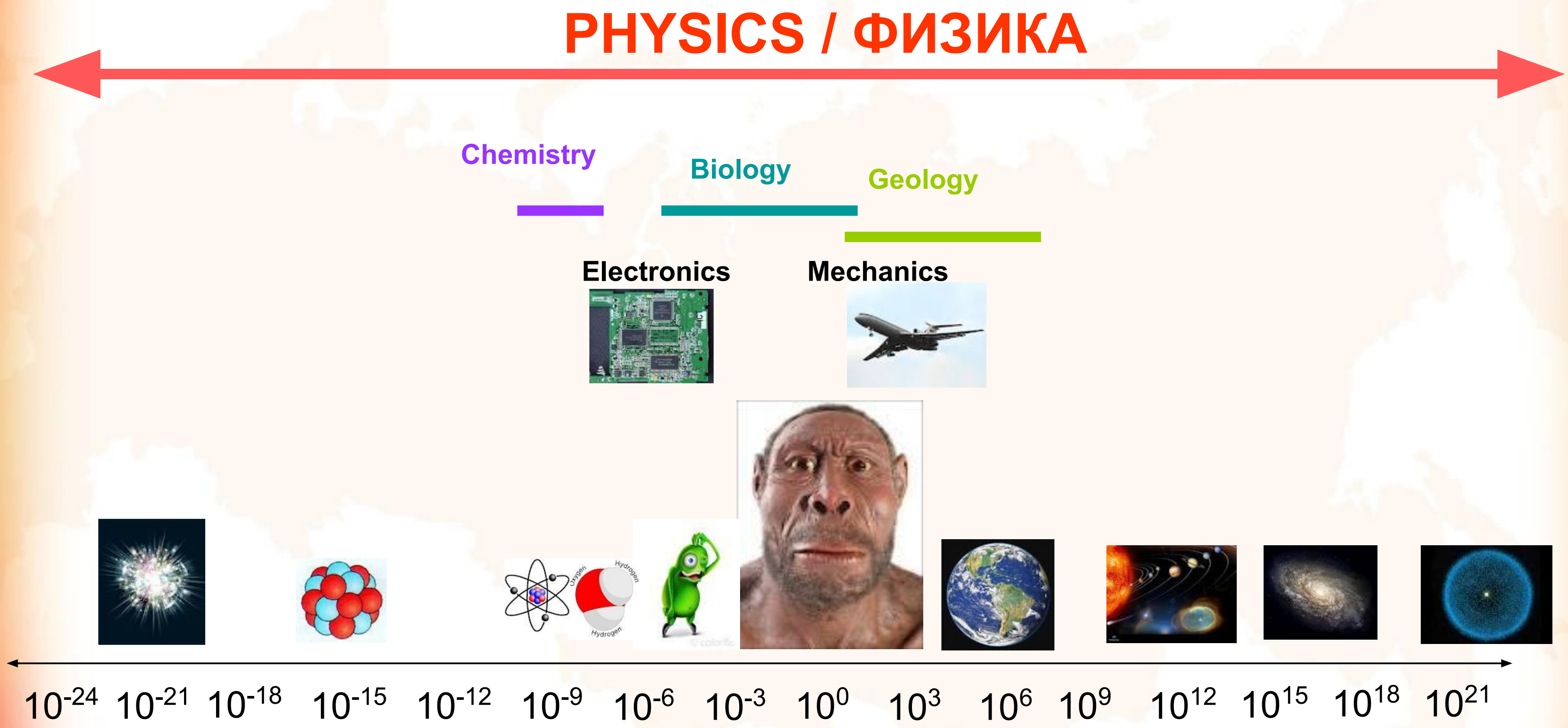
Общая физика / General Physics
Курс «Механика (Движение)»
Лекция 01

Что такое Физика?
Welcome to Physics!

Лектор: доцент Андрей Станиславович ОЛЬЧАК
Lecturer: Andrey OLCHAK, DSc

Чем занимается Физика?
The Scope of Physics



Scale in meters / Шкала в метрах

Что такое Физика? / What is Physics?

ФИЗИКА – способ познания мира, с помощью эксперимента, здравого смысла и логики

ВАЖНО! Физика начинается там, где появляется возможность использовать математику ***с предсказательной силой***!

Простейший случай, где это удается – описание **движения** простых тел (МЕХАНИКА).

Что такое Физика? / What is Physics?

- ФИЗИКА – способ познания мира, с помощью эксперимента, здравого смысла и логики
ВАЖНО! Физика начинается там, где появляется возможность использовать математику ***с предсказательной силой***!
Простейший случай, где это удается – описание **движения** простых тел (МЕХАНИКА).

Движение – изменение положения тела в пространстве
Простейший случай: **материальная точка** => тело, размерами и ориентацией в пространстве которого в данной задаче можно пренебречь.
Положение материальной точки в пространстве определяется всего тремя числами – **координатами**.
Чтобы начать заниматься физикой – надо знать, что такое система координат и как ей пользоваться. Но не только это…

Что надо знать, начиная изучать Физику? / What shall one know begining learning Physics?

Понятия и математические инструменты, необходимые, чтобы начать изучать физику

Concepts and Mathematical Tools, necessary to begin learning Physics

- Умение считать (арифметика)
- Элементарные функции / *Elementary functions*
- Простые уравнения / *Equations*
- Производные и первообразные / *Derivatives and Anti-derivatives (Integrals)*
- Скалярные и векторные величины/ *Scalars and Vectors*
  - ***Координаты*** (*x*, *y*, *z*) / *Coordinates*
  - ***Перемещение, скорость, ускорение*** / *translational motion, velocity, acceleration*
- Графики / *Charts*

Умение считать

Цифры и числа

Позиционную десятичную систему счисления, которую мы привычно используем сегодня

- изобрели в ***Индии***, в VII веке н.э. (Ариабхата, Брахмагупта)
- В IX веке Мохаммед бен Муса Ал-Хорезми (~ 780 – ~850), описал ее в “Аль Китаб ал-Джебр - ва- ль -Иуккабаля" (алгоритм решения уравнений и счет «в столбик»)
- В XII веке книгу перевели на латинский язык под названием «*Algoritmi* de numero Indorum» (Книга об индийском счёте) «Книга об алгебре и мукабале»)
- В XVI с изобретением книгопечатания широко распространилась в Европе

5189
+ 106
5295

5 1 8 9
-4 3 0 6
1(-2) 8 3 =
= 8 8 3

5189
x 106
31134
5189
550034

9251 | 4
8 2312,75
12
12
05
4
11
8
30
28
20
20
0

√2,00_00_00-… = 1,4142…
1
1,00
,96 = 24x4
4 00
2 81 = 281x1
1 19 00
1 12 96 = 2824x4
6 04 00
5 65 64 = 28282x2
……..

Умение считать

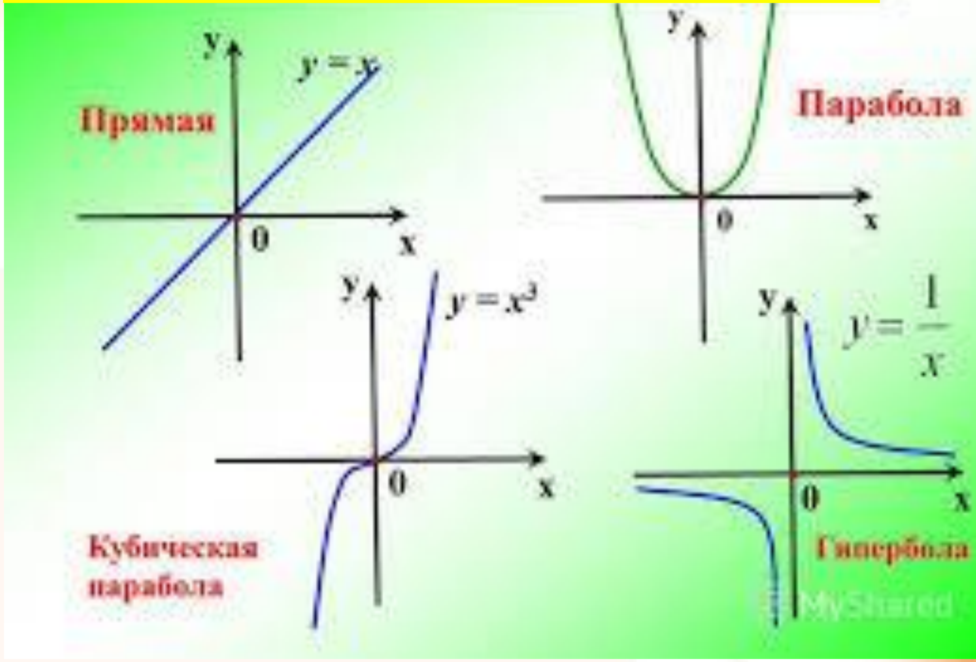
Умение считать в уме, быстро и приближенно, абсолютно необходимо и инженеру, и физику!

Картина Н.П. Богданова-Бельского «Устный счет. В народной школе С.А. Рачинского», Картина написана в 1895 году.

Пример записан на доске мелом:

$$(10^2 + 11^2 + 12^2 + 13^2 + 14^2) / 365 = ?$$

Простые степенные функции



Степенные функции

$f(x) = ax + b$ – линейная функция

$f(x) = ax^2 + bx + c$ – квадратичная функция

….

$f(x) = kx^a$ – степенная функция.

a - показатель степени (любое число - целое или дробное, положительное или отрицательное, действительное или мнимое)

Элементарные функции / Elementary functions

Степенные функции

$f(x) = ax + b$ – линейная функция

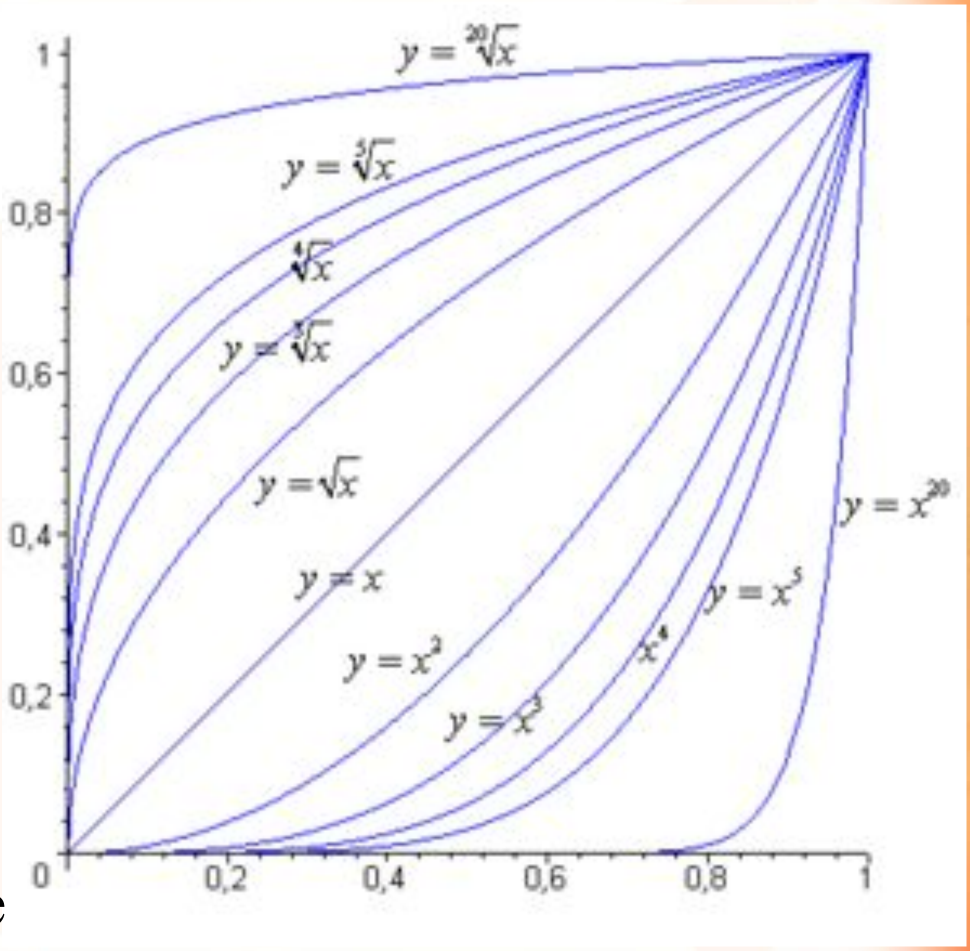
$f(x) = ax^2 + bx + c$ – квадратичная функция

….

$f(x) = kx^a$ – степенная функция.

a - показатель степени (любое число - целое или дробное, положительное или отрицательное, действительное или мнимое)

- Дробные степенные функции

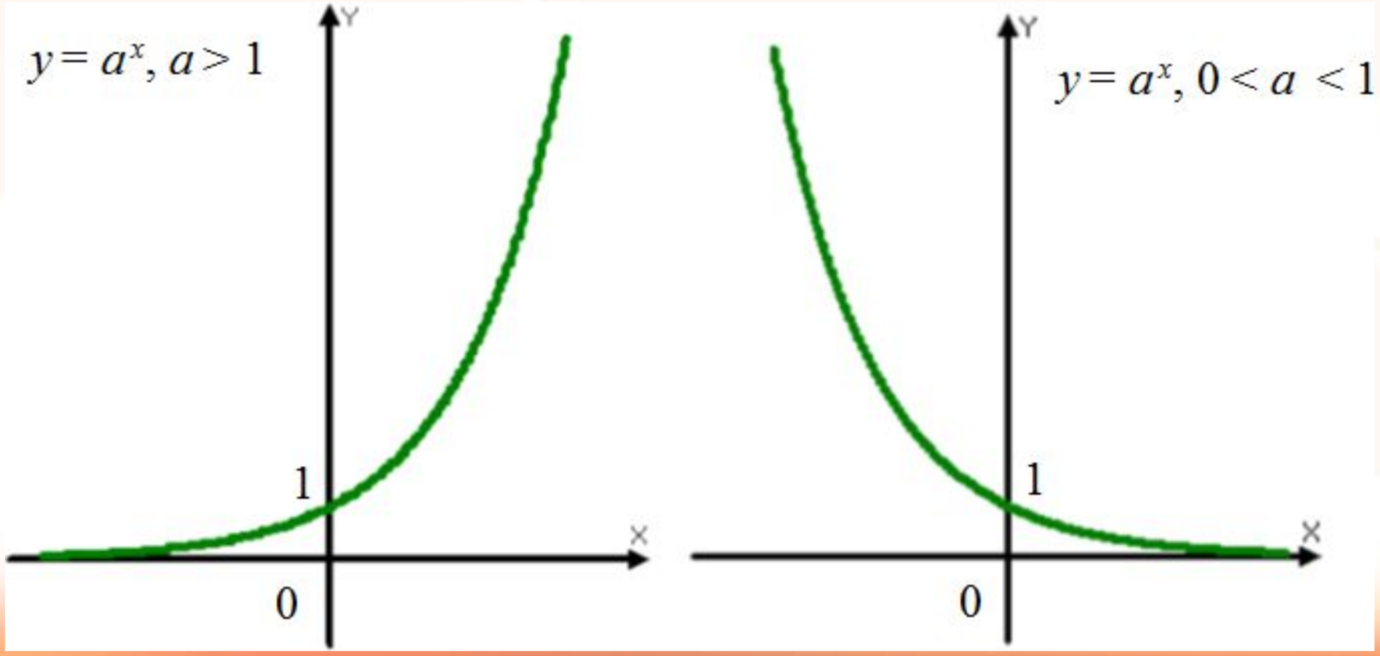


Показательные функции

$f(x) = a^x$ - $a>0$ – основание степени,

$f(x) = e^x$ - экспонента. Стандартная показательная функция

$e = 2{,}718281828\ldots$ $a^x = (e^{\ln a})^x$



Логарифмы

Если $x = a^y$, то $y = \log_a x$

$f(x) = \log_a x$ - a (>0) – основание логарифма, x (> 0)

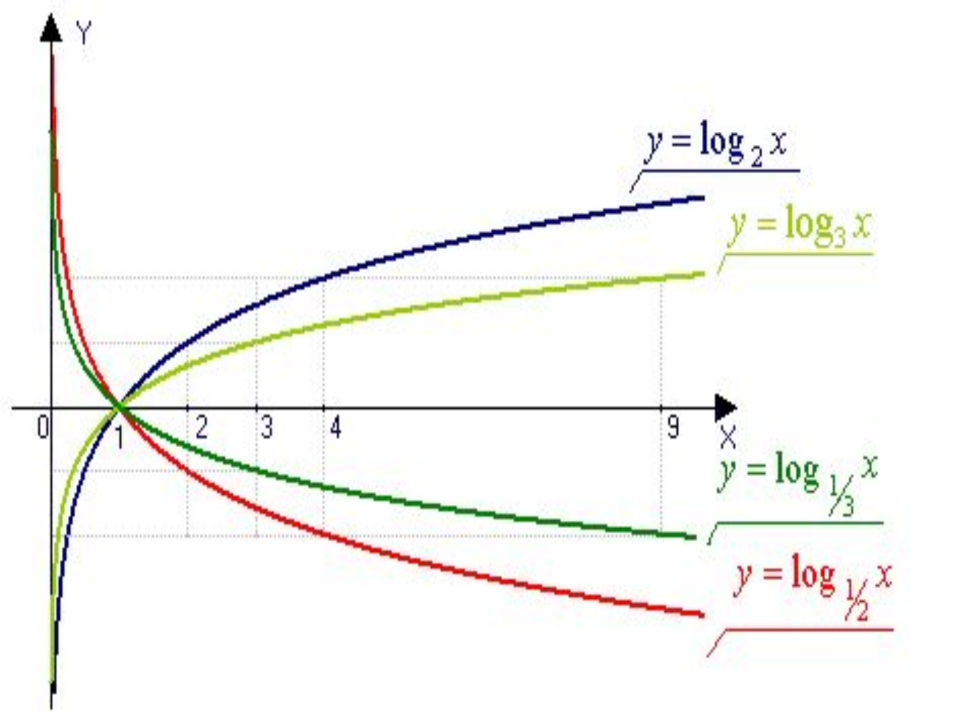
$f(x) = \log_2 x$ - двоичный логарифм

$f(x) = \log_{10} x$ - десятичный логарифм

$f(x) = \log_e x = \ln x$ – натуральный логарифм,

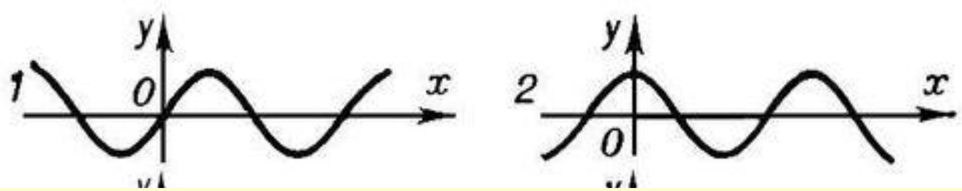
$e = 2{,}718….$

$\log_a x = \ln x / \ln a$



Тригонометрическая гармоническая функции

sin x   cos x



cos x = *sin* (*x* + π/2),

sin x = *cos* (*x* - π/2),

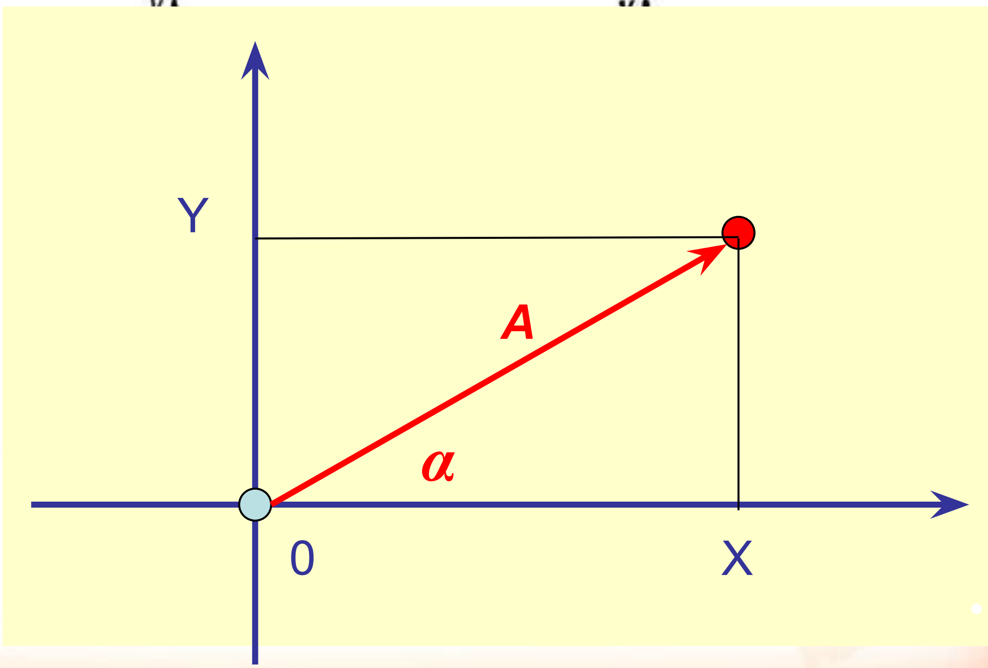
π = 3,1415…….

f(x) = *cos* (*x* + φ),

φ – начальная фаза (любое

x = *A cos* α

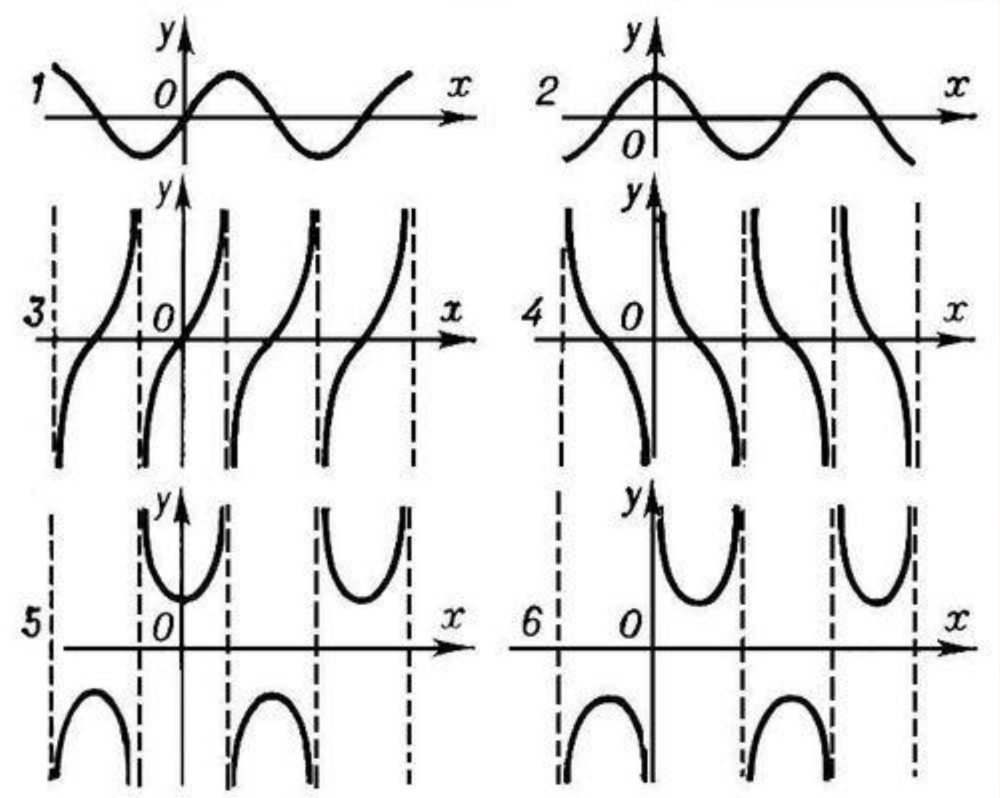
y = *A sin* α



Другие **тригонометрические функции**

tg x = sin x / cos x;
ctg x = cos x / sin x

1/cos x   1 / sin x



Тригонометрические формулы

$sin(a+b) = sin(a)cos(b) + cos(a)sin(b) \Rightarrow sin(2a) = 2sin(a)cos(a)$

$cos(a+b) = cos(a)cos(b) - sin(a)sin(b) \Rightarrow cos(2a) = cos^2(a) - sin^2(a)$

$\Rightarrow 1 = cos^2 a + sin^2 a$

$cos(a)cos(b) = ½(cos(a+b) - cos(a-b))$, etc…

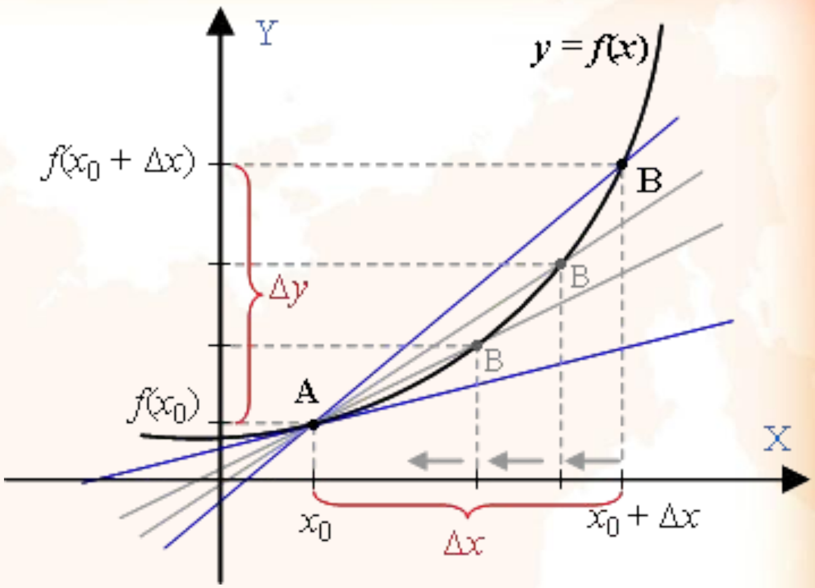
ГЛАВНАЯ ФОРМУЛА (ф-ла Эйлера):

$exp(ix) = cos\ x + i\ sin\ x;\ exp(-ix) = cos\ x - i\ sin\ x$

$cos\ x = [exp(ix) + exp(-ix)]/2$

$sin\ x = [exp(ix) - exp(-ix)]/2i$

Произво́дная (функции в точке) — предел отношения приращения функции к приращению её аргумента при стремлении приращения аргумента к нулю.



$$f'(x) = (f(x+\Delta x) - f(x))/\Delta x = df/dx$$

при $\Delta x \to 0$

Производные / Derrivatives

Таблица производных.

1. $C' = 0;$
2. $x' = 1;$
3. $(Cu)' = C \cdot u';$
4. $(x^n)' = nx^{n-1};$
5. $(\sqrt{x})' = \frac{1}{2\sqrt{x}};$
6. $\left(\frac{1}{x}\right)' = -\frac{1}{x^2};$
7. $(\sin x)' = \cos x;$
8. $(\cos x)' = -\sin x;$
9. $(\mathrm{tg}\,x)' = \frac{1}{\cos^2 x};$
10. $(\mathrm{ctg}\,x)' = -\frac{1}{\sin^2 x}.$

Правила дифференцирования.

I. $(u + v)' = u' + v';$

II. $(uv)' = u'v + uv';$

III. $\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{u'v - uv'}{v^2};$

IV. $\left(\frac{1}{v}\right)' = -\frac{v'}{v^2}.$

$(e^x)' = (\ln a)\, e^x;$ $\quad (a^x)' = (e^{x \ln a})' = (\ln a)\, e^x$

$(\ln x)' = 1/x;$ $\quad (\log_a x)' = 1 / (\ln a) x$

$(\cos x)' = -\sin x;$ $\quad (\cos x)'' = (-\sin x)' = -\cos x$

Первообразные / Anti-derivatives

$$f(x) = F'(x)$$

Функция $f(x)$ есть (=) *производная* (‘) от функции $F(x)$

$$F(x) = \int dx f(x)$$

Функция $F(x)$ есть (=) *первообразная* ($\int dx$) от функции $f(x)$

.. но(!) есть небольшая разница, незаметная в русском языке..

Любая функция $F(x) + C$ (где C – *любая* постоянная) *тоже будет первообразной* от функции $f(x)$

ПРИМЕР: Станислав отец (*единственный*) Андрея, но…
Андрей сын (*один из)* Станислава

$$F(x) = \int f(x)dx$$

Функция $F(x)$ есть (=) *первообразная* ($\int dx$) от функции $f(x)$

Зачем нужно это dx?

Если $f = f(x, y, z, ..)$ – нужно указать, *по отношению к какой переменной* (x, y, z, ..) производная или первообразная вычисляется.

$$f_1(x,y,z,..) = F'_x(x,y,z..) = dF(x,y,z,..)/dx$$

$$f_2(x,y,z,..) = F'_y(x,y,z..) = dF(x,y,z,..)/dy \quad , \text{ etc…}$$

$$F_1(x,y,z) = \int f(x,y,z,..)dx$$

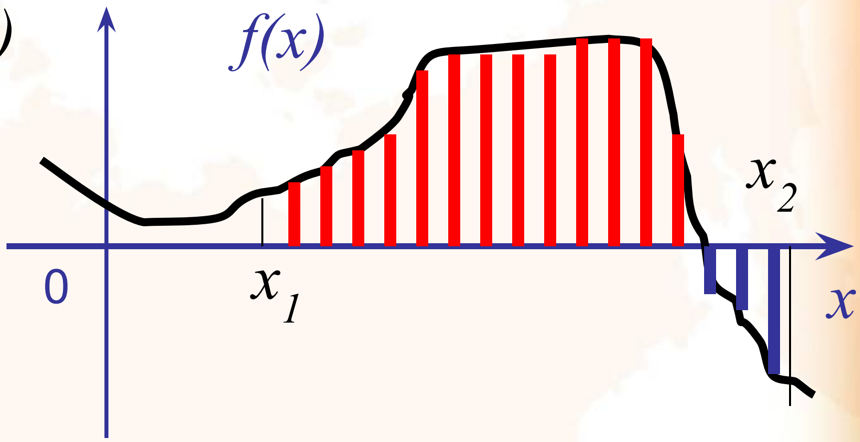
$$F_2(x,y,z) = \int f(x,y,z,..)dy \quad , \quad \text{etc…}$$

Определенный интеграл / Definite integral

$$F(x) = \int f(x)dx$$

Функция $F(x)$ - первообразная от $f(x)$

$$F(x_2) - F(x_1) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$



Определенный интеграл от $f(x)$ на участке от x_1 *до* x_2

Геометрический смысл определенного интеграла: он численно равен площади под графиком функции $f(x)$ между точками x_1 и x_2 .
Площади *под* осью абсцисс учитывается с отрицательным знаком

$ax + b = 0 \quad => x = -b/a$ - линейное уравнение

$ax^2 + bx + c = 0 =>$ квадратное уравнение;

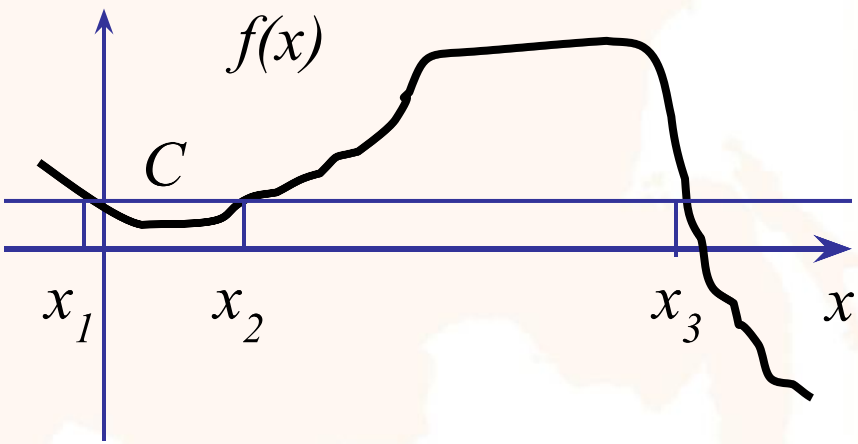
$x_{1,2} = (-b \pm (b^2 - 4ac)^{1/2})/2a$

$f(x) = C \qquad =>$

алгебраическое уравнение.

Решения – числа

$x_1, x_2, x_3, \ldots$



Уравнения / Equations

$f(x) = C$ - алгебраическое уравнение. Решения - числа

$G(x) = af(x) + bf'(x) + cf''(x) + ..$

- дифференциальное уравнение. Решения – функции!

Примеры: $f'(x) + af(x) = 0 \quad \Rightarrow f(x) = A\exp(-ax)$

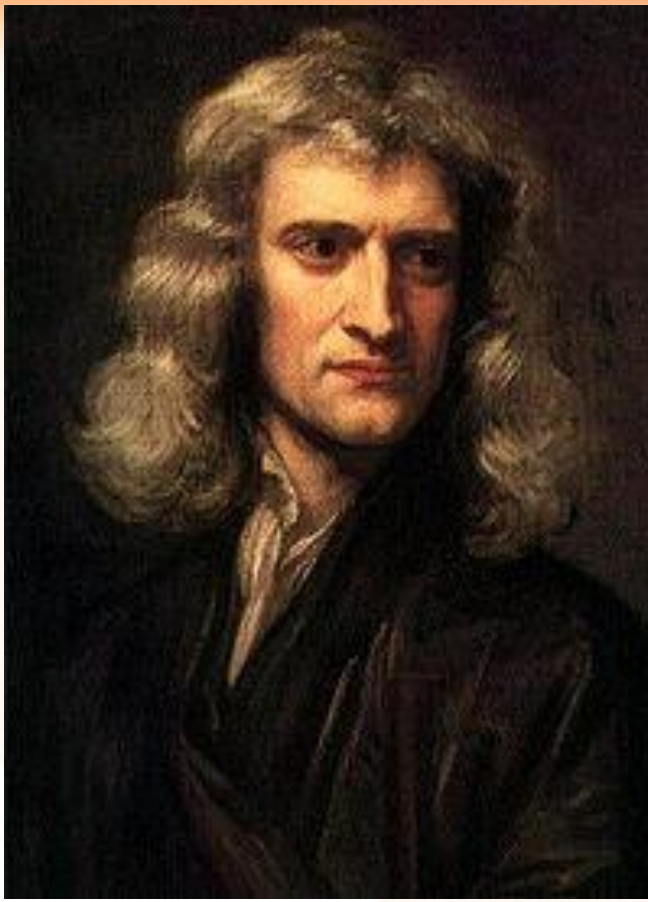
$f''(x) + af(x) = 0 \quad \Rightarrow f(x) = A\exp(ia^{1/2}x) + B\exp(-ia^{1/2}x) =$

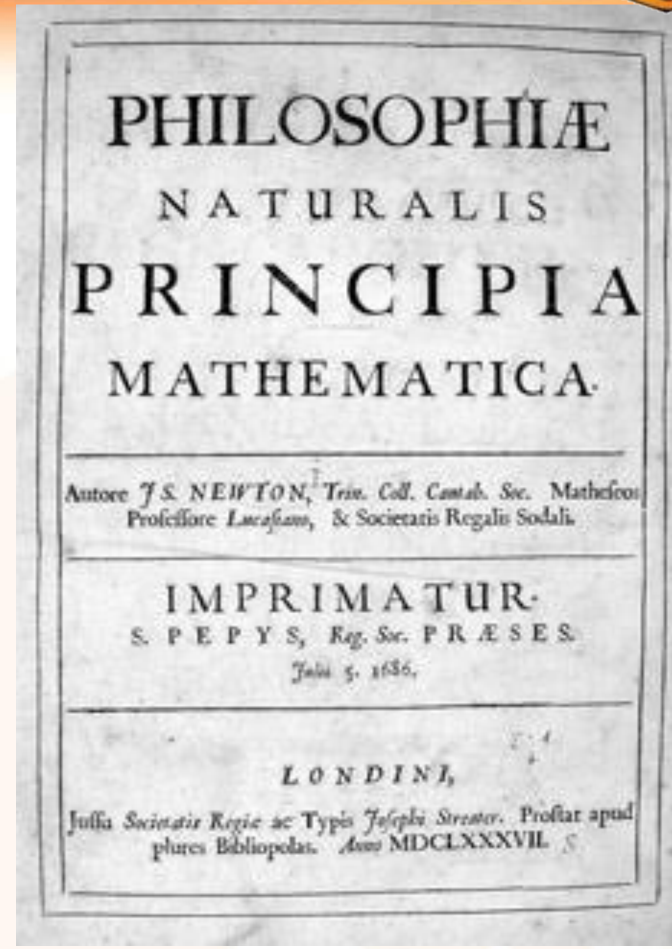
$= A\cos(a^{1/2}x) + B\sin(a^{1/2}x)$

A, B – любые числа (константы), нужной размерности. Их можно (нужно) найти из дополнительных (начальных) условий задачи (если $f(x=0)=1$, то $A = 1$), а чтобы найти B нужно знать еще одно условие (например, если $f'(x=0)=0$, то $B = 0$)

Идея: если движение точки описывают функции $x(t);\ y(t);\ z(t)$, то зная начальные значения и зная дифференциальные уравнения, которым подчиняются эти функции, можно рассчитать их значения в любой момент времени!

Isaac Newton





PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore *J S. NEWTON*, *Trin. Coll. Cantab. Soc.* Matheseos Professore *Lucasiano*, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, *Reg. Soc.* PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,

Jussu *Societatis Regiæ* ac Typis *Josephi Streater*. Prostat apud plures Bibliopolas. *Anno* MDCLXXXVII.

Сэр Айзек Ньютон (Isaac Newton, 1643-1727) и его главный труд - «Натуральная Философия и Принципы Математики», London, 1687.

Физика до Ньютона

Общая теория движения (механика) ***Аристотеля***:
Движения бывают ***естественные*** (не требующие для объяснения никакой специальной причины) и ***вынужденные***. Естественно**:**

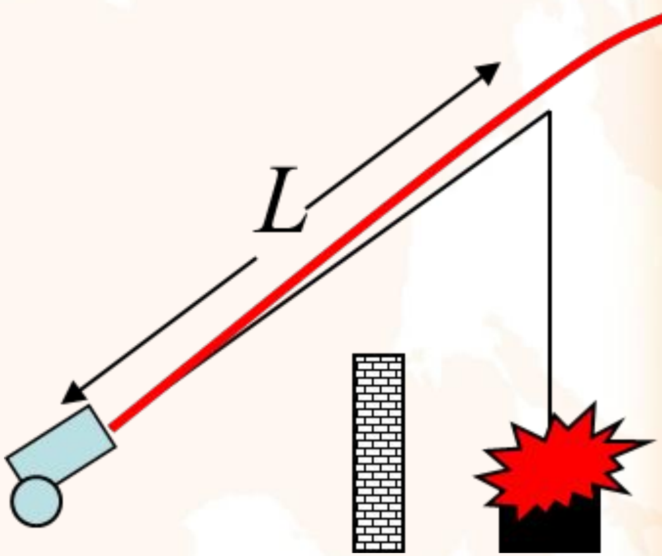
- Тяжелым телам *естественно* падать вниз
- Легким (дым от костра) *естественно* устремляться вверх
- Небесным телам *естественно* двигаться по окружностям (Луна, Солнце, звезды) или по орбитам = наложениям нескольких круговых движений (планеты).

Все остальные виды движений требуют или постоянного приложения некой вынуждающей силы (ноги движут человека, лошадь тянет телегу, гребцы веслами толкают лодку и т.п.**) или –** в терминологии ‘физики v.0’ **– надо придать телу однократно некоторый «импетус»** (например, бросил камень – он летит)

Физика до Ньютона

Общая теория движения (механика) ***Аристотеля***:
Все остальные виды движений требуют или постоянного приложения некой вынуждающей силы (ноги движут человека, лошадь тянет телегу, гребцы веслами толкают лодку и т.п.**) или –** в терминологии ‘физики v.0’ **– надо придать телу однократно некоторый «импетус»** (например**,** бросил камень – он летит)

Величина придаваемого телу *импетуса* пропорциональна «величине двигателя» и времени его действия, а расходуется импетус на совершение телом некоторого перемещения. также пропорционального величине импетуса, и обратно пропорционального «величине движимого».



В современных обозначениях:

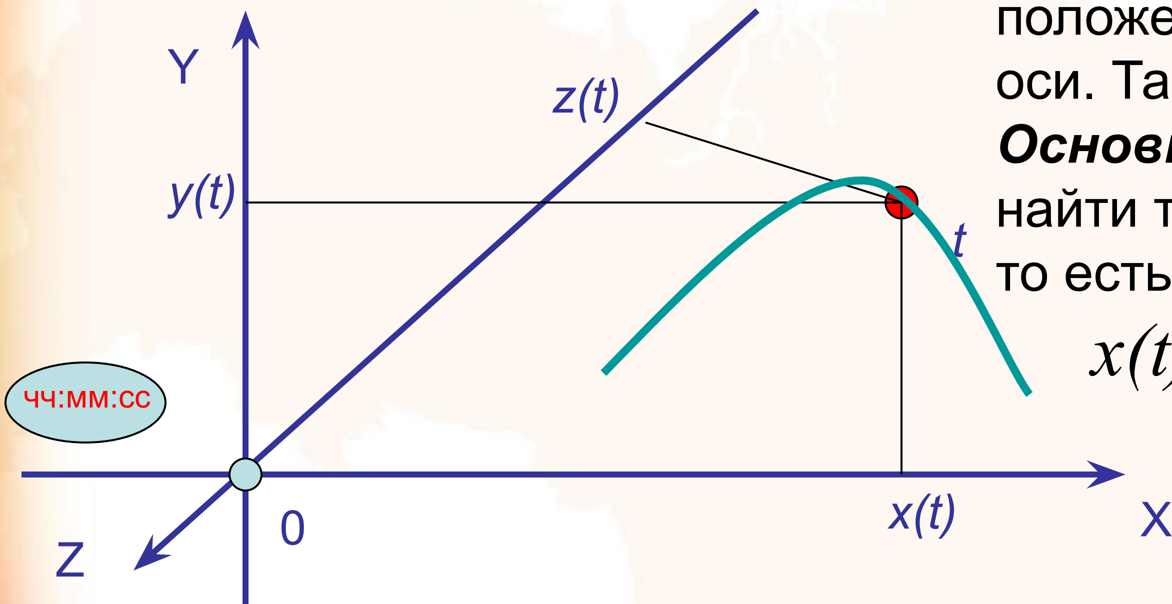
$$impetus = F\Delta t = m\Delta S, \text{ или}$$

$$F = m\Delta S/\Delta t = mv$$

Уравнения / Equations

$$G(x) = af(x) + bf'(x) + cf''(x) + ..$$

- дифференциальное уравнение. Решения – функции!



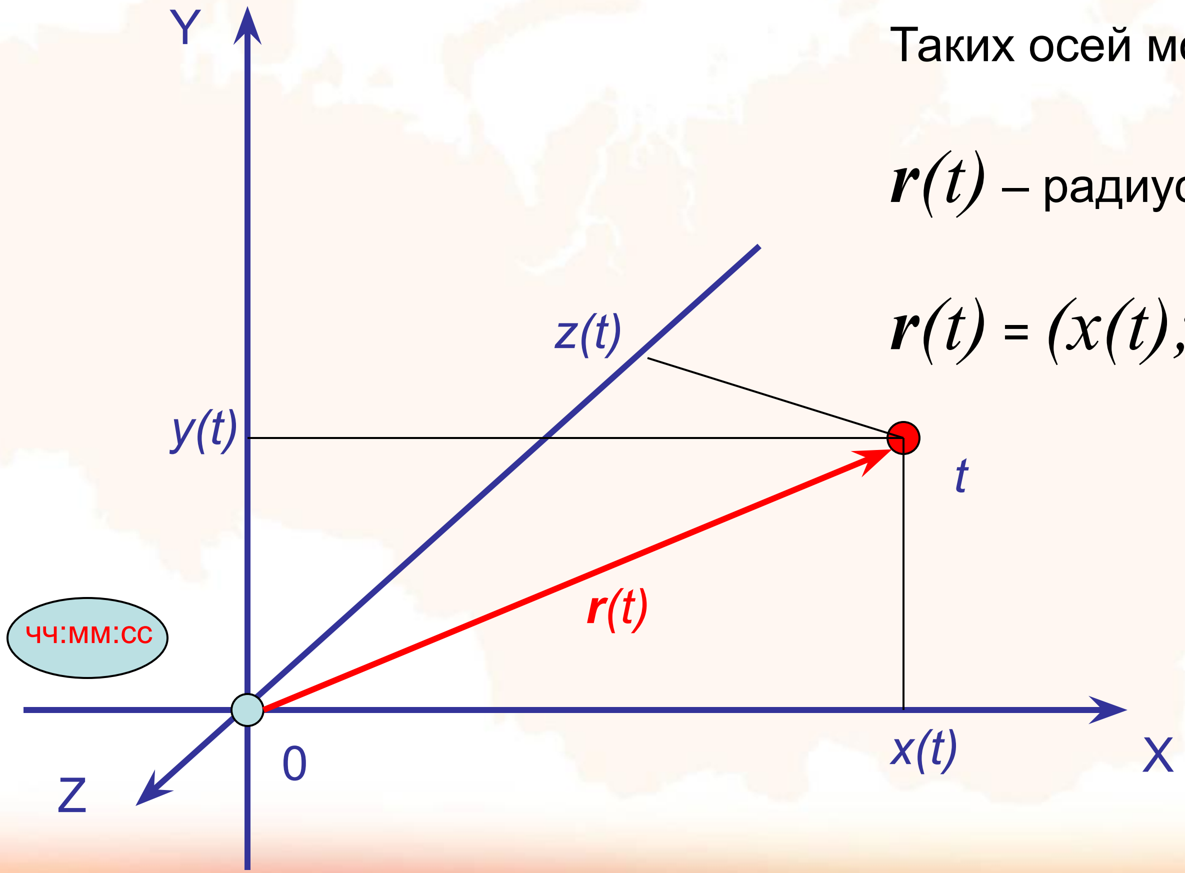
В декартовой системе отсчета: координаты – проекции положения точки на координатные оси. Таких осей три.

Основная задача механики – найти траекторию движения – то есть найти три функции

$$x(t);\ y(t);\ z(t)$$

Способ решения: найти дифференциальные уравнения, которым подчиняются функции $x(t);\ y(t);\ z(t)$

Материальная точка, ее координаты, система отсчета



В декартовой системе отсчета: координаты – проекции положения точки на координатные оси.

Таких осей может быть три.

$\boldsymbol{r}(t)$ – радиус-вектор точки

$\boldsymbol{r}(t) = (x(t);\ y(t);\ z(t))$

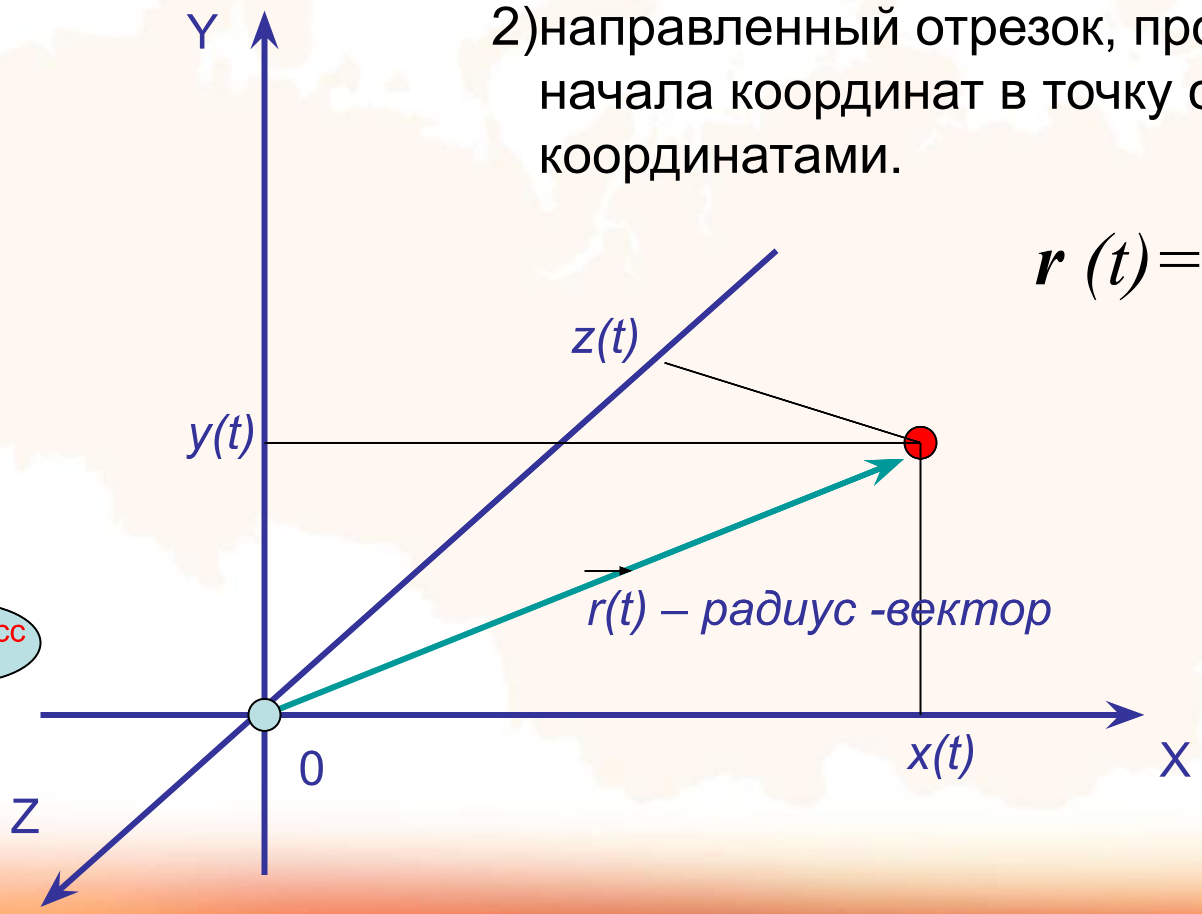
Радиус -вектор материальной точки. Орты

Радиус вектор материальной точки $\vec{r}$ – это

1)совокупность трех ее координат (тройка чисел)

2)направленный отрезок, проведенный из начала координат в точку с данными координатами.

$$\mathbf{r}\ (t)= \{x(t),\ y(t),\ z(t)\}.$$



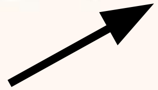
чч:мм:сс

Элементарные сведения о векторах (1)

ВАЖНО: очень многие величины в физике (в частности - в механике) являются векторными: радиус вектор материальной точки, скорость, ускорение, а также импульс, момент импульса, сила и др.

Геометрический подход: Вектор = направленный отрезок, который Имеет абсолютную величину (модуль) и направление.

$\vec{a}$



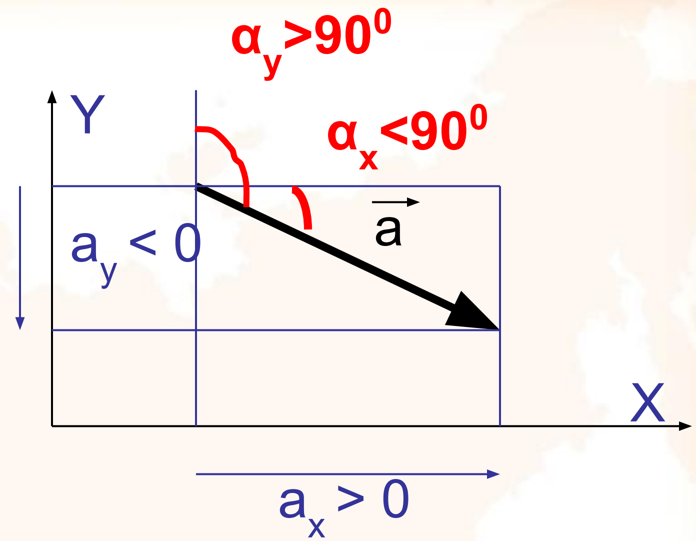
Важно: параллельные вектора одинаковой величины считаются равными

$\vec{a}$ $\vec{a}$

Модуль вектора - неотрицательное число с размерностью соответствующей физической величины

Элементарные сведения о векторах (2)

Алгебраический подход: вектор = упорядоченная группа (тройка) чисел. Удобнее всего определить вектор через его проекции на координатные оси: **проекция** - расстояние между точками пересечения с осью перпендикуляров, опущенных на эту ось из начальной и конечной точек вектора, взятое с соответсвующим знаком.



$$\boldsymbol{a} = (a_x\,, a_y\,, a_z\,)$$

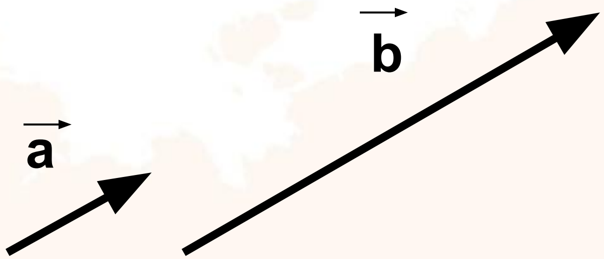
Проекция вектора на ось равна произведению модуля вектора на косинус угла между ним и положительным направлением этой оси:

$$a_x = |a|cos(\alpha_x) > 0 \;\; ; a_y = |a|cos(\alpha_y) < 0;$$

Элементарные операции над векторами (1)

Умножение на число: не меняет направление вектора, но только его величину

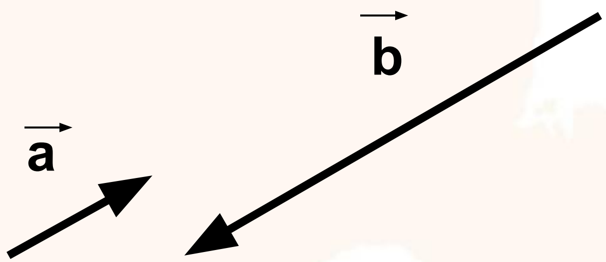
$\vec{\mathbf{b}} = k\vec{\mathbf{a}}$ => $k = |\mathbf{b}| / |\mathbf{a}|$



$$k\boldsymbol{a} = (ka_x, ka_y, ka_z)$$

Умножение на отрицательное число: меняет направление вектора на противоположное

$\vec{\mathbf{b}} = k\vec{\mathbf{a}}$ => $k = -|\mathbf{b}| / |\mathbf{a}|$



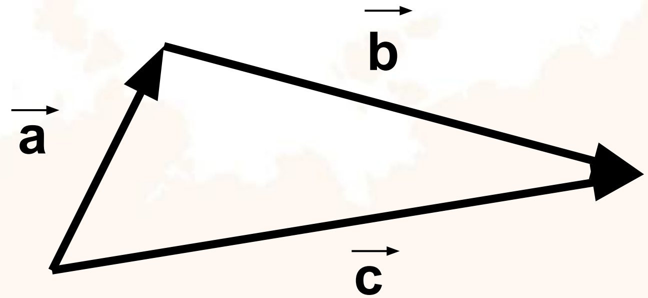
Элементарные операции над векторами (2)

Сложение векторов:

$\vec{\mathbf{c}} = \vec{\mathbf{a}} + \vec{\mathbf{b}}$

Начало второго вектора суммы прикладывается к концу первого

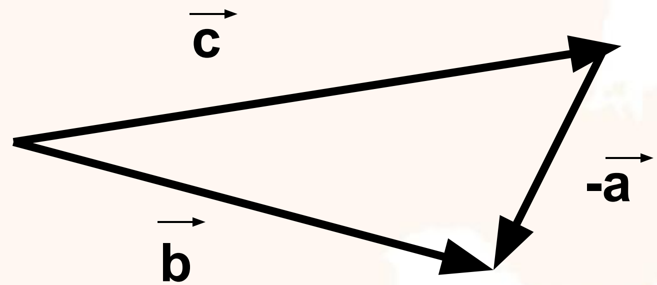
$\boldsymbol{c} = (c_x, c_y, c_z) = (a_x + b_x, a_y + b_y, a_z + b_z)$



Вычитание векторов:

$\vec{\mathbf{b}} = \vec{\mathbf{c}} - \vec{\mathbf{a}} = \vec{\mathbf{c}} + (-\vec{\mathbf{a}})$

- сводится к их сложению.

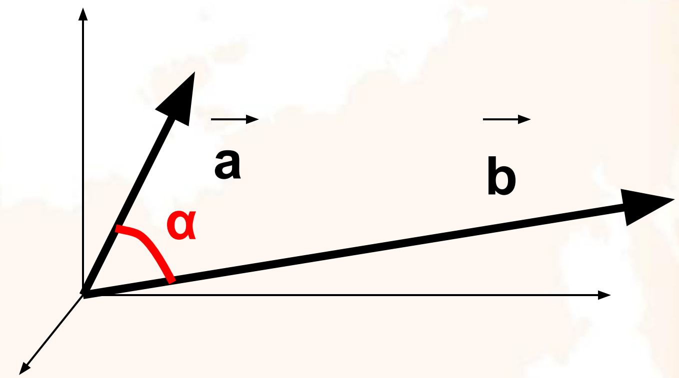


Важно: параллельные вектора одинаковой длины считаются равными

Элементарные операции над векторами (3)

Вектора определяются своими координатами :

$\vec{a} = \{a_x, a_y, a_z\}$; $\vec{b} = \{b_x, b_y, b_z\}$;



Скалярное произведение векторов :

$(\vec{a}, \vec{b}) = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z = |a||b|\cos(\alpha)$

Модуль вектора: корень квадратный из его скалярного произведения самого на себя:

$|a|^2 = (\vec{a}, \vec{a}) = a_x{}^2 + a_y{}^2 + a_z{}^2$ =>

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

Размерности физических величин

Почти каждая физическая величина имеет ту или иную ***размерность***, и соответствующую единицу измерения.

Единицы измерения могут быть разными. Например:
длину можно измерять в метрах, или в футах, или в милях. …
время - в секундах, или в часах, или в годах…
массу – в граммах, в килограммах, в фунтах …

Разные единицы удобны для измерений в разных масштабах (или традиционно применяются в разных странах и в разных областях деятельности).

Сравнивать разноразмерные величины – бессмысленно.
Что больше: 6 секунд или 3 метра - вопрос бессмысленный.
Но *одноразмерные* всегда можно сравнивать:
Пример: 250 метров/сек (скорость) = 900 км/час
Или: 1 баррель нефти (объем) = 158,9 литров = 0,1589 $м^3$

Системы физических величин

Разные единицы удобны для измерений в разных масштабах и/или традиционно применяются в разных странах и в разных областях деятельности.

В большинстве стран в технике и в инженерной деятельности принята т.н. Международная система единиц измерения SI.
В механике мы тоже будем использовать систему SI, хотя в других разделах физики часто применяются и другие, более удобные для них системы единиц, о которых поговорим позже.

В основе системы SI - три базовые единицы измерения
длины [l] – метр
времени [t] - секунда
массы [m] - килограмм

Прочие физические величины имеют сложные (комбинированные) размерности, задаваемые их физическими определениями..

Системы физических величин

В основе системы SI - три базовые единицы измерения
длины [l] – метр
времени [t] - секунда
массы [m] - килограмм

Прочие физические величины имеют сложные (комбинированными) размерности, задаваемые их физическими определениями.

ПРИМЕР: скорость $v = ds/dt$ -> м/с

сила $F = ma$ -> кг*м/с^2 = Ньютон (Н)

и т.д.

Системы физических величин

Для удобства измерений разных масштабов в системе SI используются десятичные кратные приставки:

Power	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	international	русское	international	
10^1	дека	deca	да	da	dal - decaliter
10^2	гекто	hecto	г	h	hPa - hectoPascal
10^3	кило	kilo	к	k	kN - kiloNewton
10^6	мега	mega	М	M	Mb - Megabite
10^9	гига	giga	Г	G	GHZ - TeraHerz
10^{12}	тера	tera	Т	T	TeV – Tera electronVolt
10^{15}	пета	peta	П	P	PF - Petagram
10^{18}	экса	exa	Э	E	Em - exameter
10^{21}	зетта	zetta	З	Z	Zs – Zetasecond
10^{24}	иотта	yotta	И	Y	Yg - Yottagram

Системы физических величин

Для удобства измерений разных масштабов в системе SI используются десятичные дольные приставки:

Power	Приставка		Обозначение		Пример
	русская	international	русское	international	
10^{-1}	деци	deci	д	d	dm - decimeter
10^{-2}	санти	centi	с	c	cm - centimeter
10^{-3}	милли	milli	м	m	ms - millisecond
10^{-6}	микро	micro	мк	µ	mkm – micrometer, micron
10^{-9}	нано	nano	н	n	nC - nanoCoulomb
10^{-12}	пико	pico	п	p	pF - picoFarad
10^{-15}	фемто	femto	ф	f	fs - femtosecond
10^{-18}	атто	atto	а	a	am - attometer
10^{-21}	зепто	zepto	з	z	zm - zeptometer
10^{-24}	иокто	yocto	и	y	yg – yottogram

Размерности физических величин

Сравнивать разноразмерные величины – бессмысленно.
Что больше: 6 секунд или 3 метра - вопрос бессмысленный.

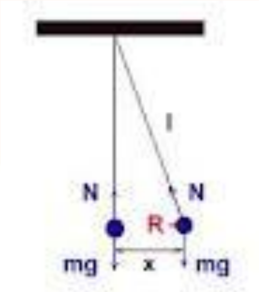
Складывать, вычитать, сравнивать и приравнивать можно только одноразмерные величины.

Благодаря этому, уже один анализ размерностей способен дать важную физическую информацию.

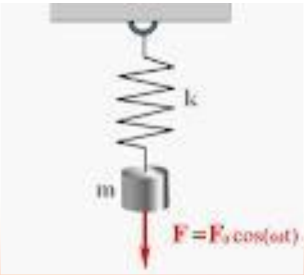
Пример анализа размерности

Качественный анализ:
- Параметры задачи
- Размерность
- Качественные оценки

Оценить (примерно) период колебаний (1) математического маятника и (2) пружинного маятника, не применяя законов Ньютона



Параметры: L [м], m [кг], g [м/с^2]

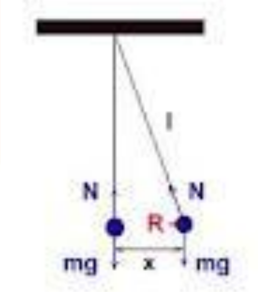


Параметры: k [кг/с^2], m [кг], g [м/с^2]

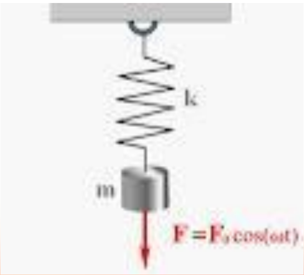
Пример анализа размерности

Качественный анализ:
- Параметры задачи
- Размерность
- Качественные оценки

Оценить (примерно) период колебаний (1) математического маятника и (2) пружинного маятника, не применяя законов Ньютона



Параметры: L [м], m [кг], g [м/с^2]



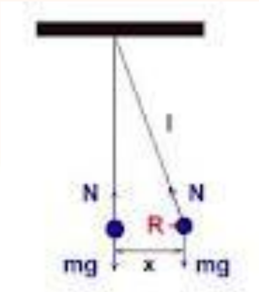
Параметры: k [кг/с^2], m [кг], g [м/с^2]

T [с] $\sim (m/k)^{1/2}$

Пример анализа размерности

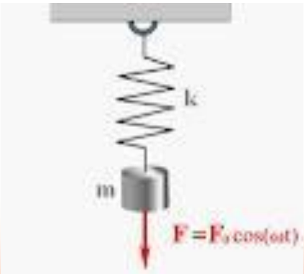
Качественный анализ:
- Параметры задачи
- Размерность
- Качественные оценки

Оценить (примерно) период колебаний (1) математического маятника и (2) пружинного маятника, не применяя законов Ньютона



Параметры: L [м], m [кг], g [м/с^2]

$$T\,[\text{с}] \sim (L/g)^{1/2}$$



Параметры: k [кг/с^2], m [кг], g [м/с^2]

$$T\,[\text{с}] \sim (m/k)^{1/2}$$

Пример анализа размерности

Качественный анализ:
- Параметры задачи
- Размерность
- Качественные оценки

«Хороший физик, до того, как начать решать уравнения, должен уметь угадать результат с точностью до численного коэффициента *порядка единицы*»
А.Б.Мигдал

$$Mg[\text{кг}*\text{м}/\text{с}^2] \sim \rho[\text{кг}/\text{м}^3]S^2[\text{м}^4]v^2[1/\text{с}^2] \Rightarrow$$

$$M \sim 1{,}3*10^2*10^2/10 \sim 10^3\ \text{кг} \sim 1\text{т}$$

Физические основы механики

Лекция 01

Спасибо за внимание!

Схема экспериментальной установки и график