



*Я предпочитаю довольствоваться  
тем, за верность чего могу  
поручиться.*

Н.Коперник

# Кинематика. Часть 2.

## Динамика

*И всё-таки она вертится!*

Галилео Галилей



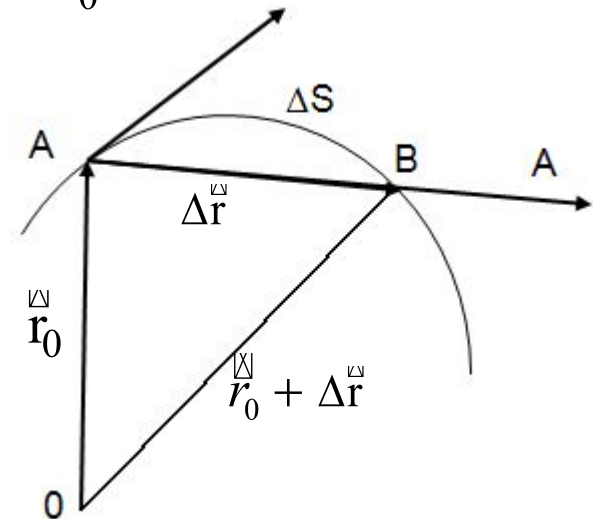
## Скорость и ускорение при движении точки в пространстве

Для характеристики движения материальной точки в пространстве вводится векторная величина – скорость, которая определяет как быстроту движения, так и его направление в данный момент времени.

Пусть материальная точка движется по какой-либо криволинейной траектории так, что в момент времени  $t$  ее положение определено радиус-вектором  $\vec{r}_0$

В течение малого промежутка времени  $\Delta t$  точка пройдет путь  $\Delta S$  и совершит элементарное перемещение. Вектором средней скорости называется физическая величина, равная отношению приращения радиус-вектора точки к промежутку времени  $\Delta t$ :

$$\vec{v}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$



Направление вектора средней скорости совпадает с направлением . При неограниченном уменьшении  $\Delta t$  средняя скорость стремится к предельному значению, которое называется мгновенной скоростью

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Мгновенная скорость , таким образом, есть векторная величина, равная первой производной радиус-вектора движущейся точки по времени.

Так как секущая в пределе совпадает с касательной, то вектор скорости направлен по касательной к траектории в сторону движения.

Как любой вектор, скорость может быть выражена через составляющие по осям координат:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dx}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dy}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dz}{dt} \cdot \vec{k} = v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k}$$

Аналогично определяются величины среднего и мгновенного ускорения:

$$\vec{a}_{\text{cp}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

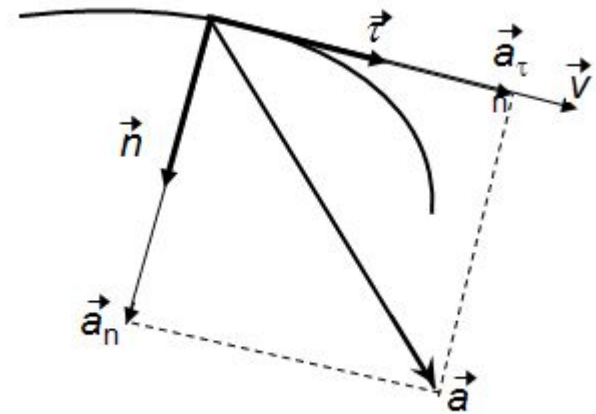
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$\begin{aligned} \vec{a} &= \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv_x}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dv_y}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dv_z}{dt} \cdot \vec{k} = \\ &= \frac{d^2x}{dt^2} \cdot \vec{i} + \frac{d^2y}{dt^2} \cdot \vec{j} + \frac{d^2z}{dt^2} \cdot \vec{k} = a_x \cdot \vec{i} + a_y \cdot \vec{j} + a_z \cdot \vec{k} \end{aligned}$$

В общем случае полное ускорение можно представить в виде векторной суммы **тангенциального** и **нормального** ускорений

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau = a_n \cdot \vec{n} + a_\tau \cdot \vec{\tau}$$

$$|\vec{a}| = a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$$



**Тангенциальная** составляющая ускорения характеризует быстроту изменения модуля вектора скорости, т.е. она равна первой производной по времени от **модуля** скорости, определяя тем самым быстроту изменения скорости по модулю.

$$a_\tau = \frac{dv}{dt} = v'$$

**Нормальная** составляющая ускорения равна

$$a_n = \frac{v^2}{R}$$

где  $v$  – скорость,  $R$  – радиус кривизны траектории в данный момент движения по криволинейной траектории. Радиус кривизны траектории  $R$  представляет собой радиус окружности, которая совпадает с ней на данном участке траектории на бесконечно малом ее участке. Центр такой окружности называют центром кривизны для данной точки кривой.

Нормальная составляющая ускорения направлена по нормали к траектории к центру ее кривизны. Поэтому ее называют также центростремительным ускорением. При прямолинейном движении нормальное ускорение отсутствует, так как при этом радиус кривизны стремится к бесконечности.

Итак, тангенциальная составляющая ускорения характеризует быстроту изменения скорости по модулю (направлена по касательной к траектории), а нормальная составляющая ускорения – быстроту изменения скорости по направлению (направлена к центру кривизны траектории).



## Физики шутят...

*Известно, что в году приблизительно  $\pi$  на десять в седьмой секунд. И это просто объяснить с физической точки зрения. В самом деле:  $\pi$  - потому что орбита у Земли круглая, в седьмой - потому что в неделе семь дней. Ну, а приблизительно - потому что орбита все-таки не совсем круглая, а эллиптическая.*

*Диалог на экзамене:*

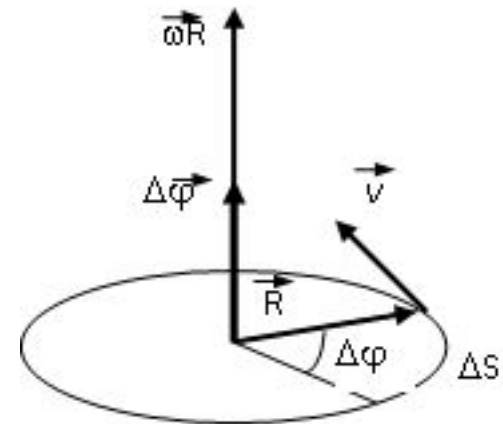
- Знаешь?*
- Знаю.*
- Что знаешь?*
- Предмет знаю.*
- Который предмет?*
- Который сдаю.*
- А какой сдаешь?*
- Нуу... Это Вы уже придираетесь!*

*Решение - это то, над чем вы устали думать*

## Кинематика вращательного движения

Рассмотрим твердое тело, которое вращается вокруг неподвижной оси.

Тогда отдельные точки этого тела будут описывать окружности разных радиусов, центры которых лежат на оси вращения.



Пусть некоторая точка движется по окружности радиуса  $R$ . Ее положение через промежуток времени  $\Delta t$  зададим углом  $\Delta\phi$ .

Элементарные (бесконечно малые) углы поворота рассматривают как векторы. Модуль вектора равен углу поворота, а его направление совпадает с направлением поступательного движения головки правого винта, если винт вращается в направлении движения точки по окружности, т. е. подчиняется правилу правого винта.

Векторы, направления которых связываются с направлением вращения, называются **псевдовекторами** или **аксиальными векторами**. Эти векторы не имеют определенных точек приложения: они могут откладываться из любой точки оси вращения.



**Угловой скоростью** называется векторная величина, равная первой производной угла поворота тела по времени:

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\phi}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\phi}}{dt}$$

Вектор  $\vec{\omega}$  направлен вдоль оси вращения так же, как и вектор  $\Delta \vec{\phi}$

Вращение с постоянной угловой скоростью называют равномерным. Если вращение является равномерным, то  $\omega = \phi / t$ , где  $\phi$  - угол поворота за время  $t$  (сравните с выражением для скорости при равномерном движении  $v = S / t$ ). Таким образом, при равномерном вращении  $\omega$  показывает, на какой угол поворачивается точка за единицу времени.

**Равномерное вращение** можно характеризовать периодом вращения  $T$ , под которым понимают время совершения одного оборота, т.е. время поворота на угол  $2\pi$ . Так как промежутку времени  $\Delta t = T$  соответствует угол поворота  $\Delta \phi = 2\pi$ , то

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Отдельные точки вращающегося тела имеют различные линейные скорости. Скорость каждой из точек непрерывно изменяет свое направление. Величина скорости  $v$  определяется угловой скоростью вращения тела  $\omega$  и расстоянием  $R$  рассматриваемой точки от оси вращения.

Пусть за малый промежуток времени тело повернулось на угол  $\Delta\phi$ . Точка, находящаяся на расстоянии  $R$  от оси вращения при этом проходит путь  $\Delta S = R\Delta\phi$ . Линейная скорость точки равна

$$\begin{aligned} v &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \\ &= R \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = R \frac{d\phi}{dt} = R\omega \end{aligned}$$

или

$$v = \omega \cdot R$$

Вектор  $\vec{\omega}$  может изменяться как за счет изменения скорости вращения тела вокруг оси (в этом случае он изменяется по величине), так и за счет поворота оси вращения в пространстве (в этом случае изменяется по направлению). Пусть за время  $\Delta t$  вектор получает приращение  $\Delta\vec{\omega}$ . Изменение вектора угловой скорости со временем характеризуют величиной:

$$\varepsilon = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

которую называют **угловым ускорением**.

Предположим, что ориентация оси вращения тела не изменяется в пространстве. Тогда модуль **тангенциального ускорения** выражается через угловое ускорение:

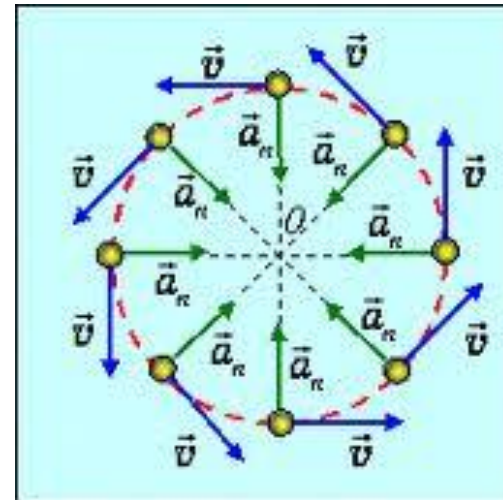
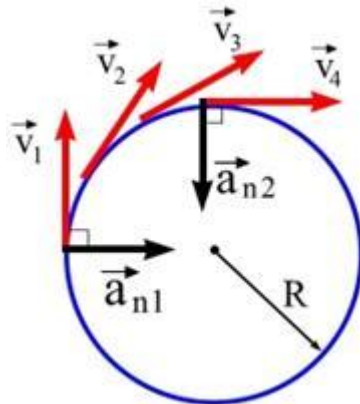
$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon = \varepsilon \cdot R$$

где  $\varepsilon$  - модуль углового ускорения.

При равномерном движении точки по окружности абсолютная величина скорости остается неизменной, но направление ее непрерывно изменяется. Следовательно, вектор скорости, оставаясь перпендикулярным радиусу окружности в любой момент времени, не остается постоянным, а получает приращение.

Соответствующее ускорение  $a_n$  направленное к центру окружности (к центру кривизны траектории) называется **центростремительным (нормальным)**.

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$



## Решение задач по

# ФИЗИКЕ

### Задание.

Тело, имея начальную скорость 4 м/с, прошло за шестую секунду движения путь 2,9 м. Найти ускорение тела.

### Решение.

Путь пройденный телом за шестую секунду движения,

$$\Delta S = S_6 - S_5 = (v_0 t_6 + \frac{at_6^2}{2}) - (v_0 t_5 + \frac{at_5^2}{2}),$$

откуда

$$a = 2(v_0 \cdot 1c - \Delta S) / (t_5^2 - t_6^2).$$

### Ответ.

$a = -0,2 \text{ м/с}^2$ . Тело двигалось замедленно с ускорением, направленным противоположной скорости.

### Задание.

Автомобиль, находясь на расстоянии 50 м от светофора и имея в этот момент скорость 36 км/ч, начал тормозить, Определить положение автомобиля относительно светофора через 4 с от начала торможения, если он двигался с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ .

### Решение.

Систему отсчета связываем с Землей, а начало координат – со светофором (см. рис.). За начало отсчета времени примем начало торможения.

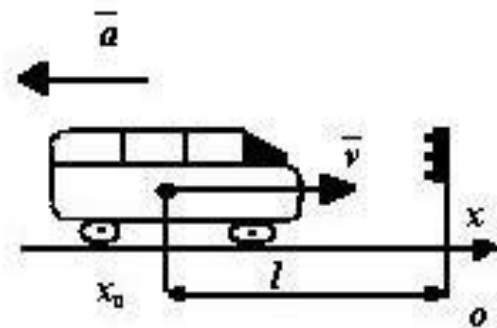
$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

$$x_0 = l, v_{0x} = v_0, a_x = -a,$$

$$x = -l + v_0 t - \frac{at^2}{2}, x = -26 \text{ м.}$$

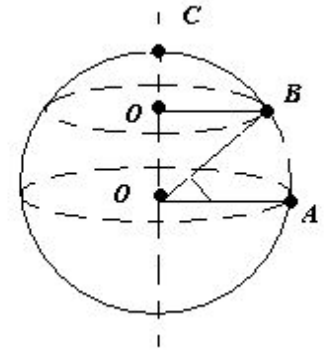
### Ответ.

$x = -26 \text{ м}$ . Отрицательное значение координаты означает, что автомобиль останавливается, не доехав до светофора (начала координат), находится на расстоянии 26 м от него.



### Задание.

Определить центростремительное ускорение точек земной поверхности на экваторе, на широте и на полюсе, вызванное вращением Земли.



### Решение.

1. Точка А земной поверхности на экваторе описывает вместе с Землей за сутки один полный оборот.

Следовательно, ее линейная скорость

$$v = l_{\text{э}} / T = 2\pi R / T$$

где  $l_{\text{э}}$  - длина окружности земного экватора,  $R$  - радиус Земли. Центростремительное ускорение точки А

$$a_{\text{ц}} = v^2 / R$$

$$a_{\text{ц}} = \frac{4\pi^2 R}{RT^2} = \frac{4\pi R}{T^2}$$

$$a_{\text{ц}} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2.$$

2. Линейная скорость точки В земной поверхности, находящейся на широте  $\phi$ , равна

$$v = l_p / T = 2\pi r / T$$

где  $r$  - радиус окружности, описываемой точкой В. Из рисунка находим, что  $r = R \cos \phi$   
поэтому

$$a_{ц} = \frac{v^2}{r} = \frac{(2\pi r)^2}{T^2 r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cos \phi.$$

$$a_{ц} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$$

3. Линейная скорость точки С  $a_{ц}$  ной поверхности, находящейся на полюсе,  $v=0$ , следовательно,  $a_{ц} = 0$ .

**Ответ.**  $a_{ц} = 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$ .  $a_{ц} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}^2$   
 $a_{ц} = 0$ .



### Задание.

Во сколько раз нужно увеличить скорость брошенного вверх тела, чтобы высота подъема увеличилась в 4 раза.

### Решение.

Направим ось  $Y$  вертикально вверх, начало оси  $O$  выберем на поверхности земли. Тогда уравнения движения тела

$$y = v_0 t - gt^2 / 2$$

$$v = v_0 - gt$$

В наивысшей точке  $A$  подъема тела  $t = t_{\text{под}}$   $y = h_{\text{max}}$  и скорость равна нулю, поэтому

$$0 = v_0 - gt_{\text{под}} \quad t_{\text{под}} = v_0 / g \quad h_{\text{max}} = v_0^2 / 2g$$

следовательно

$$\frac{h_{\text{max}2}}{h_{\text{max}1}} = \frac{v_{02}^2}{v_{01}^2} \quad \frac{v_{02}^2}{v_{01}^2} = 4 \quad \frac{v_{02}}{v_{01}} = 2.$$

**Ответ. В 2 раза.**

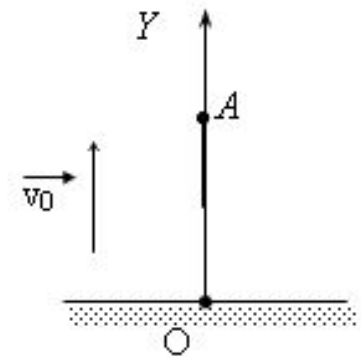


Рис.1.

### Задание.

Самолет летит горизонтально со скоростью 360 км/ч на высоте 490 м. Когда он пролетает над точкой А, с него сбрасывают пакет. На каком расстоянии от точки А пакет упадет на землю?

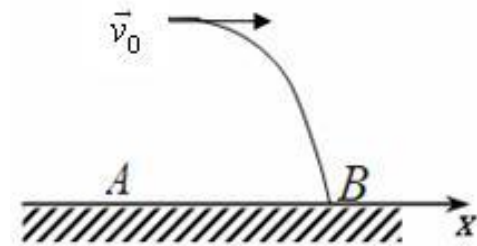


Рис. 1

### Решение.

Направим ось  $X$  горизонтально, ось  $Y$  вертикально, начало координат выберем в точке А. Запишем уравнения движения пакета по осям  $X$  и  $Y$

$$x = v_0 t, y = y_0 - gt^2 / 2$$

$$y_0 = h$$

Для точки падения В имеем  $(t = t_1, x = x_B, y = y_B = 0)$

$$x_B = v_0 t_1$$

$$0 = h - gt_1^2 / 2$$

Из последнего уравнения найдем

$$t_1 = \sqrt{2h/g}$$

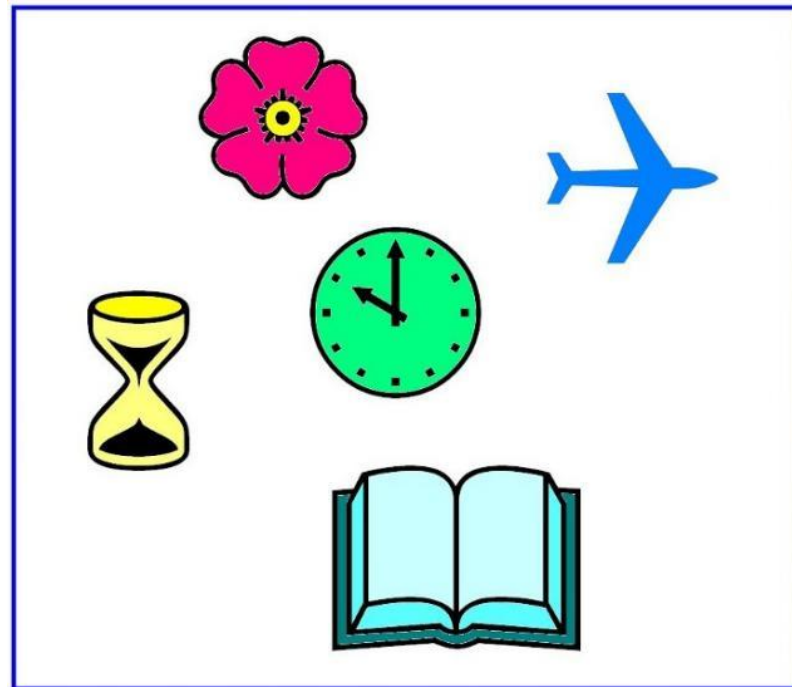
Искомое расстояние  $S = x_B$

$$S = v_0 t_1 = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$S = 100 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 490}{9,8}} = 10^3 \text{ м}$$

**Ответ.**  $10^3$

м.



## Вопросы на внимание по предыдущему рисунку.

1. Есть ли в книге картинки?
2. В какую сторону летит самолет?
3. Сколько лепестков у цветка?
4. Есть ли песок в верхней части песочных часов?
5. Какого цвета часы?
6. Сколько стрелок у часов?
7. Есть ли номер у самолета?



## Динамика материальной точки и поступательного движения твердого тела

Кинематика описывает движение тел, не затрагивая его причин. Динамика изучает движение тел в связи с теми **причинами** (взаимодействие между телами), которые обуславливают тот или иной характер движения. Основные законы механики установлены итальянским физиком и астрономом Галилеем (1564–1642) и окончательно сформулированы английским ученым Ньютоном.

Механика Галилея-Ньютона называется **классической (нерелятивистской) механикой**. В ней изучаются законы движения макроскопических тел, скорости которых малы по сравнению со скоростью света  $c$  в вакууме ( $c=3 \cdot 10^8$  м/с).

Законы движения тел со скоростями, сравнимыми со скоростью  $c$ , изучаются в релятивистской механике, основанной на **специальной теории относительности**, сформулированной Эйнштейном (1879–1955).

Для описания движения микроскопических тел (отдельные атомы и элементарные частицы) законы классической (ньютоновой) механики заменяются законами **квантовой механики**.

## Первый закон Ньютона. Масса и импульс тела. Сила

Динамика является основным разделом механики, в ее основе лежат три закона Ньютона, сформулированные им в 1687 г. Законы Ньютона играют исключительную роль в механике и являются (как и все физические законы) обобщением большого количества опытных фактов.

В качестве **первого закона** динамики Ньютон принял закон, установленный еще Галилеем: всякая материальная точка (тело) сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока воздействие со стороны других тел не выведет ее из этого состояния.

**Первый закон Ньютона** показывает, что состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения не требует для своего поддержания каких-либо внешних воздействий. В этом проявляется особое динамическое свойство тел, называемое инертностью. Поэтому первый закон Ньютона называют также законом инерции, а движение тела в отсутствие воздействия со стороны других тел – движением по инерции.

Система отсчета, в которой выполняется первый закон Ньютона, называют инерциальной системой отсчета.

**Инерциальной системой отсчета** является любая система, которая либо покоится, либо движется равномерно и прямолинейно относительно какой-то другой инерциальной системы.

Опытным путем установлено, что инерциальной можно считать гелиоцентрическую (звездную) систему отсчета (начало координат находится в центре Солнца, а оси проведены в направлении определенных звезд).

Система отсчета, связанная с поверхностью Земли, строго говоря, неинерциальна, однако эффекты, обусловленные ее неинерциальностью (Земля вращается вокруг собственной оси и вокруг Солнца), при решении многих задач пренебрежимо малы, и в этих случаях ее можно считать инерциальной



## История выбора "правильной" системы отсчета

Этот выбор в первую очередь связан с системой мира Коперника. Интересно вспомнить, что один из драматических эпизодов истории человеческой мысли - казнь Джордано Бруно, борьба и отречение Галилея - касался именно также проблемы выбора "правильной" системы отсчета. Очень было трудно человечеству согласиться с тем, что Земля - не центр мироздания, а всего лишь одна из планет, вращающихся вокруг Солнца.

Что же дал человечеству переход от геоцентрической (связанной с Землей) к гелиоцентрической (связанной с Солнцем) системе? Дело в том, что в солнечной системе отсчета движение планет выглядит гораздо проще. Солнечную систему с большой степенью точности можно считать инерциальной системой отсчета.

Очевидно, благодаря и этому тоже Кеплеру впоследствии удалось открыть законы движения планет, что, в свою очередь, помогло Ньютону открыть закон всемирного тяготения.





**Клавдий Птолемей** (ок. 90—ок. 160 нашей эры). Птолемей родился в Александрии (Египет), древний астроном, географ и математик, считавший Землю центром вселенной ("Птолемеяева система").



Птолемей подробно описывает эту геоцентрическую систему и пытается с помощью различных аргументов доказать, что в центре вселенной должна находиться неподвижная Земля.

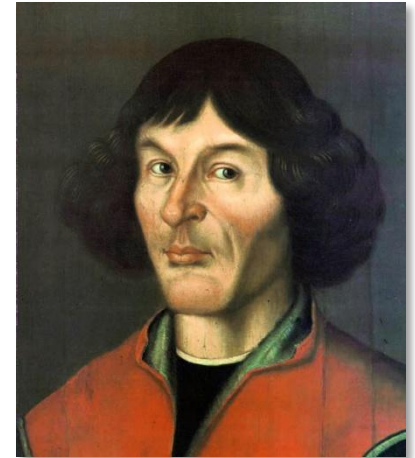
Птолемей доказывал, что, поскольку все тела падают в центр вселенной, именно Земля и должна быть там расположена в соответствии с направлениями свободно падающих тел.

Птолемей установил следующий порядок для объектов Солнечной системы: Земля (центр), Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн.

В результате геоцентрическая система стала абсолютной истиной для западного христианского мира вплоть до 15-го столетия, когда была вытеснена гелиоцентрической системой, разработанной великим польским астрономом Николаем Коперником.

**Николай Коперник** - прославленный астроном из Польши(1473-1543).

Николай Коперник отодвинул в сторону общепринятые представления о геоцентрической системе мира. Он выдвинул теорию о том, что Земля не является неподвижным центром мира.



*Принимая в соображение, какой нелепостью должно показаться это учение, я долго не решался напечатать мою книгу и думал, не лучше ли будет последовать примеру пифагорейцев и других, передававших своё учение лишь друзьям, распространяя его только путём предания.*

Николай Коперник



**Гелиоцентрическая система** в варианте Коперника может быть сформулирована в семи утверждениях:

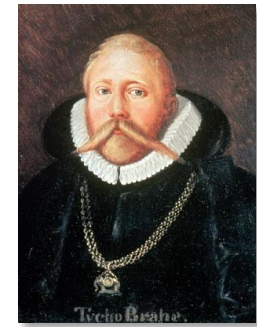
1. Орбиты и небесные сферы не имеют общего центра;
2. Центр Земли — не центр Вселенной, но только центр масс и орбиты Луны;
3. Все планеты движутся по орбитам, центром которых является Солнце, и поэтому Солнце является центром мира;
4. Расстояние между Землёй и Солнцем очень мало по сравнению с расстоянием между Землёй и неподвижными звёздами;
5. Суточное движение Солнца — воображаемо, и вызвано эффектом вращения Земли, которая поворачивается один раз за 24 часа вокруг своей оси, которая всегда остаётся параллельной самой себе;
6. Земля (вместе с Луной, как и другие планеты), обращается вокруг Солнца, и поэтому те перемещения, которые, как кажется, делает Солнце (суточное движение, а также годичное движение, когда Солнце перемещается по Зодиаку) — не более чем эффект движения Земли;
7. Это движение Земли и других планет объясняет их расположение и конкретные характеристики движения планет.



**Джордано Бруно** (1548-1600) пострадал от рук инквизиции: 17 февраля 1600 года мыслитель был сожжен на Площади цветов в Риме. Последними словами Бруно были: «Сжечь – не значит опровергнуть». Спустя три столетия, в 1889 году, на месте казни в честь Джордано Бруно был воздвигнут памятник.



Своим мыслям Бруно предпочитал придавать не строгую форму научных трактатов, но поэтическую форму и образность, а также риторическую красочность. Он легко и смело интерпретировал идеи Коперника, облакая свои мысли в определенную поэтическую форму. Бруно утверждал, что Вселенная бесконечна и существует вечно, что в ней находится бесчисленное количество миров, каждый из которых по своему строению напоминает Солнечную систему.



**Иоган Кеплер (1571-1630)** – Выдающийся немецкий астроном и математик, открывший законы движения планет вокруг Солнца. Кеплер был активным сторонником учения Коперника и своими работами способствовал его утверждению и развитию.

Кеплер не скрывал своих взглядов и убеждений. Открытая пропаганда учения Коперника очень скоро навлекла на него ненависть богословов.

Знаменитый датский астроном-наблюдатель **Тихо Браге (1546—1601)**, скептически отнесшийся к самой схеме Коперника, отдавал должное самостоятельности мышления молодого ученого, знанию им астрономии, искусству и настойчивости. Будучи великолепным наблюдателем, Тихо Браге за много лет составил объёмный труд по наблюдению планет и сотен звёзд, причём точность его измерений была существенно выше, чем у всех предшественников.



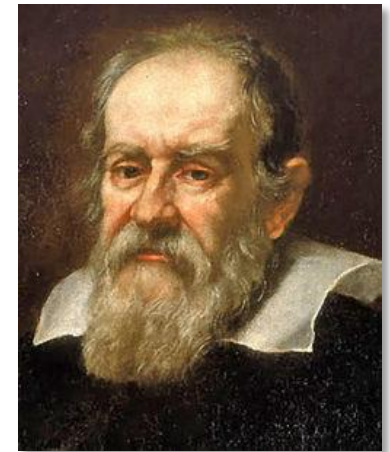
**Первый закон Кеплера** предполагает, что Солнце находится не в центре эллипса, а в особой точке, называемой фокусом. Из этого следует, что расстояние планеты от Солнца не всегда одинаковое. Так как эллипс — плоская фигура, то первый закон подразумевает, что каждая планета движется, оставаясь все время в одной и той же плоскости.

**Второй закон** звучит так: радиус-вектор планеты (т. е. отрезок, соединяющий Солнце и планету) описывает равные площади в равные промежутки времени. Этот закон часто называют законом площадей. Второй закон указывает, прежде всего, на изменение скорости движения планеты по ее орбите: чем ближе планета подходит к Солнцу, тем быстрее она движется. Но этот закон дает на самом деле больше. Он целиком определяет движение планеты по ее эллиптической орбите.

**Третий закон Кеплера:** квадраты периодов обращения любых двух планет вокруг солнца относятся между собой как кубы их средних расстояний от Солнца.

Работы Кеплера над созданием небесной механики сыграли важнейшую роль в утверждении и развитии учения Коперника. Им была подготовлена почва и для последующих исследований, в частности для открытия Ньютоном закона всемирного тяготения.

**Галилео Галилей** (1564-1642), итальянский физик, механик и астроном, один из основателей естествознания Нового времени.



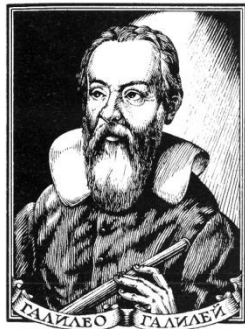
*...семидесятилетний больной старик, стоя на коленях и склонив голову над свитком, читал:*

*– Предписанием Святой службы мне было официально приказано, что я должен отказаться от ложного мнения, будто...*

*– Громче! – прервал его голос кардинала-инквизитора.*

*– ... будто солнце есть центр мира и не движется, а Земля не есть центр и движется, и что нельзя держаться, защищать и преподавать каким бы то ни было образом, ни устно, ни письменно, названной ложной доктрины...*

Закончив, он попытался подняться, но не сумел. Ему помогли. Судилище завершилось. Измученный длительной борьбой в отстаивании идеи Коперника, разрушающей догмат святой церкви о Земле как центре Вселенной и о ее неподвижности, Галилей все же не сломлен. Он лишь доведен до той крайней степени истощенности духа, когда становится очевидной бессмысленность дальнейшего сопротивления.



Вся жизнь великого ученого свидетельствует, что, уступая злой, слепой силе, он не смирился.

Он открыл горы на Луне и по длине теней измерил высоты.

Открыл четыре спутника Юпитера и определил их время обращения.

Он наблюдал Сатурн и предположил у него систему колец.

Открыл пятна на Солнце, по движению которых определил время обращения светила вокруг оси.

Открыл фазы Венеры и констатировал изменения видимого диаметра у Марса.

Безотносительно к астрономическим открытиям Галилея вместе с Ньютоном считают основоположником науки современности. До сих пор считалось, скорость движения какого-либо тела находится в зависимости от приложенной силы. Как только действие силы прекращается – тело останавливается. И повседневный опыт как будто убеждает нас в том.

Но Галилей вывел принцип, положивший начало новой физике: если на тело не оказывать никакого внешнего воздействия, оно находится в состоянии покоя, либо в состоянии прямолинейного движения с неизменной скоростью.



Это Галилей первым вывел формулу: пройденный падающим телом путь пропорционален квадрату времени падения.

Он первым определил, что траектория всякого тела, брошенного под углом к горизонту – парабола.

Открыл изохронность колебаний маятника.

Он изобрел телескоп...

Перечислять все открытия великого ученого можно долго, такие гении рождаются не часто.

*...Силы покидали истомленное тело. Галилей сознавал, что уходит из жизни. Но он знал: его «Диалог», его «Беседы» – вроде бы сугубо математический труд, но на самом деле материально укрепляющий смысл «Диалога», – обе эти книги уже вышли отдельными изданиями в нескольких столицах Европы. Мысли о них укрепляли его. А отречения не было. Был жуткий спектакль, фарс, в котором он сыграл только роль. Роль, навязанную силой, но в воззрении его ничего переменить не сумевшую.*

## Эксперимент Фуко

Впервые публичная демонстрация была осуществлена Фуко в **1851 г.** в Парижском Пантеоне: под куполом Пантеона он подвесил металлический шар массой **28 кг** с закреплённым на нём остриём на стальной проволоке длиной **67 м**, крепление маятника позволяло ему свободно колебаться во всех направлениях, под точкой крепления было сделано круговое ограждение диаметром **6 метров**, по краю ограждения была насыпана песчаная дорожка таким образом, чтобы маятник в своём движении мог при её пересечении прочерчивать на песке отметки. Чтобы избежать бокового толчка при пуске маятника, его отвели в сторону и привязали верёвкой, после чего верёвку пережгли.

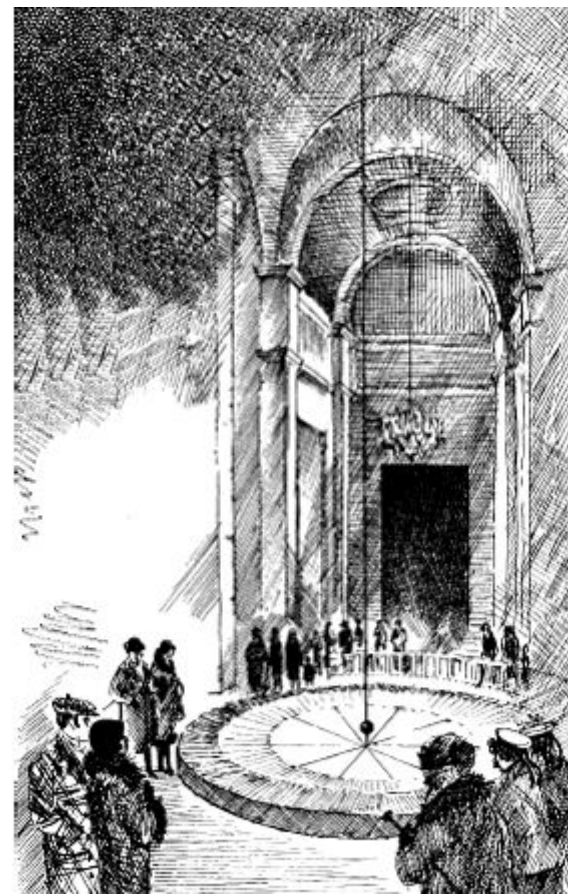
Период колебания маятника при такой длине подвеса составлял **16,4 секунд**, при каждом колебании отклонение от предыдущего пересечения песчаной дорожки составляло **~3 мм**, за час плоскость колебаний маятника повернулась более чем на **11°** по часовой стрелке, то есть примерно за **32 часа** совершила полный оборот и вернулась в прежнее положение.



В Исаакиевском соборе маятник Фуко был запущен в ночь с 11 на 12 апреля 1931 года. На стальной проволоке диаметром 1 мм и длиной 98 м был подвешен бронзовый шар массой 60 кг. Достаточно северное положение города обеспечивало значительное отклонение маятника – за час примерно  $13^\circ$ . За одно колебание плоскость качаний смещалась на 6 мм, что было хорошо видно.

Тогда это называли триумфом науки над религией. Однако представители церкви отметили, что этот опыт ни как не опровергает догмат существования Бога. Хранитель экспозиции Исаакиевского собора Сергей Окунев прокомментировал это так:

«На самом деле, всё было наоборот. Первый опыт Фуко был выполнен с благословения папы Римского для того, чтобы доказать могущество Бога».



## Физика эксперимента Фуко

Маятник Фуко является **математическим** маятником, такой маятник, отклонённый от равновесного положения, совершает колебания в плоскости, неподвижной в инерциальной системе отсчёта (в данном случае — системе отсчёта, **«связанной»** со звёздами).

Наблюдатель, находящийся на Земле и вращающийся вместе с нею, находится в неинерциальной (вращающейся) системе отсчёта и будет видеть, что плоскость колебаний маятника медленно поворачивается относительно земной поверхности в сторону, противоположную направлению вращения Земли.

На Северном или Южном полюсе Земли (ось вращения Земли лежит в плоскости колебаний маятника) плоскость колебаний маятника Фуко совершает поворот на **360°** за сутки (на **15°** за час), на экваторе (ось вращения Земли перпендикулярна плоскости колебаний маятника) плоскость колебаний маятника Фуко неподвижна, в точке с произвольной географической широтой плоскость колебаний маятника совершает поворот (за сутки) на угол в диапазоне **0..360°**.

# Спасибо

ДАВАЙ ДОСВИДАНИЯ!



за

внимание!