



Курс общей физики НИЯУ МИФИ



Общая физика / General Physics

Курс «Механика (Движение)»

Лекция 03

Законы Механики Ньютона

2020.09.16 Лектор:

Доцент Андрей Станиславович ОЛЬЧАК

Lecturer: Andrey OLSHAK, DSc



## 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 удастся – 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 строить теорию движения - нужна система координат и умение ей пользоваться.*



# С чего начинается физика?



Физика начинается с двух догадок.

- 1. Покой и движение – понятия не абсолютные, а относительные. Все зависит от того кто и из какой системы отсчета наблюдает.**  
- это **принцип относительности**, который был вполне осознан только в **XVII веке** (Коперник, Галилей, и – в окончательной формулировке - Ньютон)
- 2. Если наблюдать за движением тела из «правильной» (инерциальной) системы отсчета, и если на тело не действуют никакие реальные физические силы, то такое тело будет двигаться с постоянной по величине и направлению скоростью, либо покоиться.** - это т.н. **Первый закон механики Ньютона.**



# С чего начинается физика?



## ЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ принципа относительности и Первого закона механики.

- Состояние покоя = состояние движения с неизменной нулевой скоростью. Оно ничем физически не отличается от состояния равномерного прямолинейного движения с НЕ нулевой скоростью
- Все «правильные» наблюдатели (*системы отсчета*), движущиеся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, физически равноправны. Во всех «правильных» системах отсчета если нет сил – скорость не меняется, ....  
...а если есть сила – скорость меняется. Логично предположить, что чем больше сила – тем быстрее меняется скорость. Это умозаключение, используя понятие производной, выражается формулой

$$F = m dv/dt$$



Одновременно с тем, как **физики наконец осознали**, что *движение есть понятие относительное*  
*если на тело не действуют силы, то скорость его не*  
*меняется, а действие сил приводит к изменению*  
*скорости ( $F = m dv/dt$ ), ...*

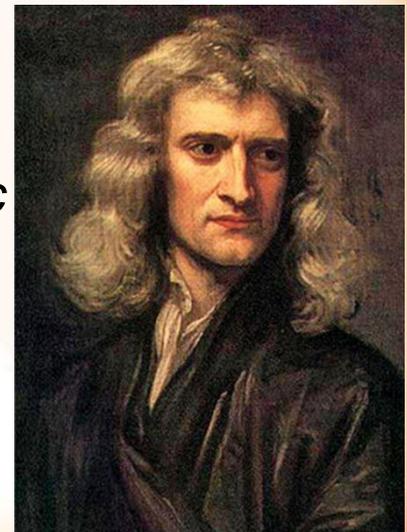
... **математики придумали** математические инструменты, с помощью которых можно удобно и просто описывать движение материальных тел и решать уравнения, его определяющие. Это

**-Метод координат** (Rene Decartes, 1596-1650)

**-Дифференциальное и интегральное исчисление** (Isaac Newton, 1643-1727; Gottfrid Leibnitz.(1646-1716)

С этих догадок и изобретений в конце XVII века и начинается физика.

**ВОПРОС: а была ли какая-то физика до того?.**

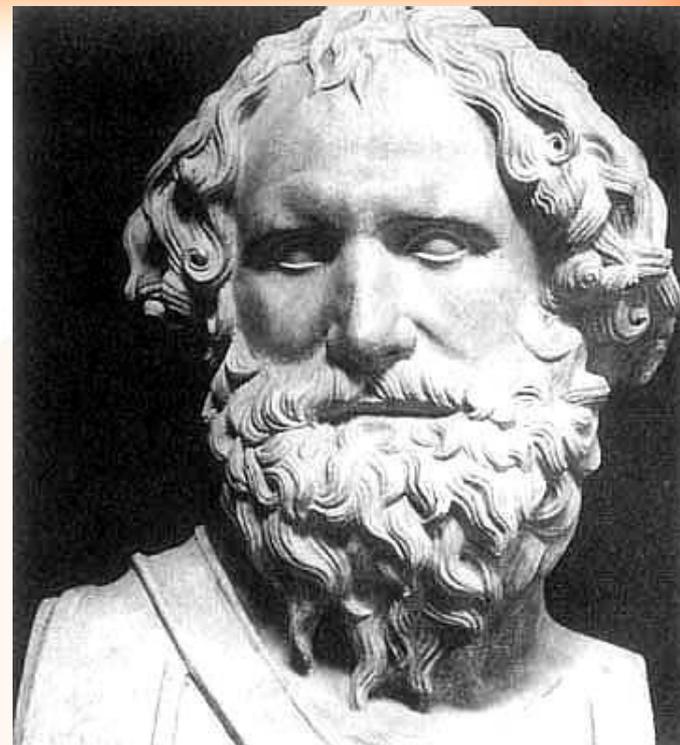
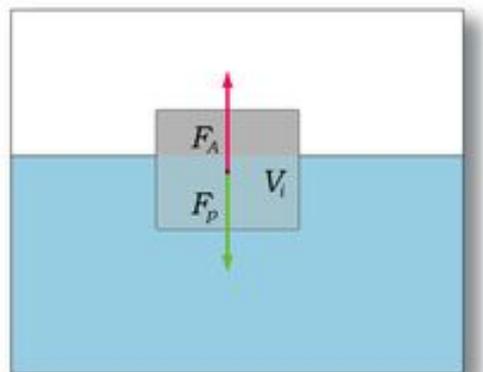
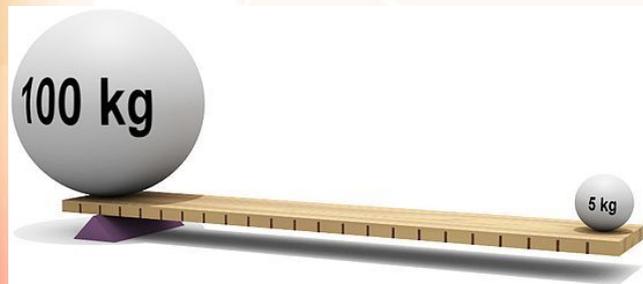




## Прикладная механика простых механизмов Архимеда

*Выигрыш в силе = проигрышу в движении.*

- ⇒ Закон рычага:  $F_1/F_2 = L_2/L_1$
- ⇒ распространение закона рычага на другие механические системы (полиспасты)
- ⇒ Закон Архимеда: потеря веса погруженного в жидкость (газ) тела = вес вытесненной им жидкости (газа)



*Архимед* Ἀρχιμήδης  
287 -212 до н.э.,  
Сиракузы, Сицилия



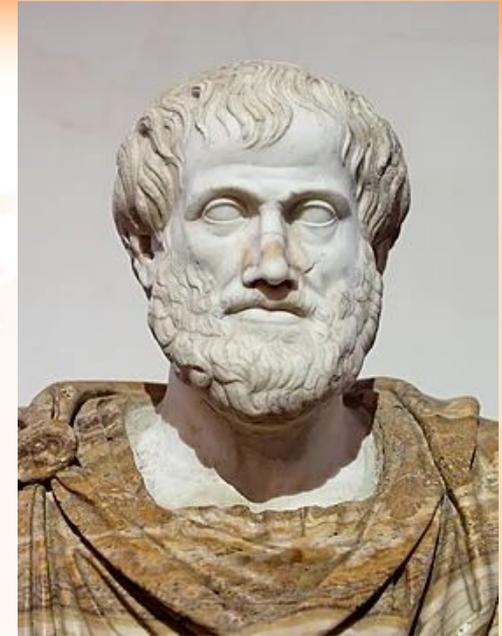
## Физика до Ньютона

**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)



*Аристотель*  
Ἀριστοτέλης  
384 -322 до н.э.  
Македония



## Физика до Ньютона

**Общая теория движения** (механика) **Аристотеля**:

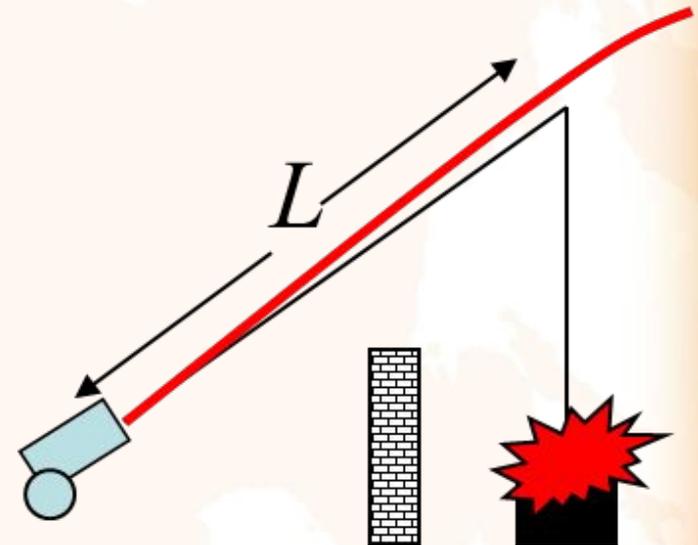
Все остальные виды движений требуют или постоянного приложения некой вынуждающей силы (ноги движут человека, лошадь тянет телегу, гребцы веслами толкают лодку и т.п.) или – в терминологии ‘физики v.0’ – **надо** придать телу однократно некоторый «импетус» (например, бросил камень – он летит)

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

В современных обозначениях:

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

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





Пожалуй, самым подробно разработанным разделом физики в ее «пробной» версии была опирающаяся

- ...и на умозрительные представления Аристотеля о естественности круговых движений для «божественных» небесных тел,
- ... но (в большей степени) на реальные, многовековые астрономические наблюдения за движениями звезд и планет т.н.:

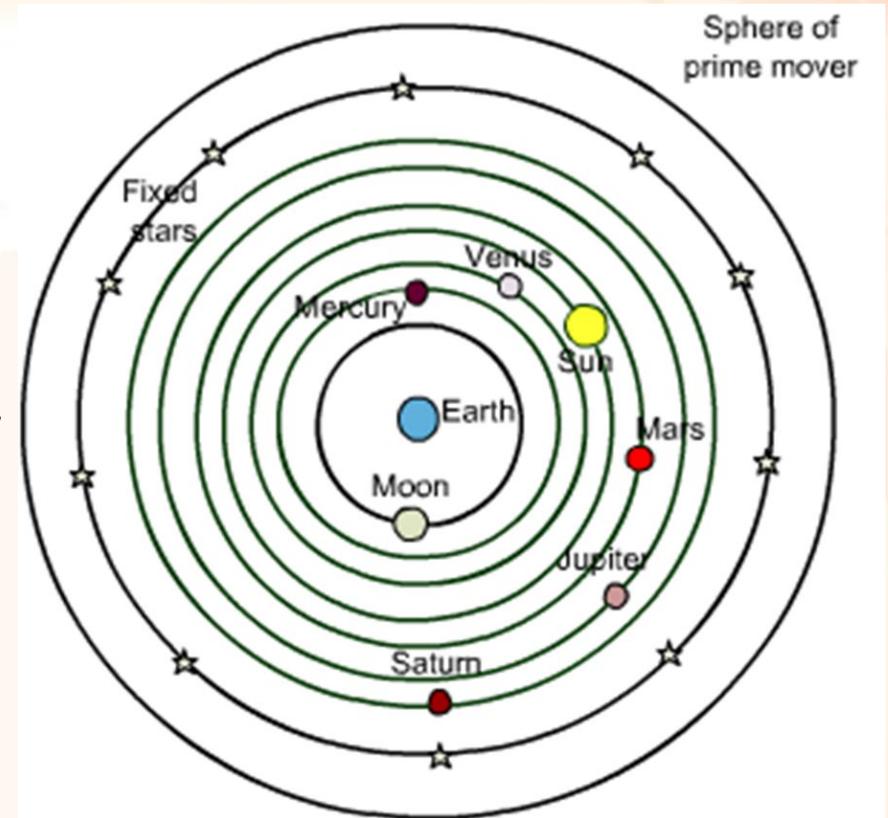
Космология Птолемея, описывающая и даже как-то объясняющая механику движения небесных тел



*Клавдий Птолемей*  
Κλαύδιος Πτολεμαῖος  
~100 - ~170 н.э.  
Александрия  
Египетская

Аристотель: для небесных («божественных») тел движение по совершенным геометрическим траекториям - окружностям – является естественным (заданным божественной первопричиной) и никаких дополнительных причин для объяснения не требует.

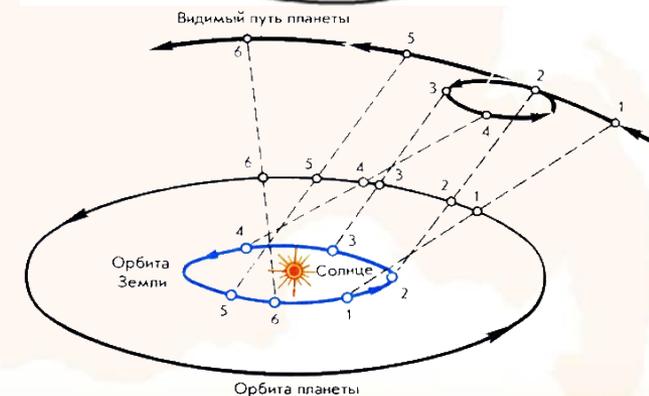
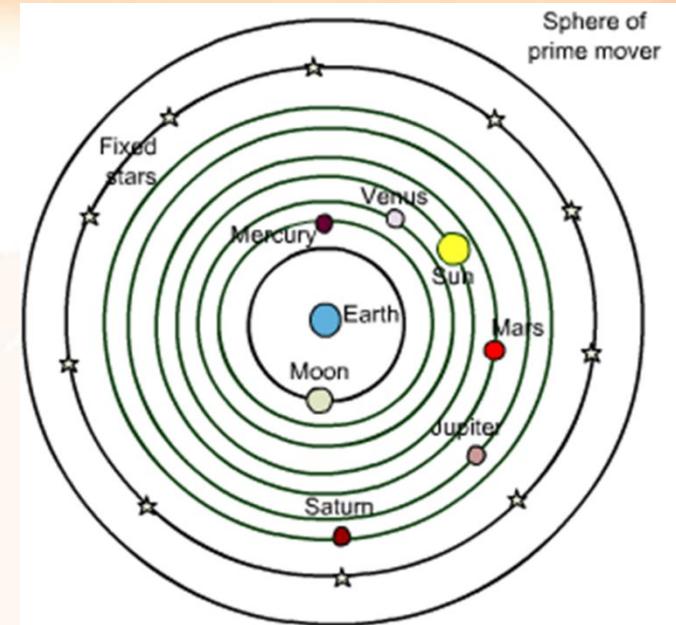
Это вполне согласуется с наблюдениями за движениями по небесному своду звезд, а также (с оговорками) Солнца и Луны



Но есть проблема: *планеты*. Они совершают странные петли (*на рисунке траектория движения по небесному своду планеты Венера*).

Во времена Аристотеля – Птолемея знали 5 «петляющих» по небосводу планет, называемых греками по именам богов:

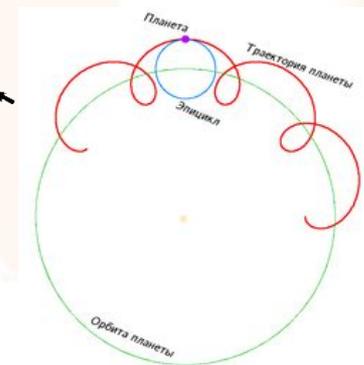
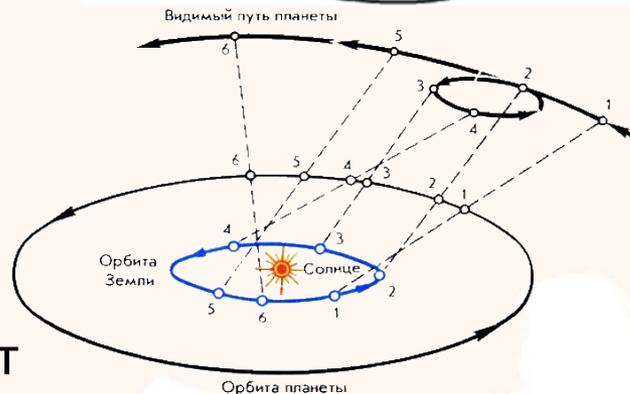
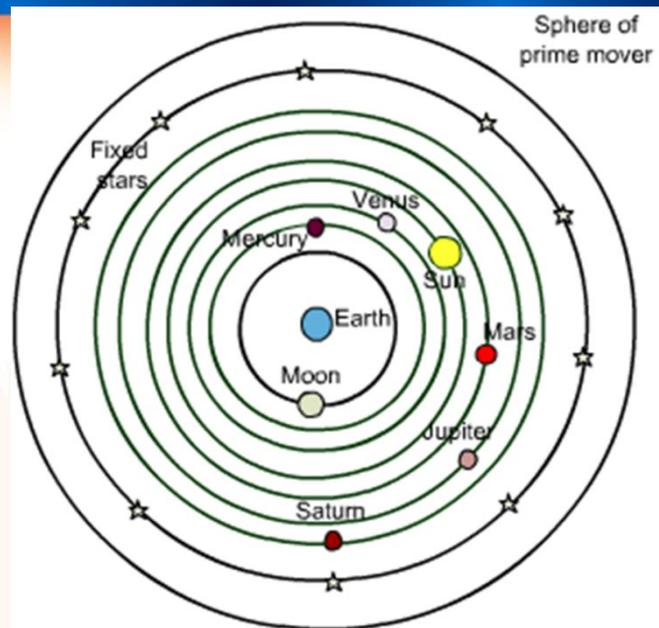
- Меркурий
  - Венера
  - Марс
  - Юпитер
  - Сатурн.
- + 2 не петляющих, но движущихся не так, как звезды
- Солнце (эклиптика)
  - Луна





Клавдий Птолемей: планеты совершают 2 круговых движения: по большому *дифференту* (круговой орбите) и по маленькому *эпициклу*, подобно колесу катящемуся по орбите основной. Подбирая периоды вращения по дифференту и эпициклу можно объяснить наблюдаемые петли.

Модель Птолемея была математически достаточно совершенна и позволяла рассчитывать положения планет на небесном своде на годы вперед

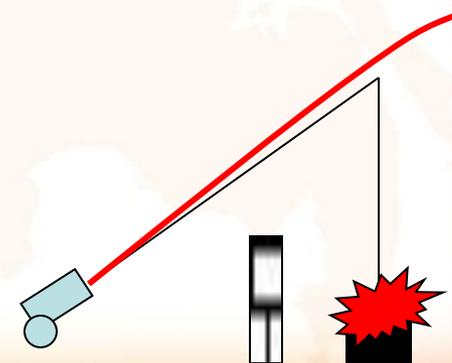
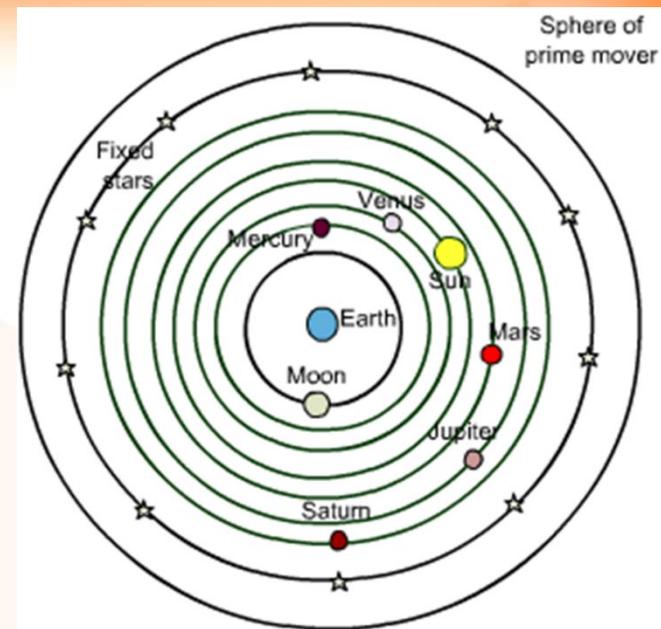


«Физику» Аристотеля и космологию Птолемея преподавали во всех университетах Европы и стран ислама вплоть до XVIII века!

Все известные европейские и мусульманские мыслители вплоть до XVI века, а многие и позже, придерживались этих моделей.

Перемены начались в XVI-XVII веках .

Побудительные причины, подвигнувшие некоторых европейских ученых задуматься над альтернативными физике Аристотеля-Птолемея моделями поступали из разных областей жизни.





## У истоков настоящей физики



Математика.

Все началось с математики:

- VII век: изобретение десятичной позиционной системы счисления (Индия, Ариабхата и Брахмагупта),
- IX век: изобретение способов решения алгебраических уравнений и методов быстрого счета «в столбик», описанных в книге Мохаммеда бен Мусы Ал-Хорезми () «Аль Китаб ал-Джебр аль Мукабала»
- XII век: перевод книги Ал-Хорезми и распространение в Европе. С XIII века десятичная позиционная система активно используется итальянскими торговцами и банкирами, а некий Лука Пачоли в XV веке создает на ее основе используемую по сегодняшний день систему бухгалтерской записи (с дебетом и кредитом)
- XV век: изобретение способа наборного книгопечатания (*Johannes zum Gutenberg, ~1400 - ~1470*) и распространение знаний о новой арифметики в Европе (~ 1 млн учебников – инкунабул)



## У истоков настоящей физики

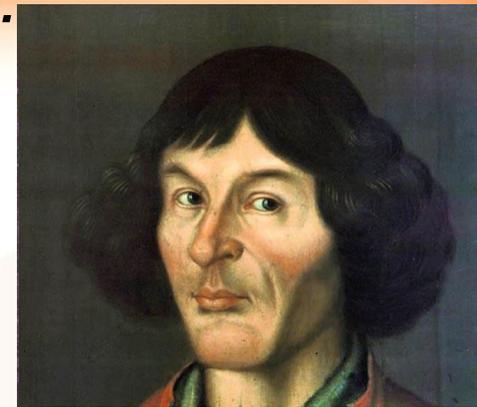


### География и Картография.

- Конец XV века: первые транс-океанические плавания, достижение европейцами Америки (1492 ) и открытие пути в Индию вокруг Африки. Для путешествий нужны карты и система ориентации в океане..
- Герхард Меркатор предлагает карты с угловой координатной сеткой (идея была еще у Птолемея). Координаты точек на поверхности Земли определяются с помощью сферических угловых координат – широты и долготы.
- Определить широту можно по высоте Солнца над горизонтом в полдень. Определение долготы требует точных приборов для измерения времени и/или точных и тонких астрономических наблюдений. Интерес к астрономии в Европе сильно вырос...

Революция началась в **Астрономии**.

- Нач. XVI века: **Николай Коперник** (1473-1543) создает гелиоцентрическую модель системы планет.
  - В центре - Солнце,
  - Земля - планета, между Венерой и Марсом.
  - Луна - "планета 2-го порядка", спутник Земли.
- В новой системе орбиты всех планет - почти точные окружности. Это сильно упрощает астрономические расчеты по сравнению с Птолемеевыми эпициклами.
- В предисловии к книге (*De revolutionibus orbium coelestium*) оговаривается, что новая теория - это удобный метод расчета орбит планет, не более того
- **Коперник очень умен! Он сознает, что движение и его характер – понятие относительное. Все зависит от того, кто и откуда наблюдает за движением!**



Николай Коперник (Mikolaj Kopernik (польск.) Nicolaus Copernicus (лат.), Nicolaus Kopernik (нем.))

9.02.1473 - Родился в Торуне (Torun, Torn) 9.02.1473.

1491-93: Учился в Краковском университете

1497-1506 учился в Италии (Болонья, Феррара, Рим, Падуя).

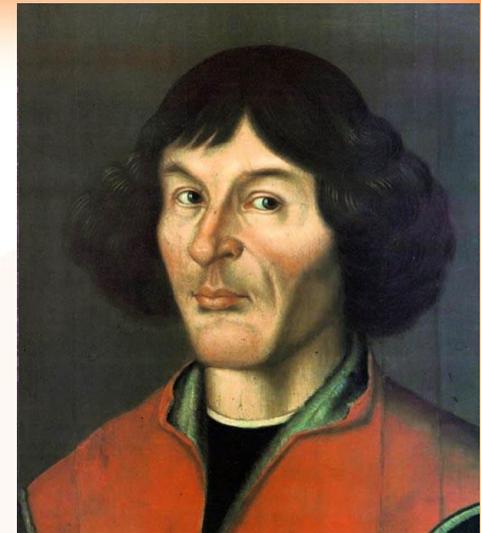
Платил его дядя Lucas Witzegenrode,

1506-12: в Кракове, помощник дяди – епископа, врач, преподает в университете.

С 1512 во Фромборке (40 км от нынешнего Калининграда) - каноник в местном костеле и заместитель коменданта крепости по фортификации.

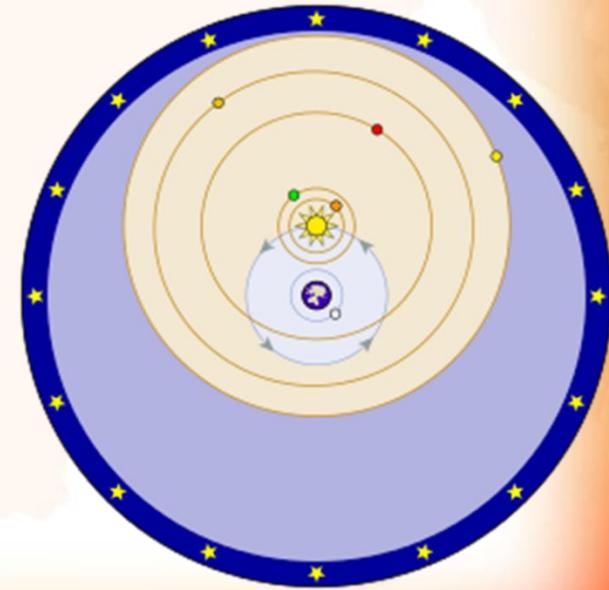
Коперник - администратор, военный, врач, инженер, дипломат!

- Построил гидравлическую машину, снабжавшую водой все дома во Фромборке.
- Лично, как врач, боролся с эпидемией чумы в 1519 году.
- Во время войны с тевтонами (1519-21) возглавлял оборону области Вармия. Отстоял и Фромборк, и Ольштын
- После войны вел переговоры, в результате которых на орденских землях возникло новое герцогство Пруссия, признавшее себя (на первых порах) вассалом польской короны..
- Предложил и провел в Польше денежную реформу.



Книга Коперника вызвала бурную реакцию и активное обсуждение в Европе. Нашлись активные сторонники (как Дж. Бруно) и активные противники ( в основном из числа иерархов католической церкви).

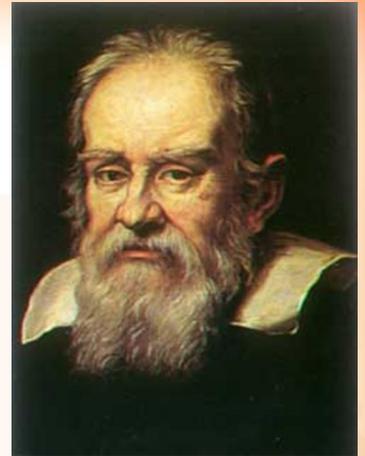
В конце 16 века датский астроном Тихо Браге (Tycho Brahe , 1546-1601), работавший при дворе германского императора Рудольфа в Праге, предложил компромиссную систему – с неподвижной Землей в центре, окруженном тремя концентрическими вращающимися сферами - Луны, Солнца и звезд. Остальные 5 планет рассматривались в системе Браге как спутники Солнца. Эта система не противоречила догматам католической церкви (Земля – центр мироздания), но при этом сохраняла все математические преимущества системы Коперника.





Коперниканская революция получила новый импульс, когда на авансцену выдвинулся итальянский (флорентийский) физик, математик Галилео Галилей (Galileo Galilei, 1564 – 1642).

Совершивший многочисленные астрономические открытия, Галилей стал активным сторонником гелиоцентрической системы и был первым, кто ясно формулировал принцип относительности движения:



*.. Дайте движение кораблю, притом с какой угодно скоростью; тогда (если только движение его будет равномерным, а не колеблющимся туда и сюда) вы не заметите ни малейшей разницы [в происходящем]*

1630: «Диалог о двух системах мира»



## На подступах к настоящей Физике



Предельно четко сформулировал принцип относительности сэр Исаак Ньютон (Isaac Newton, 1643-1727): если наблюдать за движением тела **из «правильной» (инерциальной) системы отсчета**, и если на тело не действуют никакие реальные физические силы, то такое тело будет покоиться. **Состояние покоя = движение с постоянной по величине и направлению скоростью**, нулевой или не нулевой.

**СЛЕДСТВИЯ:**

- Состояния покоя = состояние равномерного прямолинейного движения с нулевой или не нулевой, но постоянной по величине и направлению скоростью.
- Все наблюдатели (*системы отсчета*), движущиеся друг относительно друга равномерно и прямолинейно, физически равноправны.
- если нет сил – скорость не меняется. А если есть сила – скорость меняется. Чем больше сила – тем быстрее меняется скорость. Это

выражается формулой: 
$$F = m\Delta v/\Delta t = mdv/dt$$



**Уравнение  $F = mdv/dt$  - дифференциальное.**  
Чтобы его сформулировать, а, тем более, решить – нужен математический инструмент:  
**дифференциальное и интегральное исчисление**  
– главный язык Физики

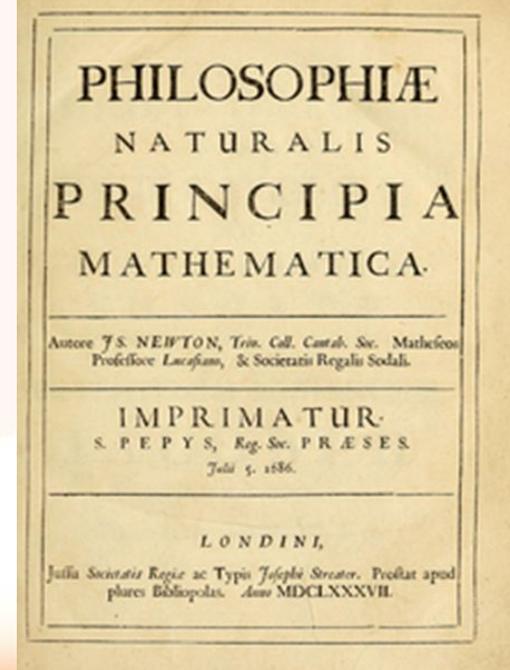
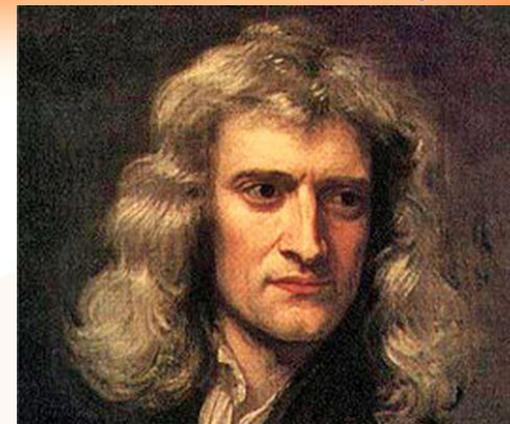


Исчисление (***Calculus***) изобретено в конце XVII века (***Isaac Newton***, 1643-1727, ***Gottfried Wilhelm von Leibnitz***, 1646-1716 и его многочисленные ученики и последователи). Дифференциальные уравнения позволяют найти неизвестную функцию по ее начальным значениям. То есть: решить основную задачу механики – ***найти траекторию движения по начальным координатам и скоростям точек системы***



Лейбница увлекся геометрическими применениями новой дифференциальной математики, а Ньютон сразу применил новый математический инструмент к описанию механического движения – для физики.

Расчеты по *небесной механике* Ньютон публикует вместе с общей теорией механического движения в сразу ставшей классической книге “Математические основы натуральной философии” (1686 год).





## Начало новой Физики



В новой механике все оказалось в точности наоборот, чем считалось в физике Аристотеля. А именно:

- Равномерное прямолинейное движение оказалось вовсе не вынужденным, требующим придания первоначального импульса или постоянного действия вынуждающей силы, а свободным, происходящим при полном отсутствии каких либо сил, действующих на тело.

- А вот естественные» движения Аристотеля оказались все как одно вынужденными и совершаемыми исключительно благодаря действию тех или иных сил:

- Камни падают вниз под действием силы тяжести и явно не с постоянной скоростью
  - Горячий дым от костра стремится вверх под действием Архимедовой силы
  - Наконец - небесные тела. Они движутся явно не прямолинейно. ...
- Но тут возможны варианты...



# Начало новой Физики



Небесные тела. Они движутся явно не прямолинейно. Как быть с ними?

1. Солнце и звезды движутся по небосводу, описывая окружности, причем ровно за 1 земные сутки. Разумно предположить, что их движение «кажущееся» для наблюдателя, находящегося на поверхности *вращающейся* именно с этим периодом Земли.
2. Другие планеты движутся вокруг Солнца под действием универсальной гравитационной силы притяжения, обратно пропорциональной квадрату расстояния между любыми обладающими массами телами.

Этот закон – закон Всемирного тяготения – тоже сформулировал сэр Исаак Ньютон и доказал его математически, подтвердив расчетами траекторий планет в Солнечной системе, в точности совпавшими с результатами многолетних наблюдений!

**После публикации расчетов Ньютона система Аристотеля- Птолемея окончательно утратила всякий авторитет.**



# Законы механики Ньютона



**Главный: 2-ой Закон.** В «правильных» (инерциальных) системах отсчета движение физических тел задается реальными физическими силами, действующими со стороны других тел, и определяется уравнением:

$$\Sigma F = m dv/dt = m d^2 r/dt^2 = dp/dt \quad (p = mv \text{ – импульс тела})$$

По Ньютону: *скорость изменения импульса тела определяется суммарной силой, действующей на него со стороны других тел.*

Может показаться странным, но Ньютон испытывал проблемы с определением скорости и комбинированной размерности.

**1-ый Закон.** «Правильные» (инерциальные) системы отсчета, где тела, на которые НЕ действуют никакие реальные физические силы, остаются в покое либо движутся равномерно и прямолинейно, существуют!

**3-ий Закон.** «=Действие тел друг на друга носит характер взаимодействия, причем  $F_{12} = -F_{21}$

**Итак: законы (уравнения) мы знаем. Попробуем их применить.**



$$F = m dv/dt = md^2r/dt^2 \Rightarrow F = m dv/dt = md^2x/dt^2 = Const$$

$$v(t) = Ft/m + v_0 = wt + v_0;$$

$$x(t) = Ft^2/2m + v_0 t + x_0 = wt^2/2 + v_0 t + x_0$$

$v_0$ ,  $x_0$  – постоянные интегрирования, задаются начальными условиями (2-мя)

$w = F/m$  – ускорение тела.  $w = dv/dt$



$$F = m dv/dt = md^2r/dt^2 \Rightarrow w_y = F_y/m = w; w_x = 0$$

$$v_x(t) = v_{0x} = const$$

$$x(t) = v_{0x} t + x_0 \Rightarrow t = (x(t) - x_0) / v_{0x}$$

$$v_y(t) = wt + v_{0y}$$

$$y(t) = wt^2/2 + v_{0y} t + y_0 \Rightarrow y = wt^2/2 + v_{0y} t + y_0$$

$v_{0x}, v_{0y}, x_0, y_0$  — постоянные, задаются начальными условиями (4-мя)

Удобно выбрать С.О. так, чтобы  $x_0 = y_0 = 0$

$$y = wt^2/2 + v_{0y} t = wx^2/2v_{0x}^2 + v_{0y} x/v_{0x} - \text{парабола!}$$

В поле тяжести Земли  $w = -g, v_{0y} = v_0 \sin a; v_{0x} = v_0 \cos a$

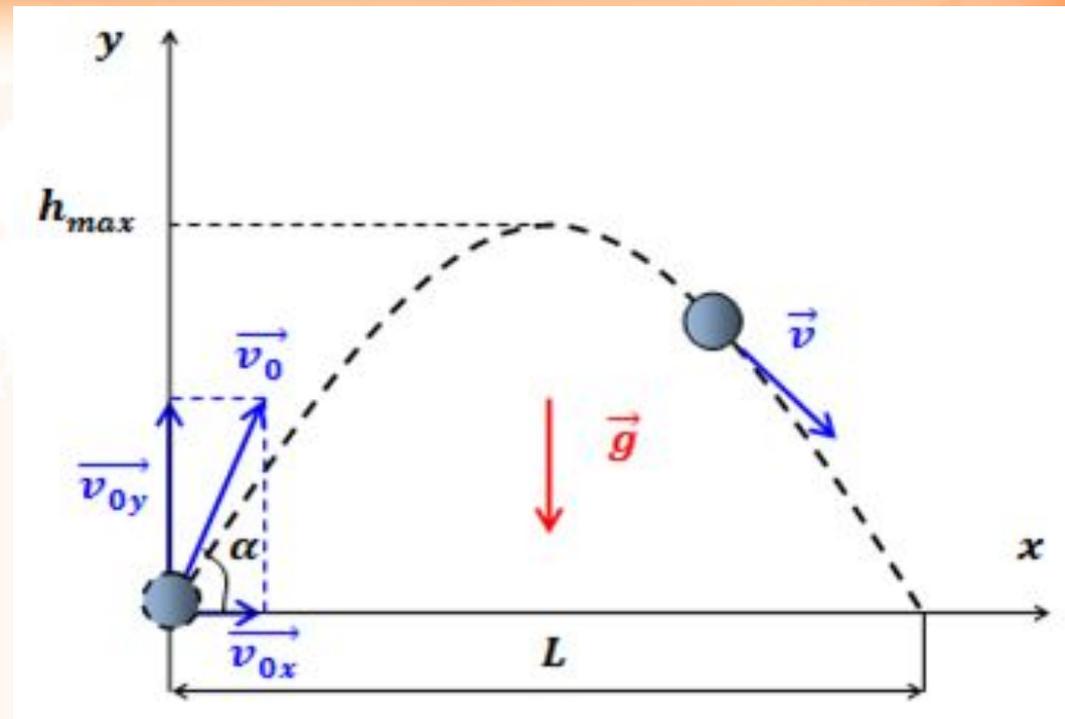
$$y = -gt^2/2 + v_0 t \sin a = -gx^2/2v_0^2 \cos^2 a + x \operatorname{tg} a$$



В поле тяжести Земли:

$$\begin{aligned}w &= -g, \\v_{0y} &= v_0 \sin \alpha; \quad v_{0x} = v_0 \cos \alpha \\y &= -gt^2/2 + v_0 t \sin \alpha = \\&= -gx^2/2v_0^2 \cos^2 \alpha + x \operatorname{tg} \alpha\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= 2v_0 \sin \alpha / g, \\L &= x(T) = (v_0^2 / g) \sin 2\alpha, \\h_{\max} &= (v_0^2 / 2g) \sin^2 \alpha.\end{aligned}$$





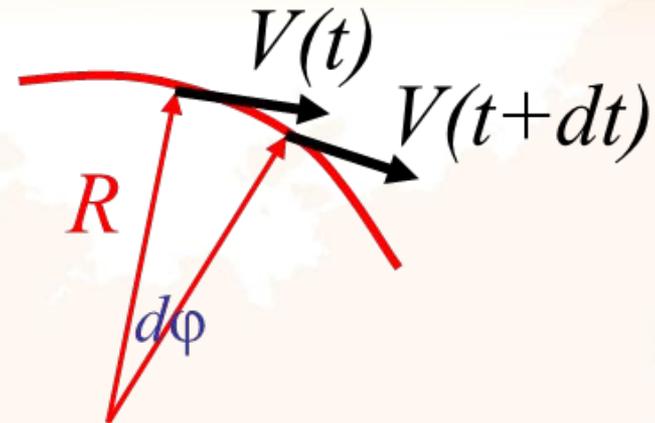
Рассмотрим положение тела в два близких момента времени  $t$  и  $t+dt$ .

Угол поворота радиуса окружности, упирающегося в точку, где находится тело, за это же малое время,

очевидно, составит  $d\varphi = |V|dt/R$ .

Модуль ускорения тела равен:

$$\begin{aligned} |(V(t+dt) - V(t))/dt| &= |V|d\varphi/dt \\ &= V^2/R. \end{aligned}$$

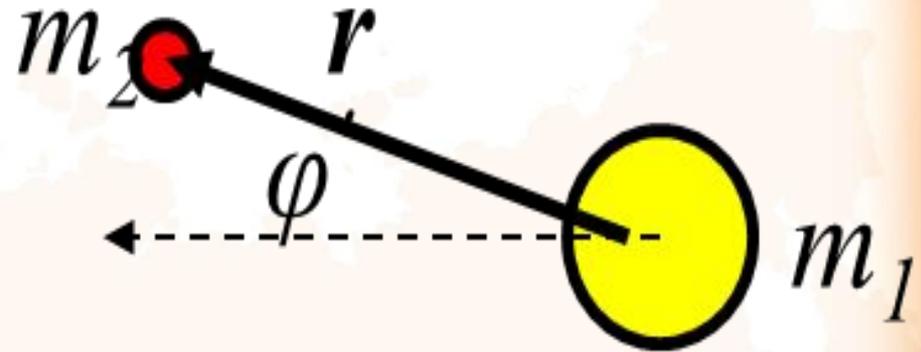


Центростремительное ускорение задается силой, направленной к центру вращения

$$F = mV^2/R.$$



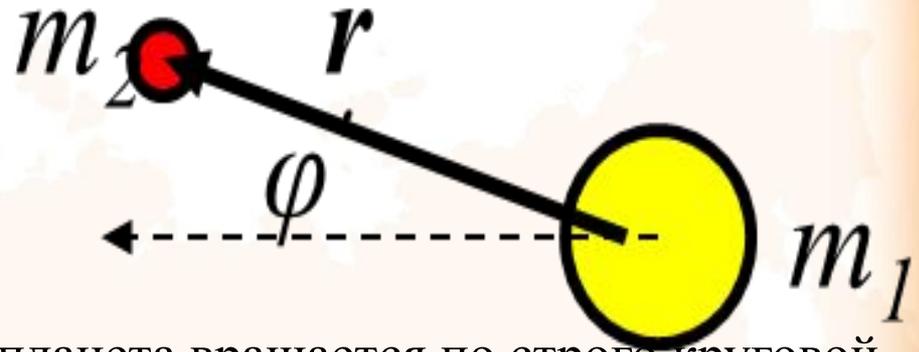
Самый впечатляющий результат новой механики, полученный еще самим сэром Айзеком Ньютоном – вывод (не озарение, а именно логический вывод) Закона всемирного тяготения. Проследим за возможной логикой этого доказательства.



- Из соображений симметрии естественно полагать, что сила взаимодействия между Солнцем и каждой из планет
- зависит только от их масс  $m_1$   $m_2$  и расстояния между ними  $r$ ,
- направлена строго по по линии, соединяющей центры Солнца и планеты
- математически выражается формулой  $F(r) = Gm_1m_2f(r)$ , где  $G$  - некоторая константа, требующая экспериментального определения, а  $f(r)$  – некая (скорее всего убывающая) функция, зависящая только от расстояния между взаимодействующими объектами.



$F(r) = Gm_1m_2f(r)$ , где  $G$  - некоторая константа, требующая экспериментального определения, а  $f(r)$  - некая (скорее всего убывающая) функция.



- Сделаем упрощение: будем считать, что планета вращается по строго круговой орбите радиуса  $r$  со скоростью  $v$ . Период обращения планеты вокруг Солнца составит  $T = 2\pi r/v$
- Планета испытывает центростремительное ускорение, порождаемое силой тяготения  $m_2 w_n = m_2 v^2/r = Gm_1m_2f(r) \Rightarrow T = 2\pi r/v = 2\pi r / (Gm_1f(r)r)^{1/2} \sim (r/f(r))^{1/2}$
- Ньютону был хорошо известен закон Кеплера, выведенный из многолетних наблюдений:  $T \sim r^{3/2}$ .
- Зависимости совпадают, если  $f(r) \sim 1/r^2$ .
- Сила тяготения **должна** иметь вид:  $F(r) = Gm_1m_2/r^2$



## РАЗМЕРНОСТИ: простые и комбинированные



# 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<sup>3</sup>



# Размерности физических величин



Естественное и очевидное для нас определение скорости, так расстояния, проходимого телом в единицу времени, для математиков и физиков казалось совсем не очевидным вплоть до конца 18-го века (!).

*Пример: «Murton rule» (XIV век): «Всякая широта движения, равномерно приобретаемая или теряемая, соответствует своему среднему градусу, так что столько же в точности будет пройдено благодаря этой приобретаемой широте, сколько и благодаря среднему градусу, если бы тело двигалось всё время с этим средним градусом».*

Даже Ньютон и Лейбниц понятие скорости явным образом не определяли.

Только в конце XVIII века **Л.Эйлер** и **К.Гаусс** сняли все надуманные ограничения на деление разно-размерных величин и использование комбинированной размерности. Они предложили «перестать дурить головы людишкам» и спокойно делить разно-размерные величины одну на другую. Важно только не забывать, что они размерные, и «таскать» за собой их размерности по всей цепочке вычислений, как сомножители численных значений. Например, делишь 10 метров на 5 секунд – получаешь 2 м/с – и эти «м/с» далее терять нельзя. Они даже важнее, чем численная часть результата.



# Системы физических величин



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.

ПРИМЕР: скорость  $v = ds/dt$   $\rightarrow$  м/с

сила  $F = ma$   $\rightarrow$  кг\*м/с<sup>2</sup> = Ньютон (Н)



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

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



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

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



# Размерности физических величин



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

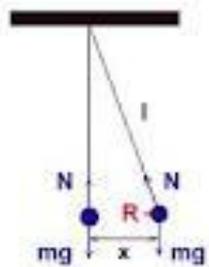
Складывать, вычитать, сравнивать и приравнивать можно только одноразмерные величины.

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

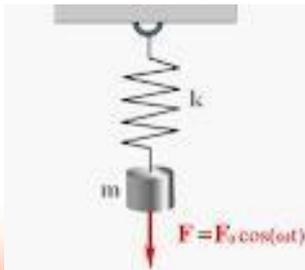
Качественный анализ:

- 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<sup>2</sup>]

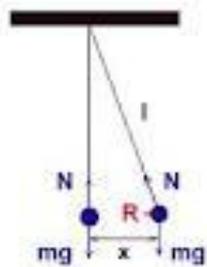


Параметры:  $k$  [кг/с<sup>2</sup>],  $m$  [кг],  $g$  [м/с<sup>2</sup>]

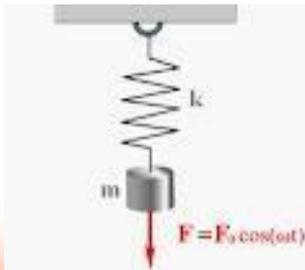
Качественный анализ:

- 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<sup>2</sup>]



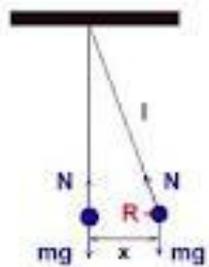
Параметры:  $k$  [кг/с<sup>2</sup>],  $m$  [кг],  $g$  [м/с<sup>2</sup>]

$$T [c] \sim (m/k)^{1/2}$$

Качественный анализ:

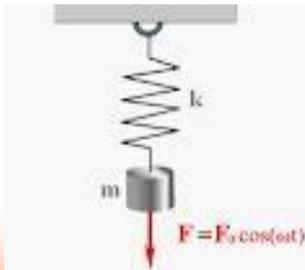
- Параметры задачи
- Размерность
- Качественные оценки

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



Параметры:  $L$  [м],  $m$  [кг],  $g$  [м/с<sup>2</sup>]

$$T [\text{с}] \sim (L/g)^{1/2}$$



Параметры:  $k$  [кг/с<sup>2</sup>],  $m$  [кг],  $g$  [м/с<sup>2</sup>]

$$T [\text{с}] \sim (m/k)^{1/2}$$



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*

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

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



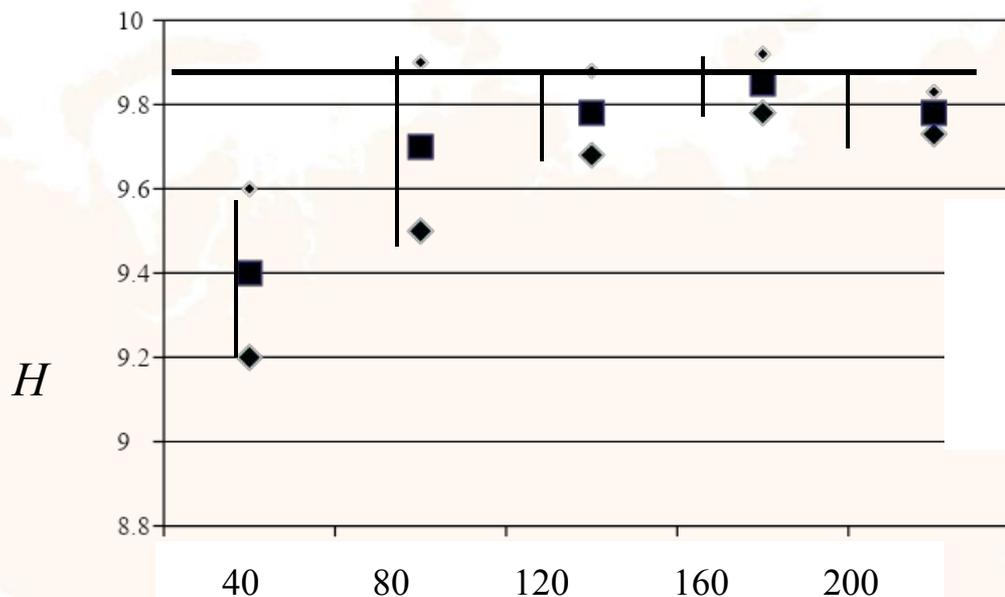
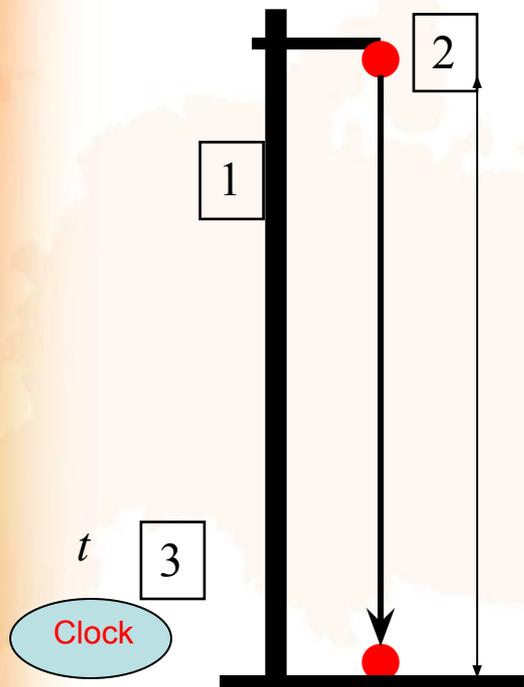
## Лекция 03



*Продолжение следует!*



# Схема экспериментальной установки и график





# У истоков физики. Краткая хронология



- IV тысячелетие до н.э. – письменность (Египет, Шумер, Китай)
- II тысячелетие до н.э. – алфавит (Финикия)
- I тысячелетие до н.э. – античная наука и «физика» Аристотеля (Греция)
- II век до н.э. – Архимед (Александрия, Сицилия) – *число пи, механика*
- I век н.э. – «Новый завет» и Христианство
- II век н.э. – система Птолемея (Александрия)
- VII век н.э. – десятичная позиционная система (Индия, Ариабхата),
- IX век н.э. – «Аль Китаб ал-Джебр аль Мукабала» Мохаммеда бен Мусы Ал-Хорезми (Хорезм, Иран)
- XII век – перевод книг Ал-Хорезми на европейскую латынь (Италия)
- 1440-ые – **изобретение книгопечатания** (Иоганн Гуттенберг, ~1400-~1470)
- 1490-ые – открытие Америки и пути в Индию (Колумб, де Гама, Магеллан)
- 1494 – Лука Пачоли (1445-1517) – «Трактат о счетах и записях»
- 1517 – «95 тезисов» Мартина Лютера (1483-1546). Начало Реформации в Европе
- 1543 – *De revolutionibus orbium coelestium* Николая Коперника (1473-1543)
- 1630 – «Диалог о двух системах мира» Галилео Галилея (1564-1643)
- 1686 – «Математические основы натуральной философии» Исаака Ньютона (1643-1727) – Физика Ньютона