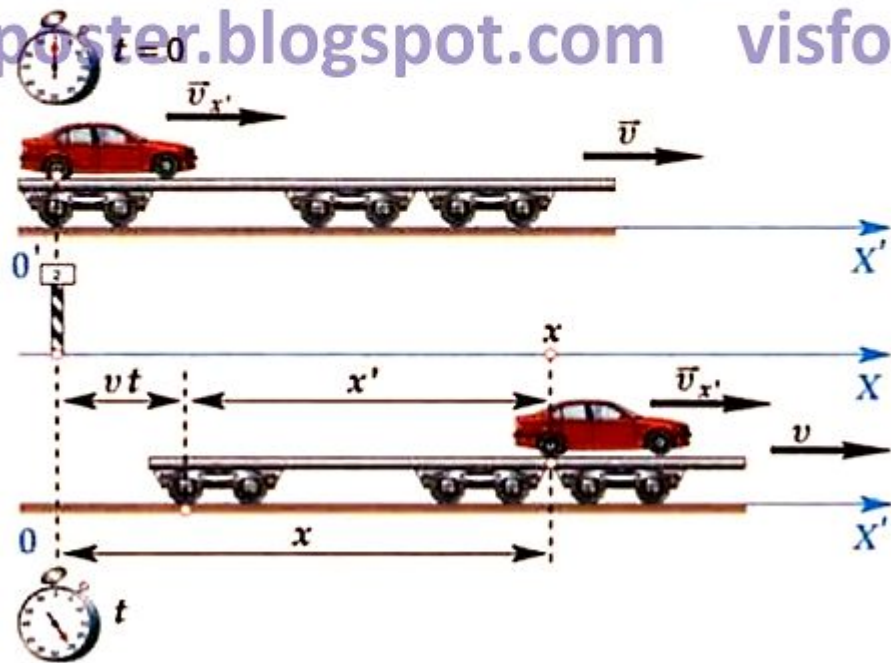


Постулаты СТО

- 1 Принцип относительности (все инерциальные системы отсчета эквивалентны по своим физическим свойствам)
- 2 Независимость скорости света от скорости источника (скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета)

ПЕРВЫЙ ПОСТУЛАТ СТО

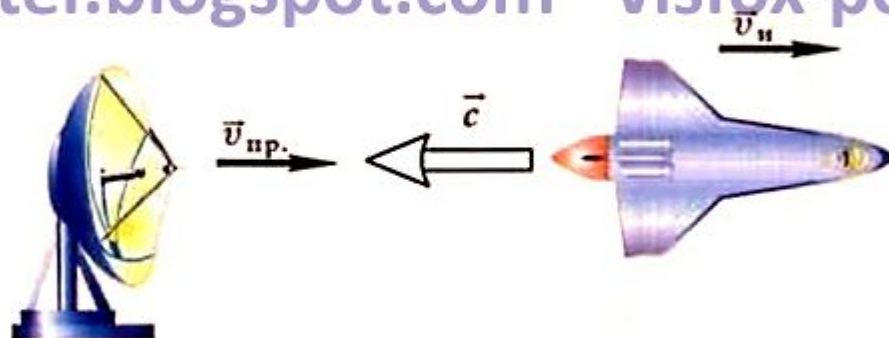
- ② Все законы природы имеют одинаковый вид в инерциальных системах отсчета



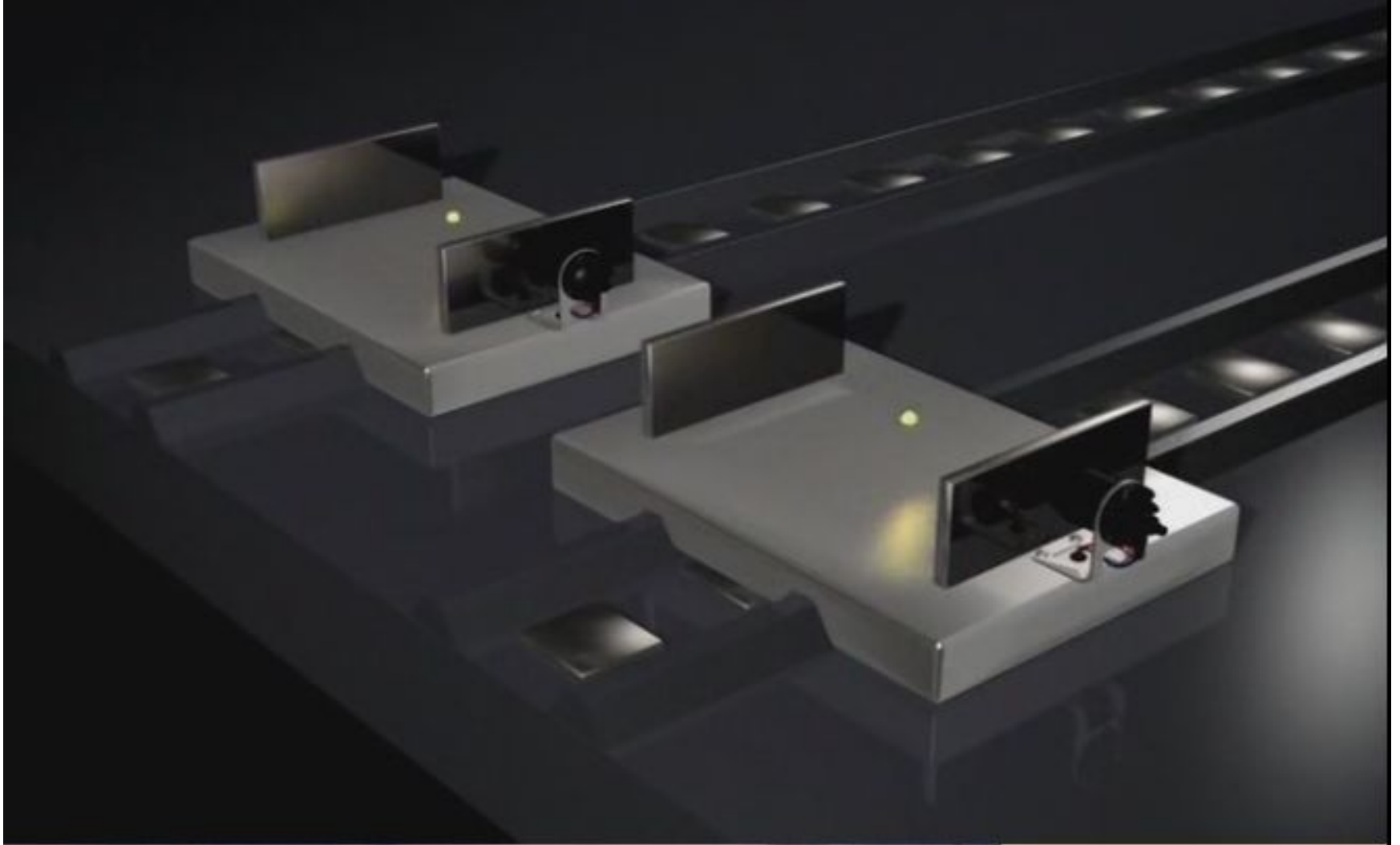
ВТОРОЙ ПОСТУЛАТ СТО

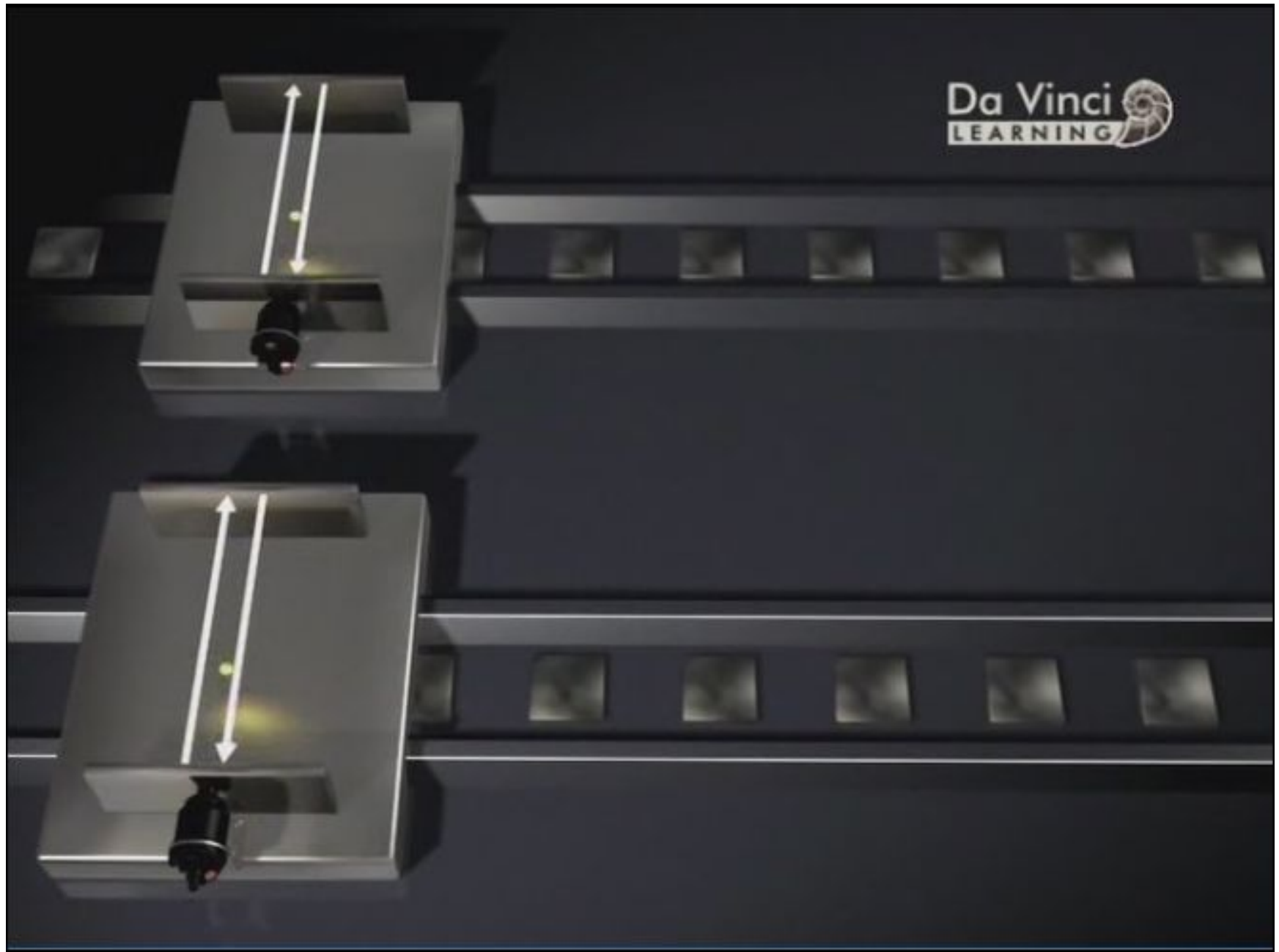
- ③ *Скорость света в вакууме одинакова во всех инерциальных системах отсчета*

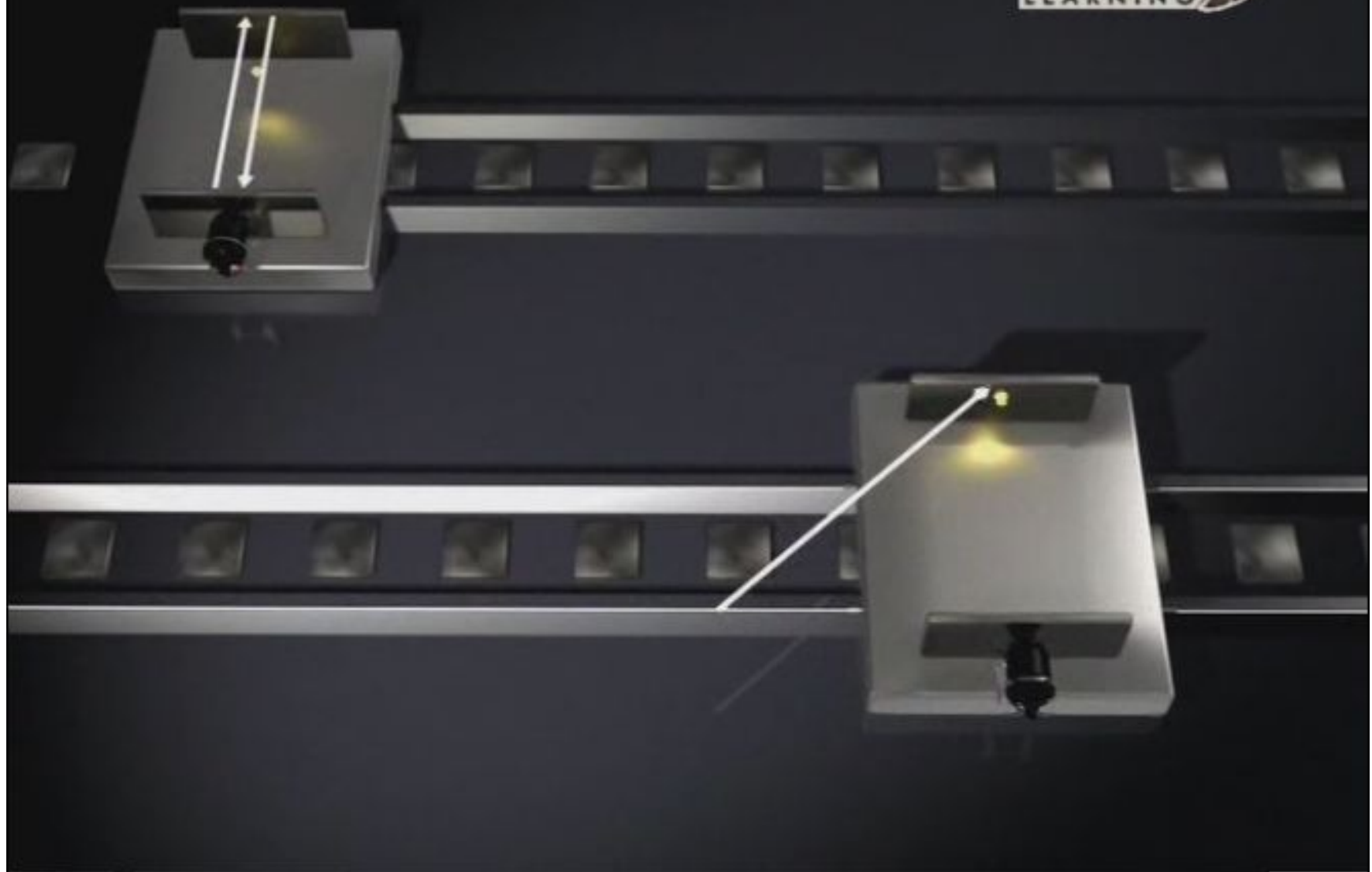
poster.blogspot.com visfox-poste

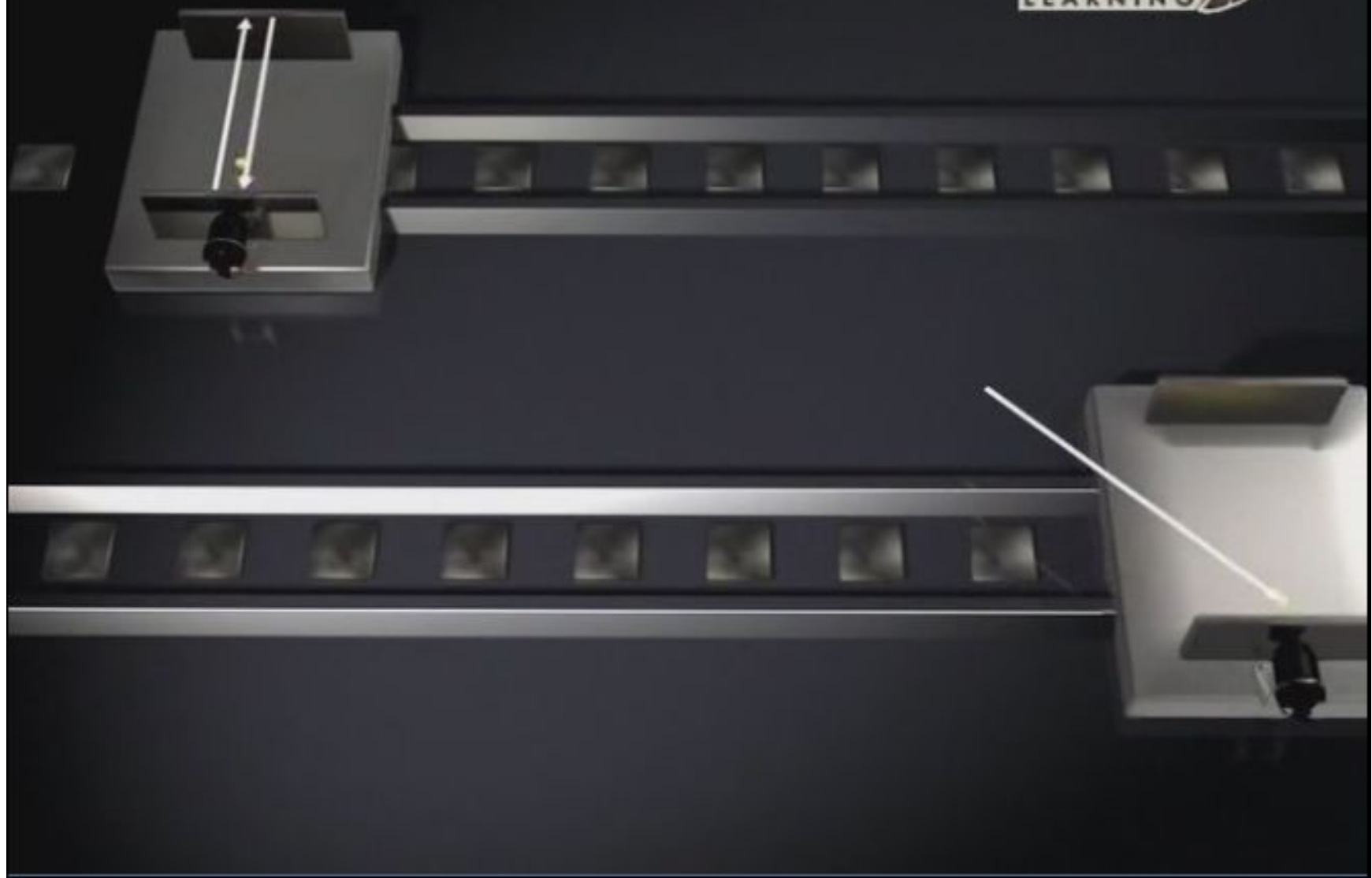


Скорость света – максимальная скорость распространения любого взаимодействия, не зависящая от скорости источника и приемника







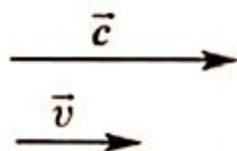


КЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

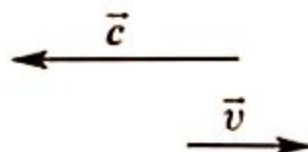
Согласно классическому закону сложения скоростей

②

$$v_1 = c + v$$



$$v_2 = c - v$$



ОПЫТ МАЙКЕЛЬСОНА-МОРЛИ

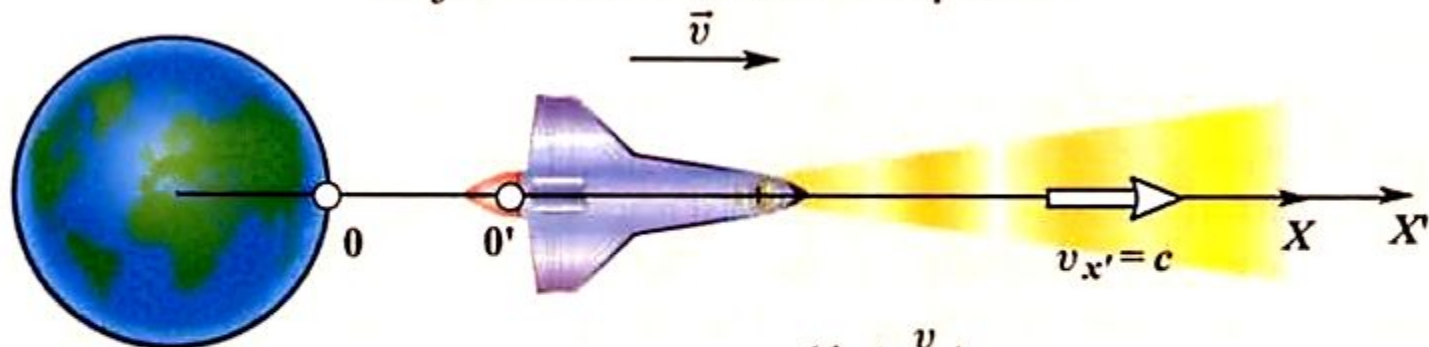
Скорость света в вакууме не зависит от выбора системы отсчета

③

$$v_1 = v_2 = c$$

Скорость света –
максимально возможная
скорость распространения
любого взаимодействия

*Скорость распространения светового сигнала,
излучаемого космическим кораблем*



$$v_x = \frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c \left(1 + \frac{v}{c}\right)}{1 + \frac{v}{c}} = c$$

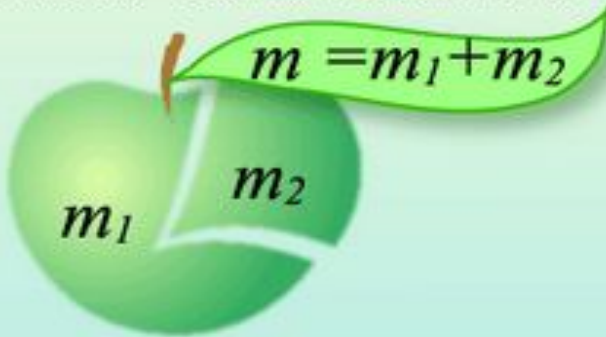
*Скорость света относительно Земли (неподвижная система отсчета)
равна скорости света в вакууме*

Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО

Свойства массы

Классическая механика

1. Выполняется закон сохранения массы и энергии.
2. Масса не зависит от скорости движения тела.
3. Масса – величина аддитивная.



$$m_{\text{системы}} = \sum_{i=1}^N m_i$$

Релятивистская механика

1. Выполняется закон сохранения массы и энергии.

$$m = m_0 + \frac{E}{c^2}$$

2. Масса зависит от скорости.

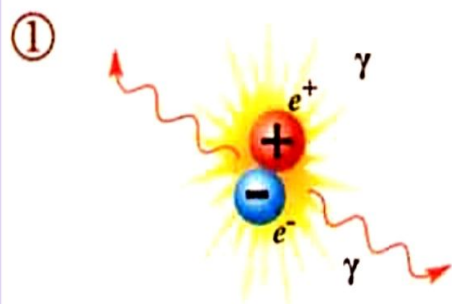
$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

3. Масса – величина неаддитивная.

Масса ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс составляющих его протонов и нейтронов.

ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЕ ВЕЩЕСТВА И ПОЛЯ

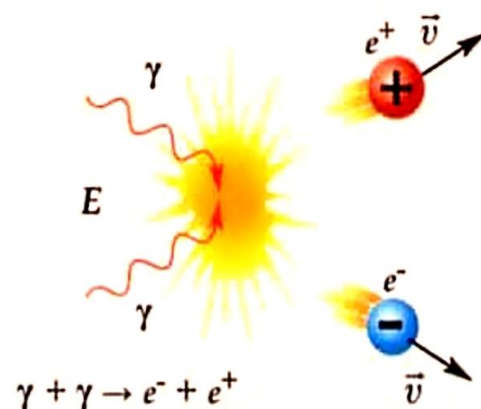
Аннигиляция электрон-позитронной пары



$$e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$$

γ – фотон (частица - переносчик
электромагнитного
взаимодействия)

②



$$\gamma + \gamma \rightarrow e^- + e^+$$

$$E \geq 2m_e c^2$$

$$E_0 = mc^2$$

Энергия покоя
частицы

$$E_0 = mc^2$$