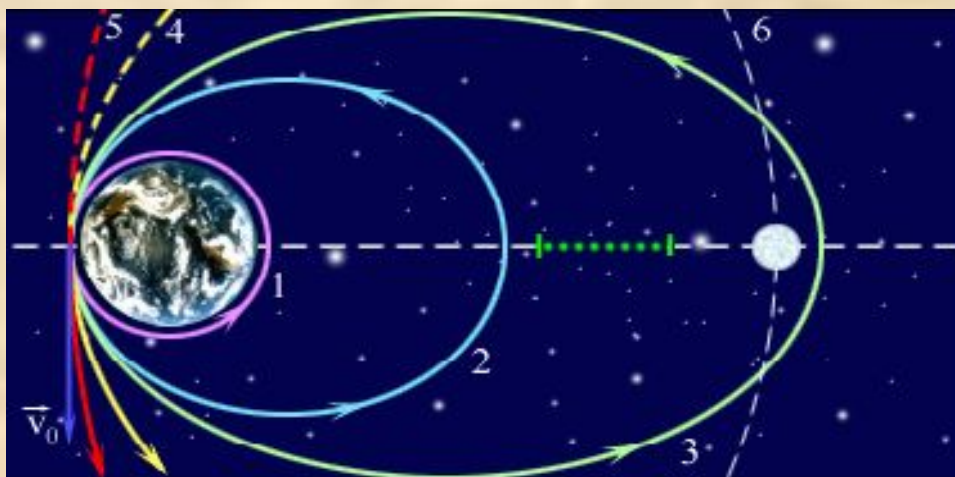


# Движение

# по окружности



# Цели

- Изучить основные характеристики движения:
  - **угловая скорость;**
  - **линейная скорость;**
  - **ускорение;**
  - **период.**
- Рассмотреть всевозможные случаи применения движения по окружности:
  - **вращение тела;**
  - **движение на поворотах;**
  - **движение планет;**
  - **движение заряженных частиц.**

# Характеристики движения

- Линейная скорость,  $V$  (м/с).
- Угловая скорость,  $\omega$  (рад/с).
- Центробежное ускорение,  $a$  (м/с<sup>2</sup>).
- Период обращения,  $T$  (с).
- Частота обращения,  $\nu$  (рад/с).

# Перемещение

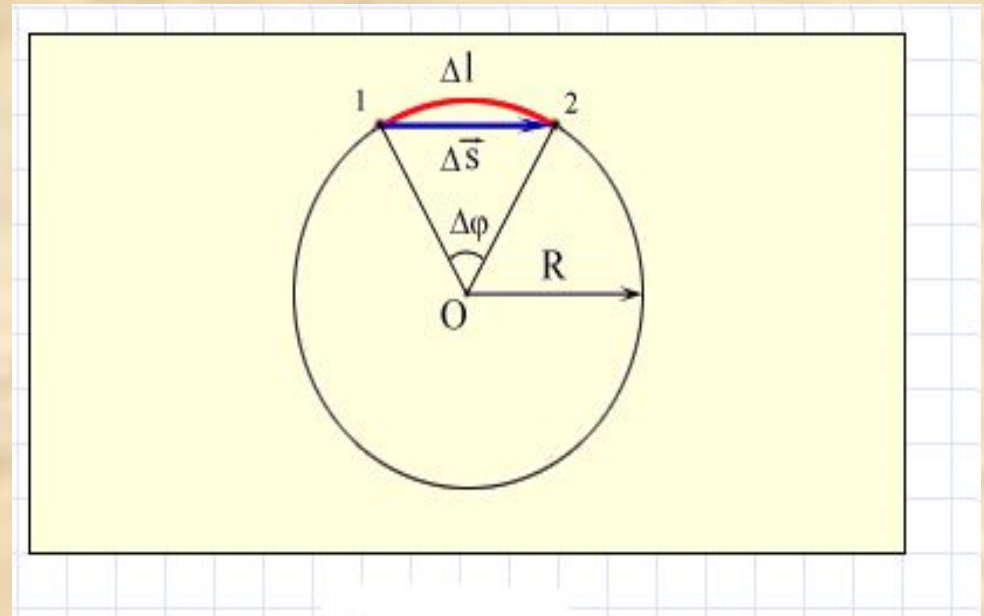
Линейное:  $\Delta \vec{s}$

Угловое:  $\Delta \varphi$

При малых углах поворота:

$$\Delta l \approx \Delta s.$$

$$\Delta l = R \Delta \varphi.$$



**Линейное и угловое перемещение при движении тела по окружности.**

# Траектория движения



# Траектория движения

# Траектория движения

# Траектория движения



# Скорость

*Линейная скорость*

$$V = s/t$$

*Угловая скорость*

$$\omega = \phi/t$$

$$V = \square$$

R

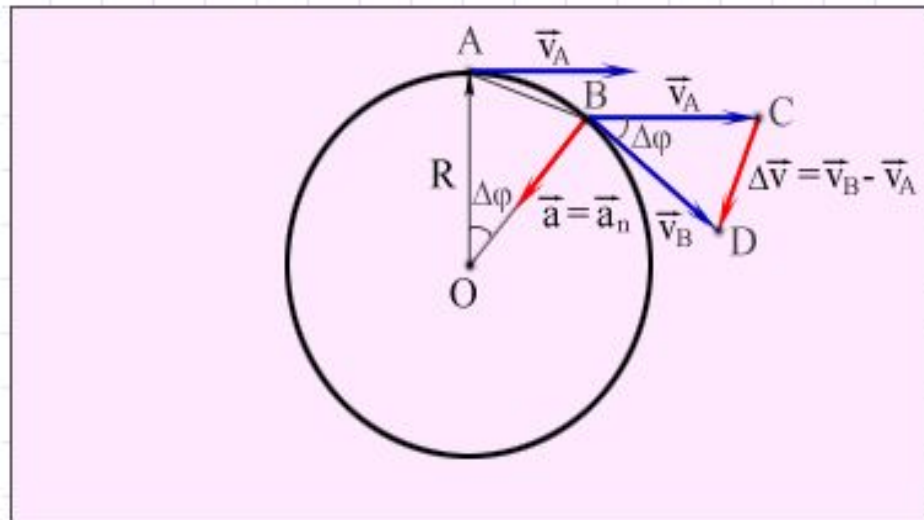
Модель. Скорость тела при  
движении по окружности.

# Ускорение

Движение по окружности – это движение с ускорением.

Центростремительное ускорение тела направлено по радиусу к центру окружности.

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$



**Центростремительное ускорение тела при движении по окружности.**

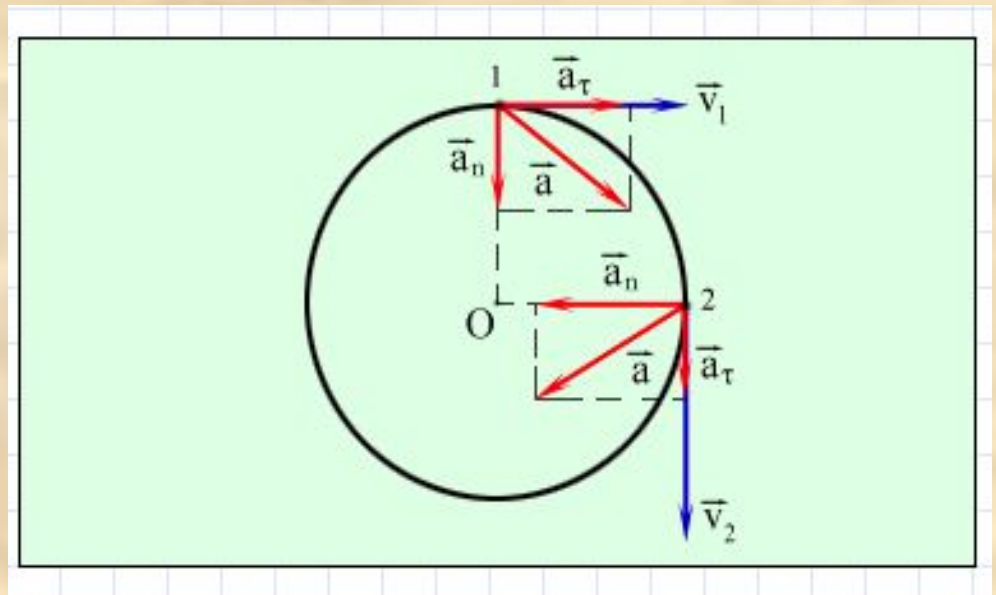
# Тангенциальное ускорение

При неравномерном движении тела:

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

Тангенциальное ускорение тела:

$$a_\tau = \frac{\Delta v_\tau}{\Delta t}; (\Delta t \rightarrow 0).$$



**Ускорение тела при неравномерном движении по окружности.**

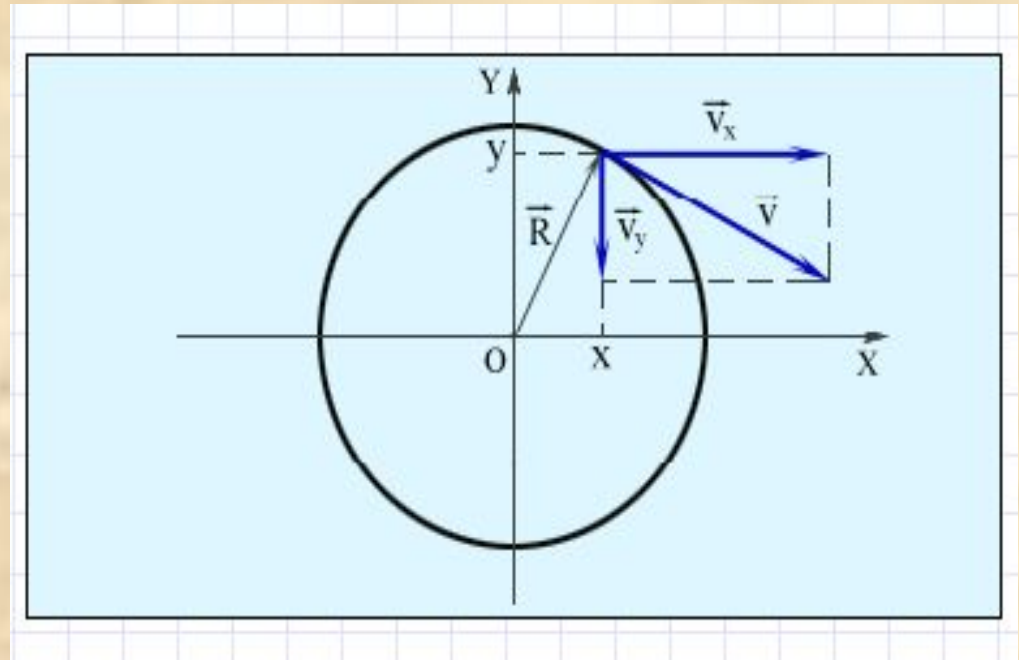
# Координаты

На плоскости движение можно описать с помощью координат  $x$  и  $y$ .

Все величины будут периодически изменяться во времени по гармоническому закону с

периодом:

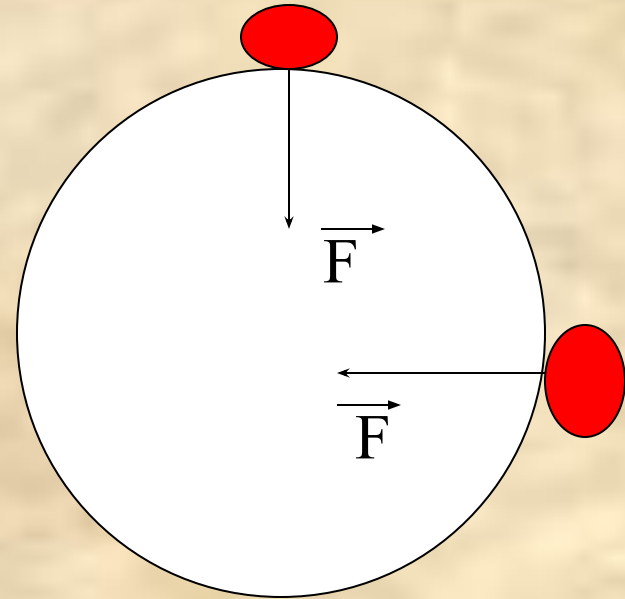
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi}{\omega}$$



**Разложение вектора скорости по координатным осям.**

# Условие движения

Для движения тела по окружности необходимо, чтобы на это тело действовала сила, направленная к центру окружности и равная:  
 $-F = mv^2/r$  или  $F = m\omega^2 r$ .

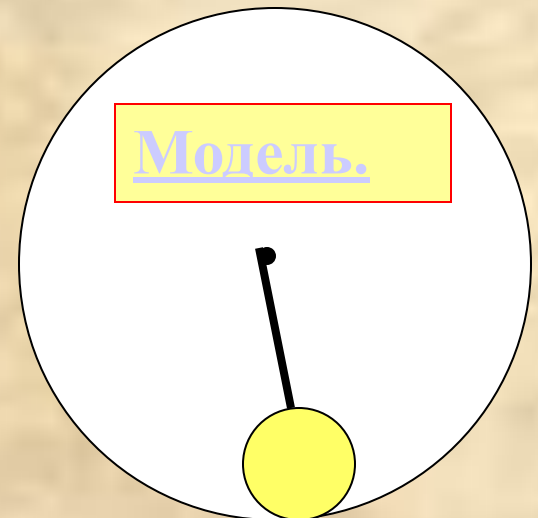


# Вращение шара в вертикальной плоскости

Центростремительное ускорение вызывается равнодействующей сил упругости и тяжести.

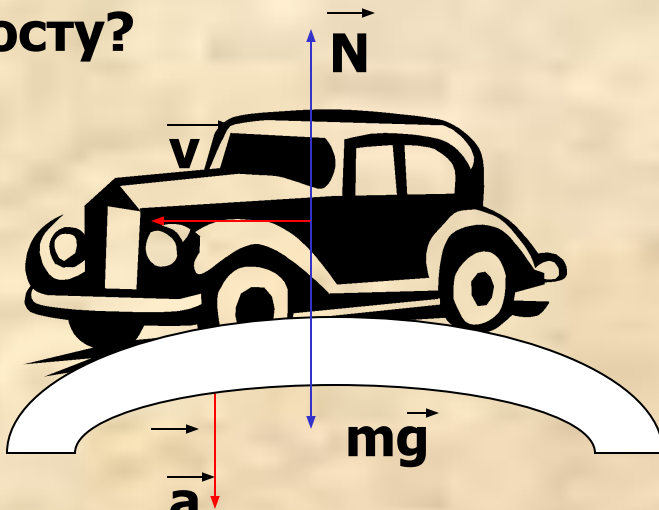
В нижней точке:  $R = F_{\text{упр}} - mg$ ,  
направлена вверх.

В верхней точке:  $R = F_{\text{упр}} + mg$ ,  
направлена вниз.



# Задача 1

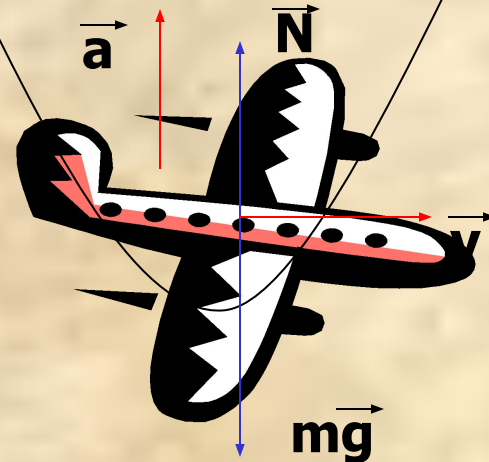
Какое состояние испытывает  
водитель автомобиля при  
движении по выпуклому  
мосту?



$$P=N=m(g-v^2/r), P<mg.$$

Состояние частичной  
невесомости.

Летчик выводящий самолет  
из пикирования в нижней  
части траектории?



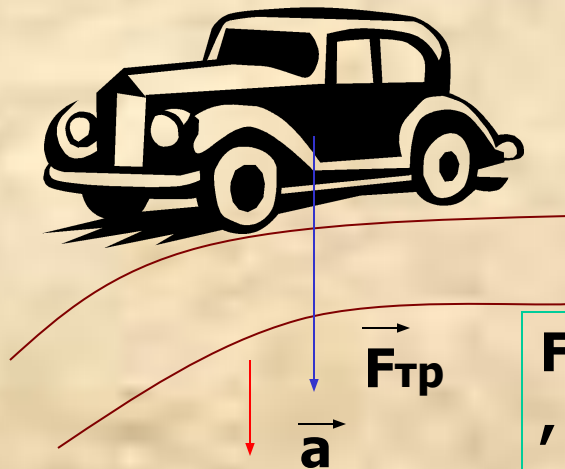
$$P=N=m(g+v^2/r), P>mg.$$

Состояние перегрузки.

# Движение тела на поворотах

Центростремительное ускорение на поворотах дороги вызывает сила трения.

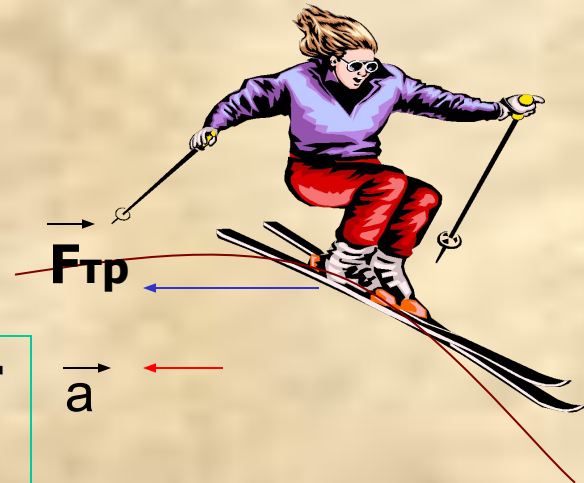
Для этого водитель автомобиля разворачивает рулем передние колеса.



$$\vec{F}_{тр} = \square mg = mv^2 / r$$

$$\mu g = v^2 / r.$$

Спортсмен наклоняет корпус в сторону центра поворота.

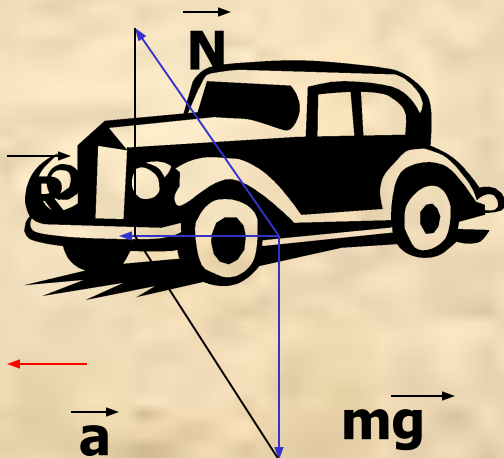




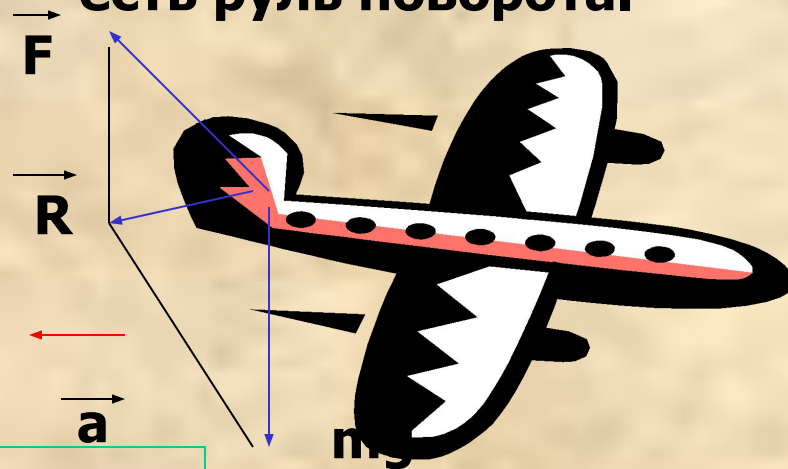
# Движение тела на поворотах

При повороте равнодействующая всех сил должна быть направлена к центру поворота.

Для этого на скоростных трассах делают наклон дороги.



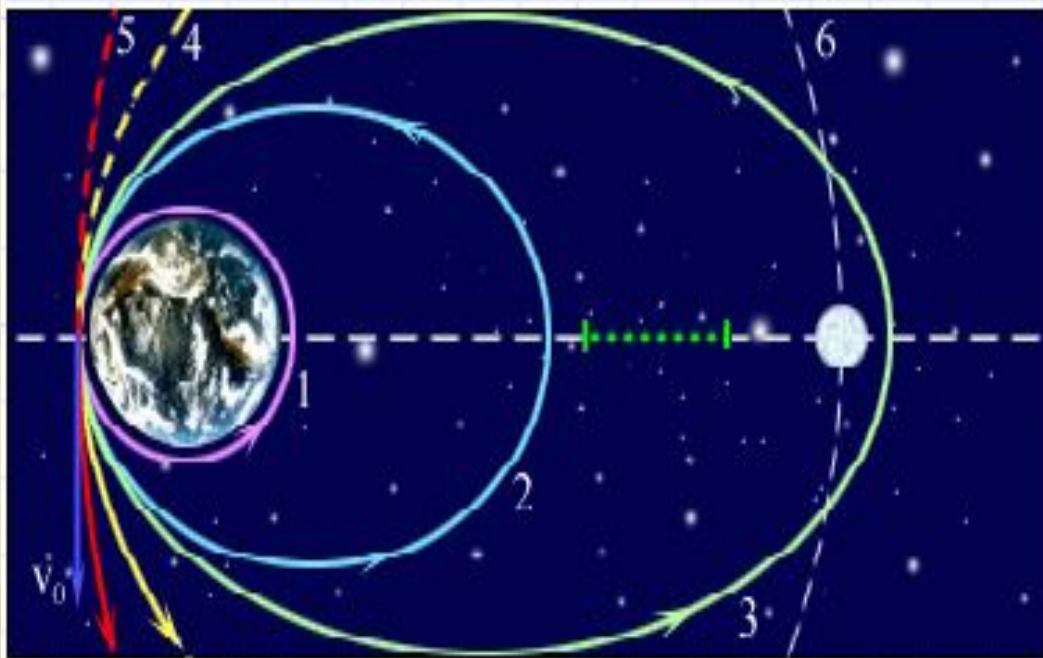
У самолета на хвостовом оперении есть руль поворота.



$$R = mv^2/r.$$

# Движение тел в гравитационном поле

Сила гравитационного притяжения сообщает и небесным телам центростремительное ускорение.



Траектории:

**1-круговая;**

**2,3 –эллиптические;**

**4-параболическая;**

**5-гиперболическая; 6-  
траектория Луны.**

Модель.

# Задача 2

**Найти первую космическую скорость для планет Солнечной системы, если известен их радиус и ускорение свободного падения.**

Меркурий	3,7 м/с <sup>2</sup>	2 440 км	
Венера	8,9 м/с <sup>2</sup>	6 050 км	
Марс	9,8 м/с <sup>2</sup>	3 397 км	
Юпитер	25,8 м/с <sup>2</sup>	69 900 км	
Сатурн	11,3 м/с <sup>2</sup>	58 000 км	
Уран	9,0 м/с <sup>2</sup>	25 400 км	
Нептун	11,6 м/с <sup>2</sup>	24 300 км	
Плутон	2,0 м/с <sup>2</sup>	1 140 км	

# Движение планет

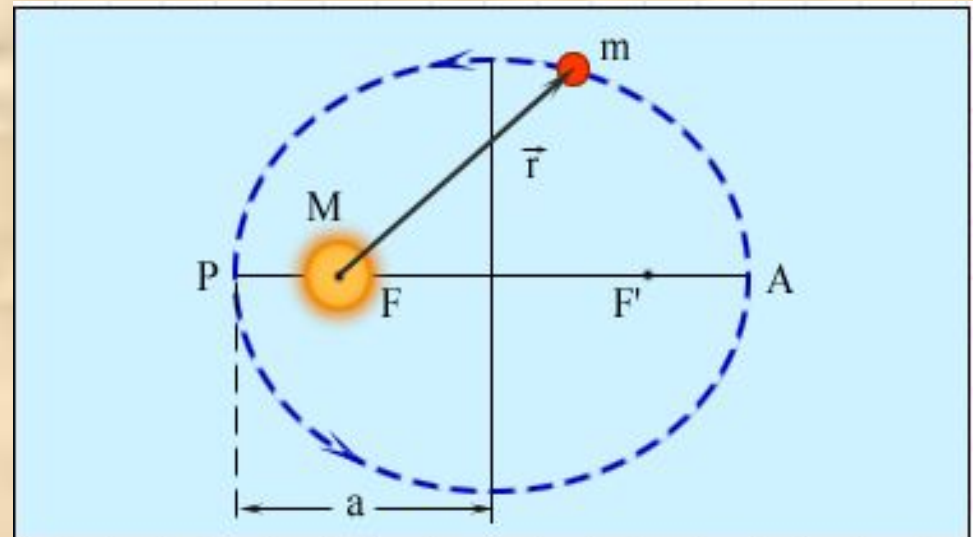
Первый закон Кеплера. Орбита каждой планеты есть эллипс, в одном из фокусов (F) которого находится Солнце.

**F, F'** - фокусы,

**a** – большая полуось,

**P**-перигелий,

**A**-афелий.



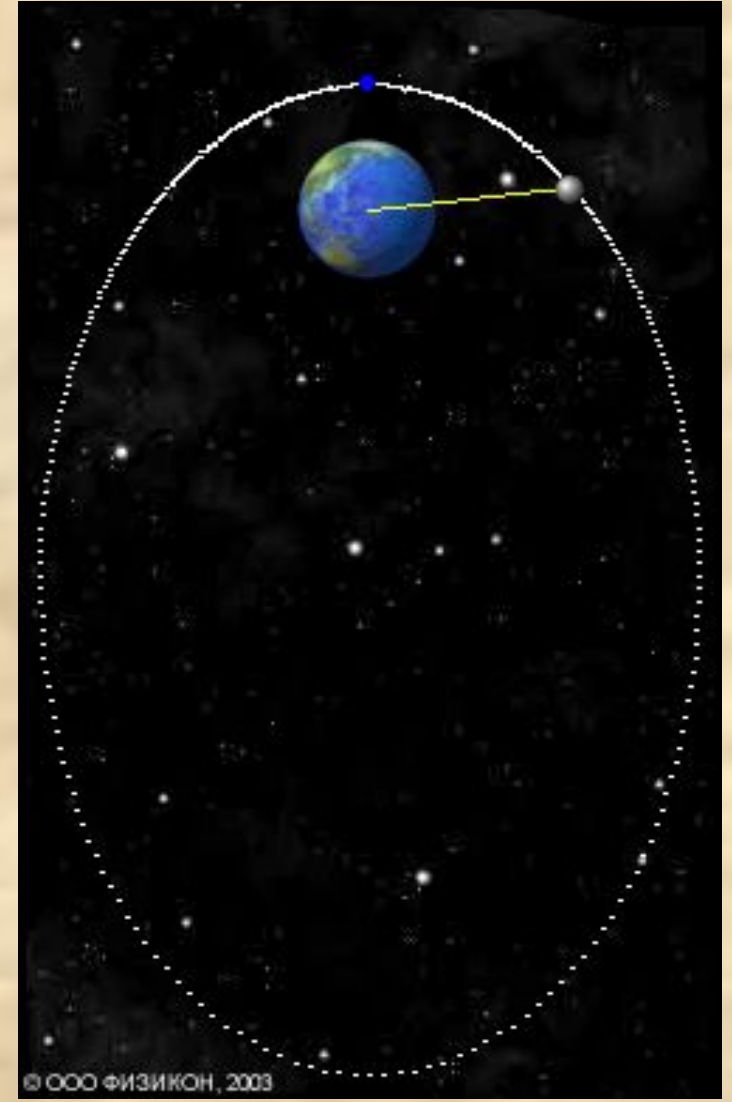
# Движение планет

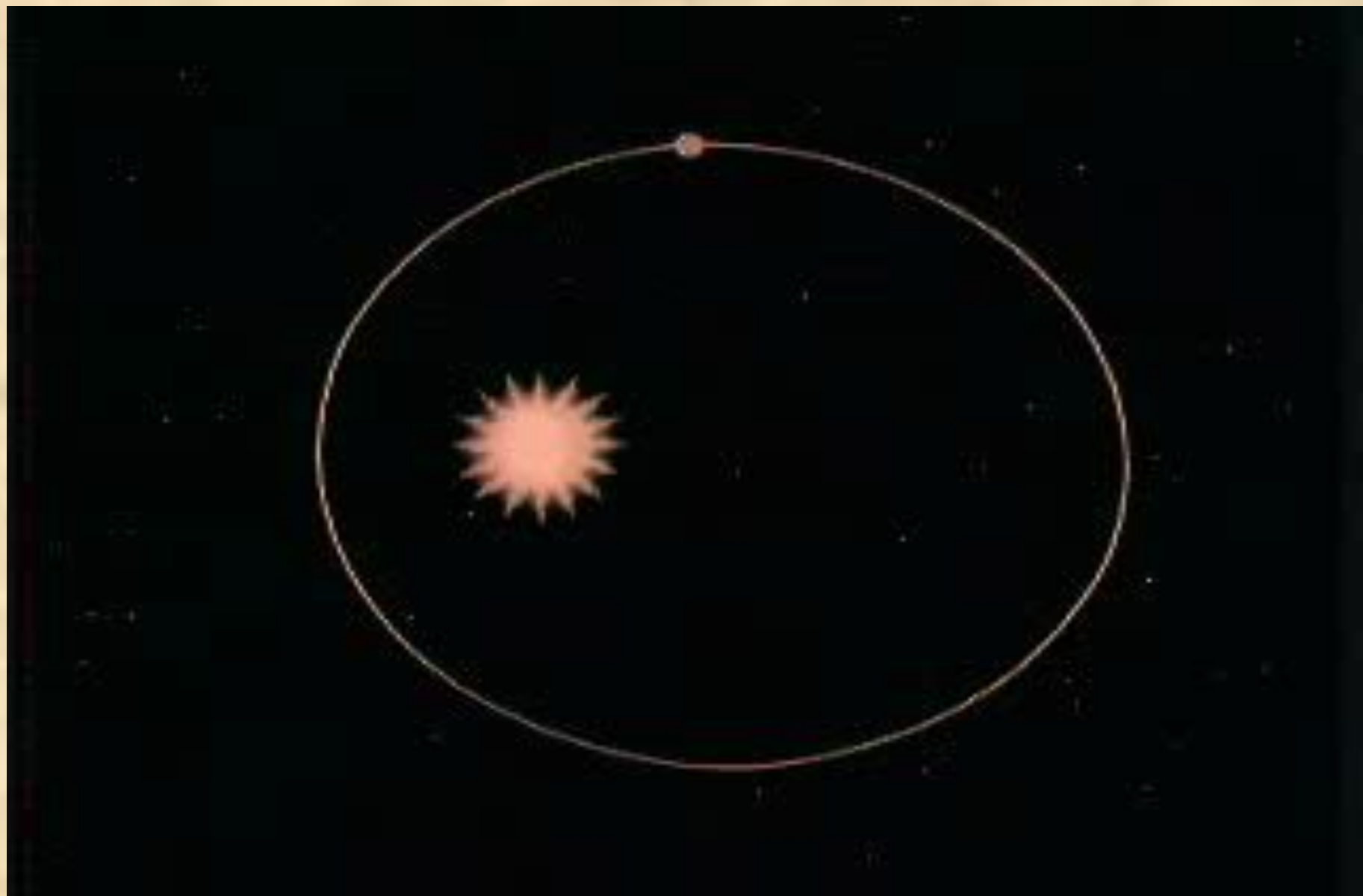
Второй закон Кеплера. Радиус-вектор планеты в равные промежутки времени описывает равные площади.

Третий закон Кеплера.

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{const} \text{ или } \frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3}$$







# Задача 3

**Найти период обращения планет земной группы, если известно их среднее расстояние от Солнца.**

Меркурий	0,39 а.е.	
Венера	0,72 а.е.	
Марс	1,52 а.е.	
Плутон	39,52 а.е.	

$$T_3 = 1 \text{ год}, a_3 = 1 \text{ а.е.}$$



# Задача 4

**На каком расстоянии от Солнца находятся планеты-гиганты, если известен их период обращения?**

Юпитер	11,86 года	
Сатурн	29,46 года	
Уран	84,02 года	
Нептун	164,78 года	

$$T_3 = 1 \text{ год}, a_3 = 1 \text{ а.е.}$$

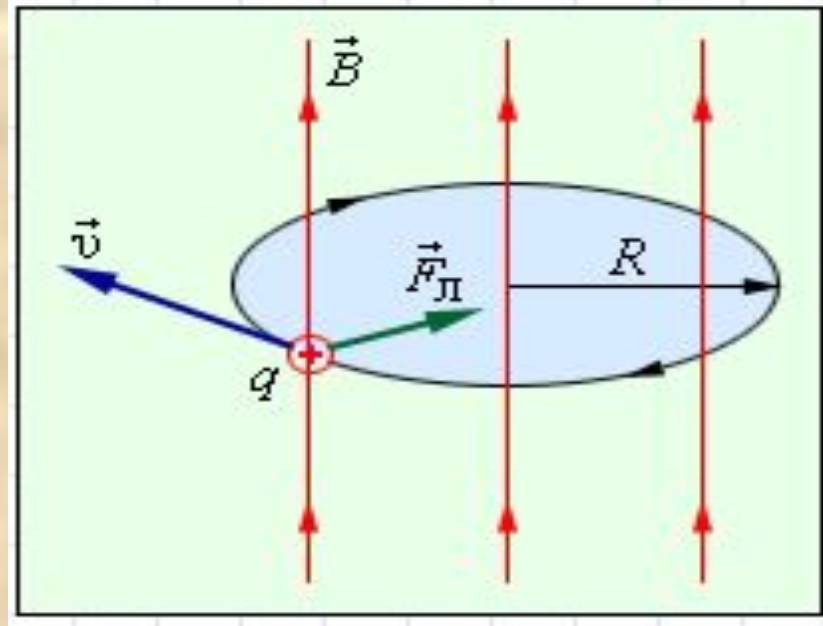
# Движение в магнитном поле

Под действием силы Лоренца заряженная частица в магнитном поле движется по окружности.

Период обращения частицы в магнитном поле:

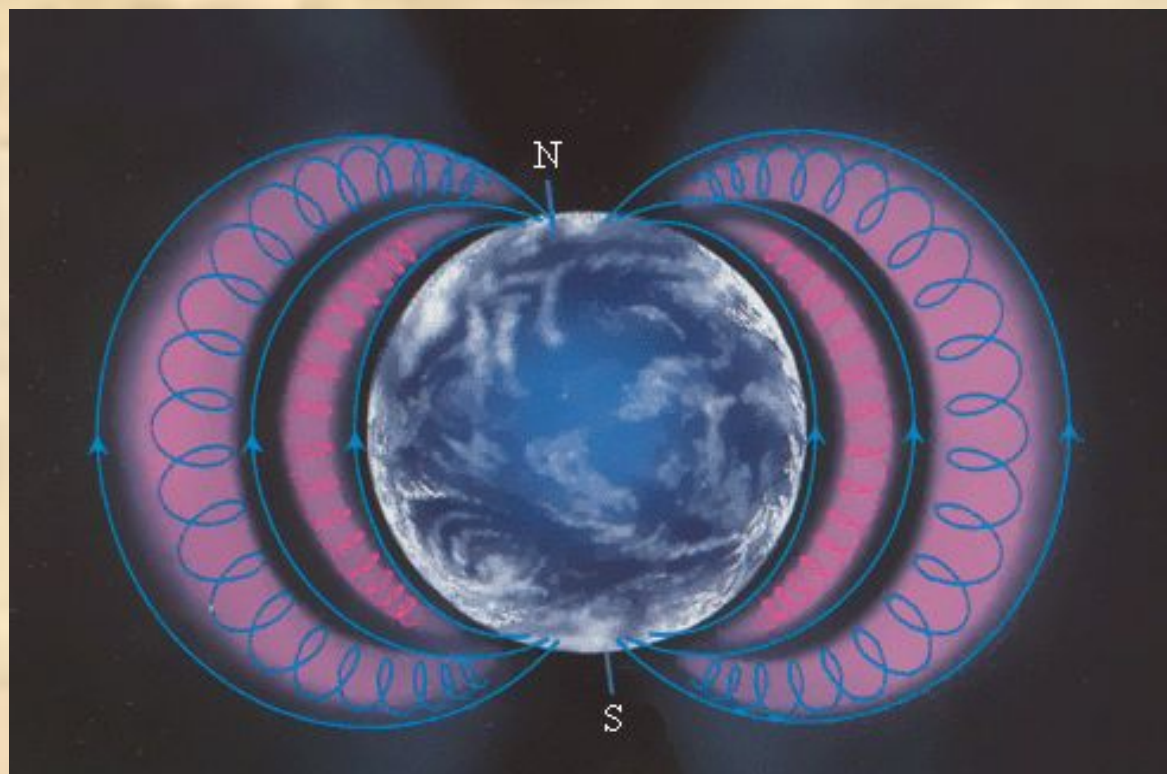
$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

Векторы  $v$ ,  $B$  и  $F_{\text{Л}}$  взаимно перпендикулярны  
 $F_{\text{Л}} = qvB \sin \alpha$ , по окружности радиусом  $R = mv/qB$ .



# Радиационные пояса Земли

**Поток  
заряженных  
частиц, влетая в  
магнитное поле  
Земли, под  
действием силы  
Лоренца начинает  
двигаться от  
одного полюса к  
другому и  
обратно.**



**Радиационные пояса – области, в которых находятся  
частицы задержанные магнитным полем.**

# Строение атома

Планетарная модель атома  
Резерфорда:

**электроны движутся вокруг ядра  
атома по эллипсам.**

