

---

ОБЩАЯ ФИЗИКА.  
МЕХАНИКА  
Лекции №13-14

***НЕИНЕРЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ  
ОТСЧЕТА. ПОНЯТИЕ ОБ ОБЩЕЙ  
ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ***

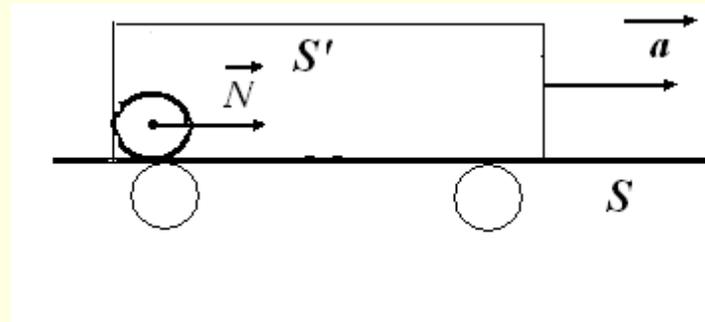
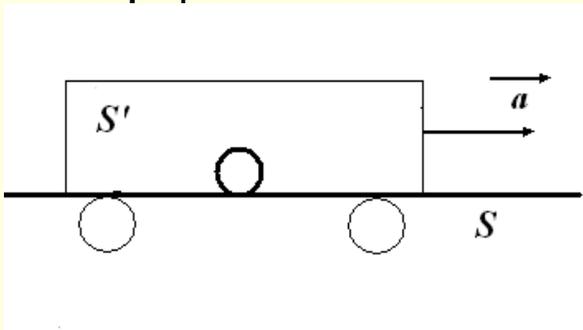
# Содержание

---

- 1. Законы Ньютона в неинерциальных системах отсчета**
- 2. Силы инерции в неинерциальных системах отсчета, движущихся поступательно. Принцип Даламбера**
- 3. Силы инерции во вращающихся системах отсчета**
- 4. Центробежная сила инерции**
- 5. Сила Кориолиса**
- 6. Силы инерции в природе и технике**
- 7. Элементы общей теории относительности**

# Законы Ньютона в неинерциальных системах отсчета

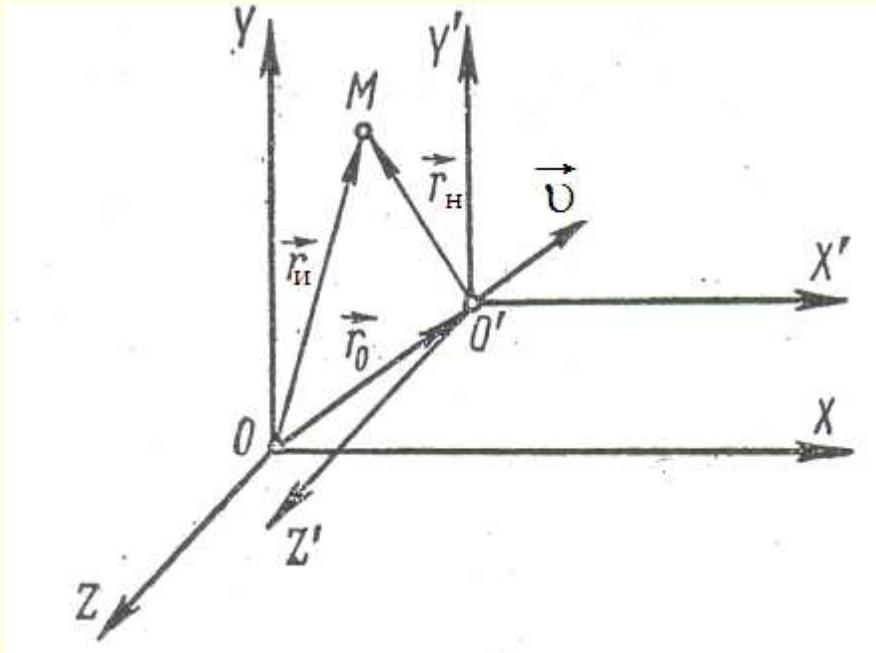
- Неинерциальными системами отсчета называют системы, которые движутся с ускорением относительно инерциальной.



- В неинерциальной системе отсчета появляется ускоренное движение без действия каких-либо сил со стороны других тел - не выполняется первый закон Ньютона
- В неинерциальной системе (в вагоне) на шар действует сила реакции стенки в горизонтальном направлении. Однако относительно вагона шар покоится не приобретает ускорения, то есть не выполняется второй закон Ньютона.

# Силы инерции в неинерциальных системах отсчета, движущихся поступательно.

## Принцип Даламбера



$$\vec{r}_{\text{И}} = \vec{r}_0 + \vec{r}_{\text{H}}.$$

$$\frac{d\vec{r}_{\text{И}}}{dt} = \frac{d\vec{r}_0}{dt} + \frac{d\vec{r}_{\text{H}}}{dt'}.$$

$$\vec{v}_{\text{И}} = \vec{v}_0 + \vec{v}_{\text{H}}.$$

$$\vec{a}_{\text{И}} = \vec{a} + \vec{a}_{\text{H}}$$

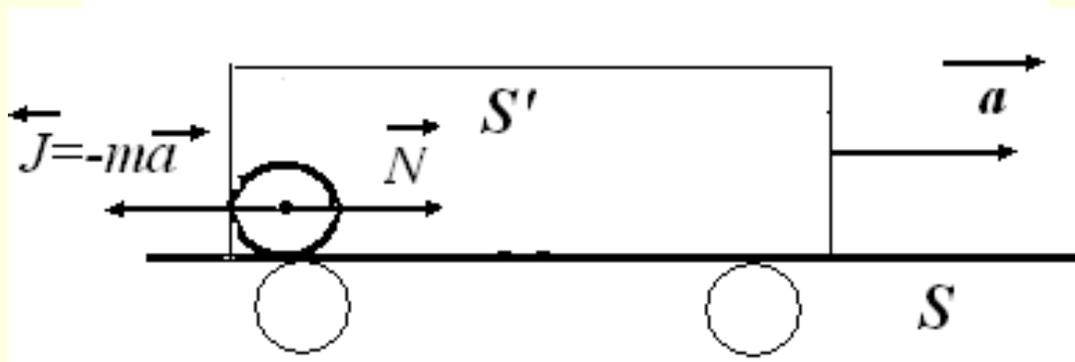
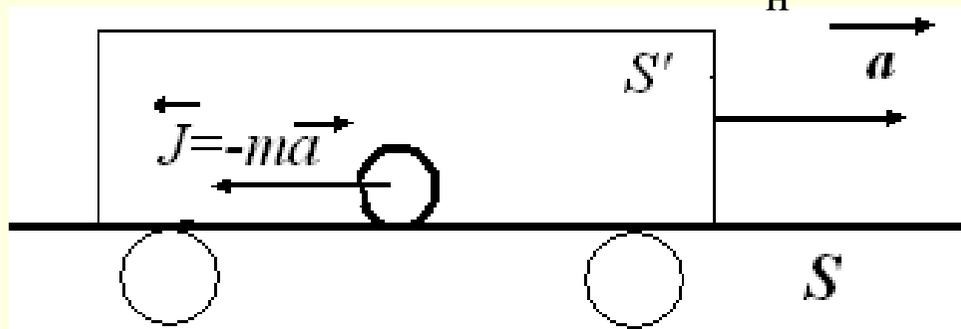
$$m\vec{a}_{\text{И}} = m\vec{a} + m\vec{a}_{\text{H}}$$

$$m\vec{a}_{\text{H}} = \vec{R} + \vec{J}$$

# Принцип Даламбера

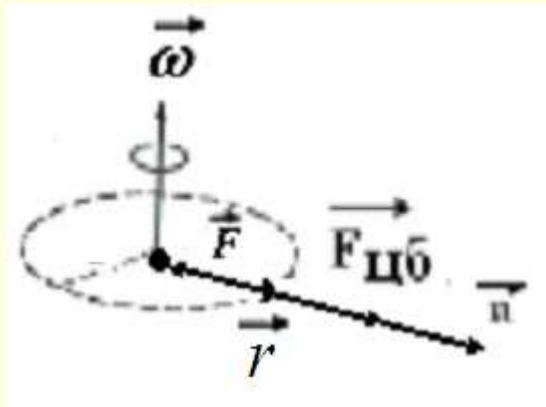
- Векторная сумма сил взаимодействия и сил инерции равна произведению массы тела на ускорение относительно неинерциальной системы отсчета.

$$m\vec{a}_H = \vec{R} + \vec{J}$$



## Силы инерции во вращающихся системах отсчета. Центробежная сила инерции

Пусть система (диск) вращается относительно неподвижной оси с угловой скоростью. Тело пусть **ПОКОИТСЯ**



$$\vec{J} = -m(\vec{a}_и - \vec{a}_н).$$

$$\vec{J} = -m\vec{a}_и.$$

$$\vec{a}_и = -\omega^2 r \vec{n}$$

$$\vec{J} = \vec{F}_{цб} = m\omega^2 \vec{n}.$$

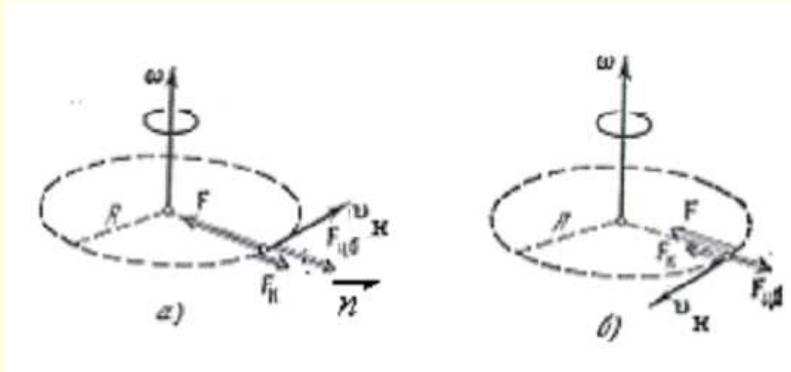
# Особенности центробежной силы

---

1. Зависит от положения материальной точки в НСО
2. Не зависит от того движется тело или покоится
3. Центробежная сила инерции – сила консервативная
4. Центробежную силу инерции необходимо учитывать, рассматривая движение тел относительно Земли
5. В «центробежном поле» справедлив закон Архимеда и закон плавания тел: тела с большей плотностью перемещаются в направлении силовых линий – «тонут», а менее плотные двигаются навстречу силовым линиям поля – «всплывают»

# Сила Кориолиса

- Пусть имеем вращающийся диск с  $\vec{\omega} = \text{const.}$



$$\vec{a}_H = -\frac{v_H^2}{r} \vec{n}.$$

$$\vec{a}_H = -\frac{v_H^2}{r} \vec{n}.$$

$$v_H = v_H + \omega r.$$

$$\vec{J} = -m(\vec{a}_H - \vec{a}_H) = -m\left(\frac{v_H^2}{r} \vec{n} - \frac{v_H^2}{r} \vec{n}\right)$$

$$\vec{J} = m\left(\frac{v_H^2 + 2v_H\omega r + \omega^2 r^2}{r} - \frac{v_H^2}{r}\right) \vec{n} = (m\omega^2 r + 2m v_H \omega) \vec{n}.$$

$$\vec{F}_{\text{кор}} = 2m[\vec{v}_H \vec{\omega}]$$

# *Свойства силы Кориолиса*

---

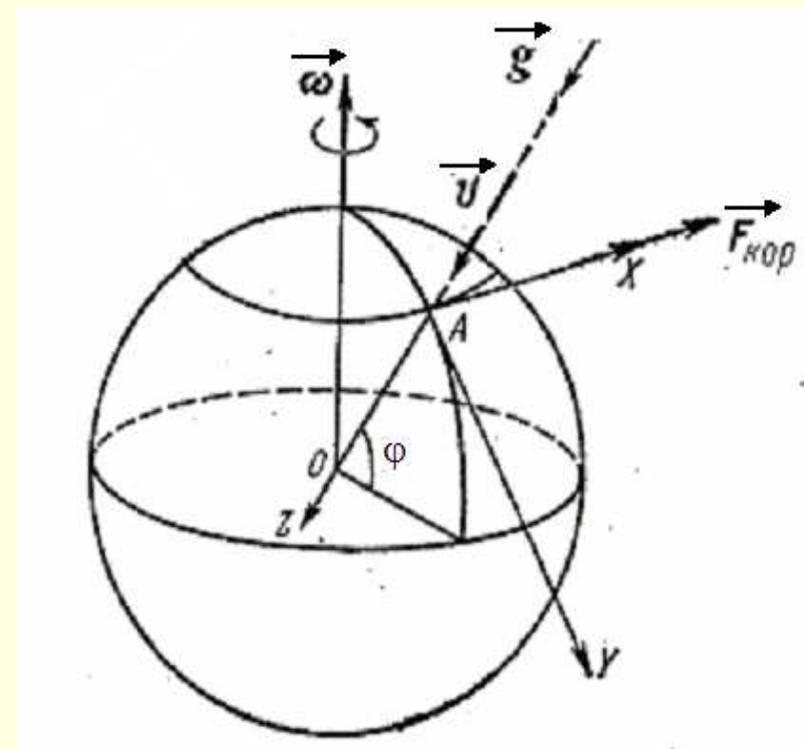
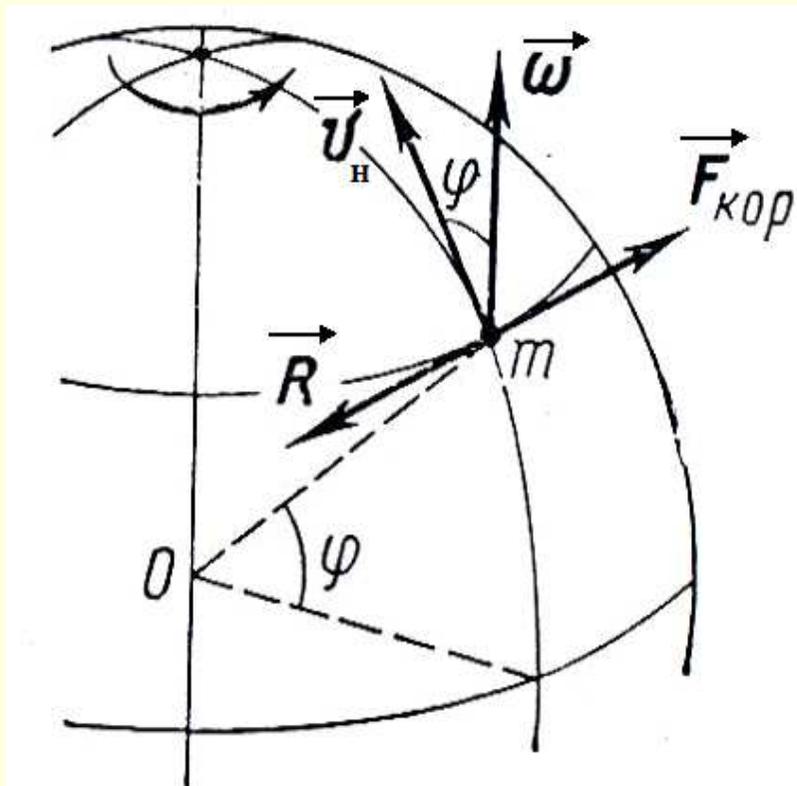
1. Сила Кориолиса относится к числу гироскопических сил-сил, которые не совершают работы, а только изменяют направление движения
2. Величина силы зависит от  $\vec{v}_H$ , но не зависит от положения материальной точки в НСО
3. Сила Кориолиса всегда лежит в плоскости, перпендикулярной оси вращения

# *Силы инерции в природе и технике*

---

1. Центробежная сила инерции проявляется в сепараторах: легкие тела всплывают, а тяжелые в центробежном поле сил инерции тонут.
2. Разрушение правых рельсов при одноколейном движении, правых берегов рек по направлению течения (с юга на север)
3. Отклонение свободно падающего тела к востоку при свободном падении вдоль меридиана в северном полушарии

# Закон Бэра. Отклонение свободно падающего тела к востоку

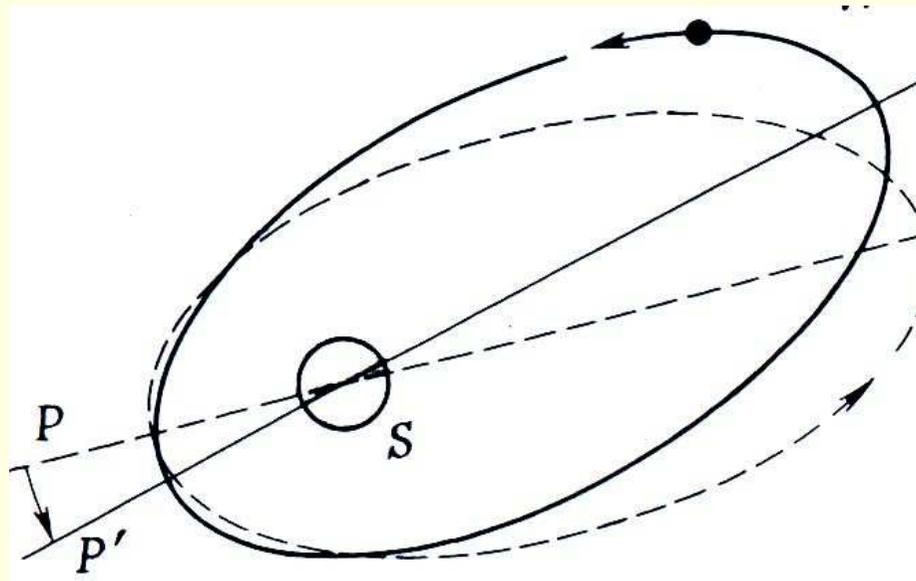


# *Принцип эквивалентности сил инерции и сил тяготения*

- Все механические явления в ИСО ( иногда говорят, в коперниковой), в которой действует однородное гравитационное поле, сообщающее всем свободным телам одинаковое ускорение, происходят совершенно также как и в системе отсчета, свободной от поля тяготения, но движущейся относительно инерциальной поступательно с ускорением. Никакими механическими опытами нельзя установить находится ли тело в гравитационном однородном поле или в соответствующем поле сил инерции.
- Принцип эквивалентности носит локальный характер.
- Принцип эквивалентности лежит в основе общей теории относительности или релятивистской теории тяготения Эйнштейна, который обобщил этот принцип на все физические явления.

# Смещение перигелия Меркурия

---



# Понятие об общей теории относительности

---

- **Предпосылки создания:**
- Невесомость в свободно падающей кабине лифта, то есть в такой системе координат сила тяготения как бы исчезает. Для сравнения в теории электромагнитного поля Максвелла, в которой показана относительность электрических и магнитных полей, электрическое и магнитное поля преобразуются друг в друга, но не исчезают.
- При наличии тяготения все тела, независимо от массы, при одинаковой начальной скорости движутся по одним тем же траекториям. Для сравнения: в электрическом и магнитном полях траектория зависит от отношения заряда к массе, то есть тела с разным отношением заряда к массе движутся по разным траекториям.
- При построении релятивистской теории тяготения естественно учтено, что скорость передачи взаимодействий конечна

# Неэвклидово пространство

---

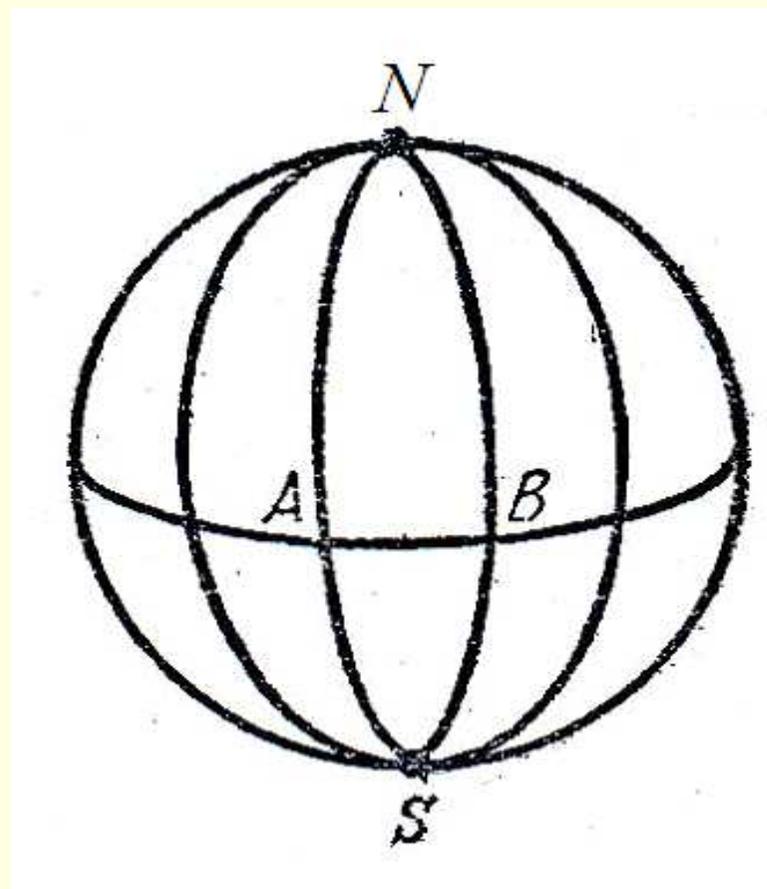
В основе неевклидовой геометрии - идея о возможности построения геометрии в искривленном пространстве.

**Пример искривлённого двухмерного пространства:** поверхность шара.

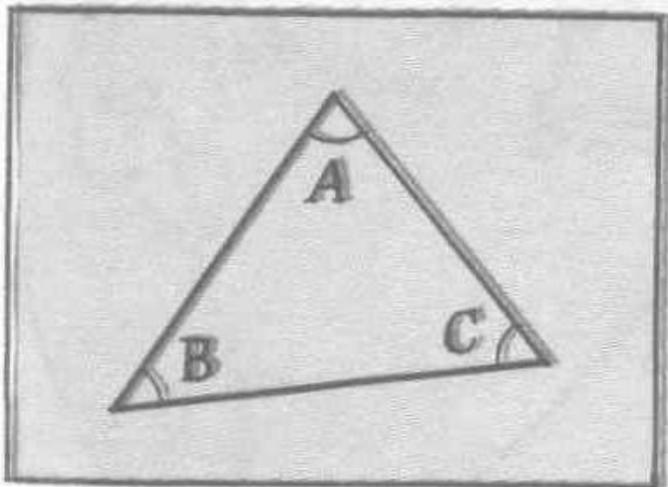
На поверхности шара кратчайшая линия называется геодезической. Она не является прямой как в евклидовой геометрии. На сферической поверхности меридианы являются геодезическими *линиями*.

# Мир поверхности шара

---

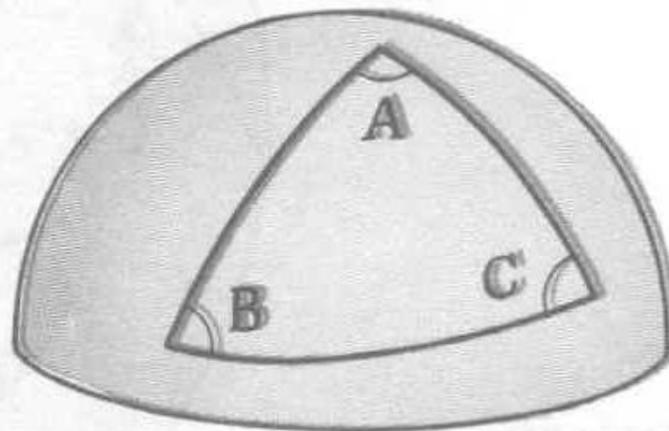


Нулевая кривизна



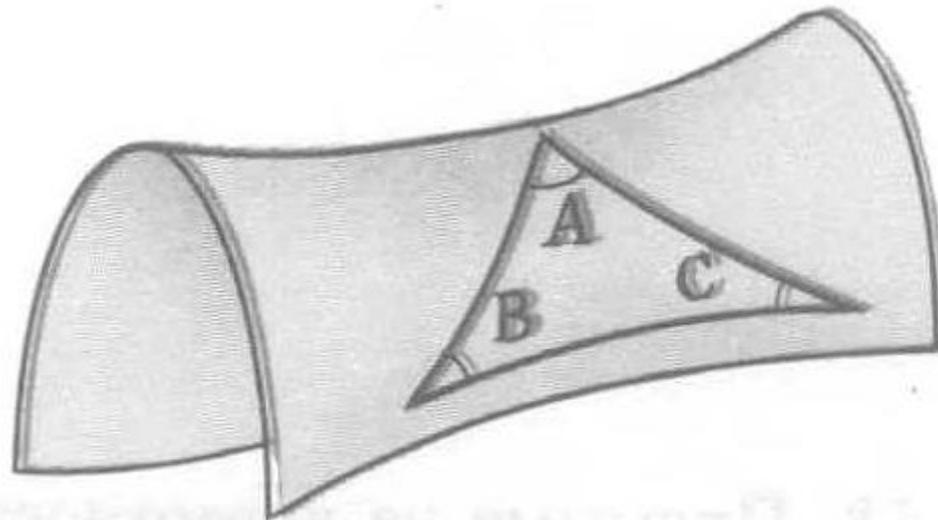
$$A + B + C = 180^\circ$$

Положительная кривизна



$$A + B + C > 180^\circ$$

## Отрицательная кривизна



$$A + B + C < 180^\circ$$

# *Физика искривленного пространства-времени*

---

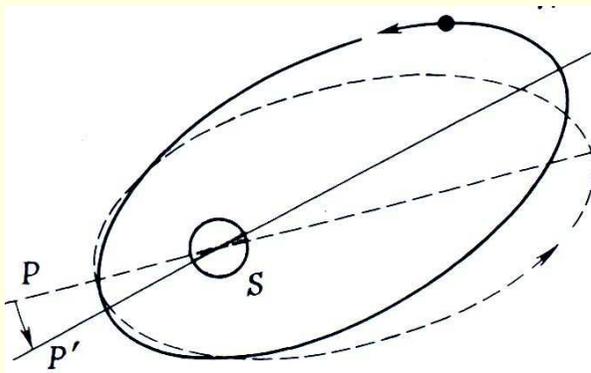
Первое предположение Эйнштейна – пространство – время обладает определенной упругостью, а вложенные в него тела и поля стремятся его искривить

***Всякое гравитационное поле является не чем иным, как изменением геометрических свойств пространства – времени.***

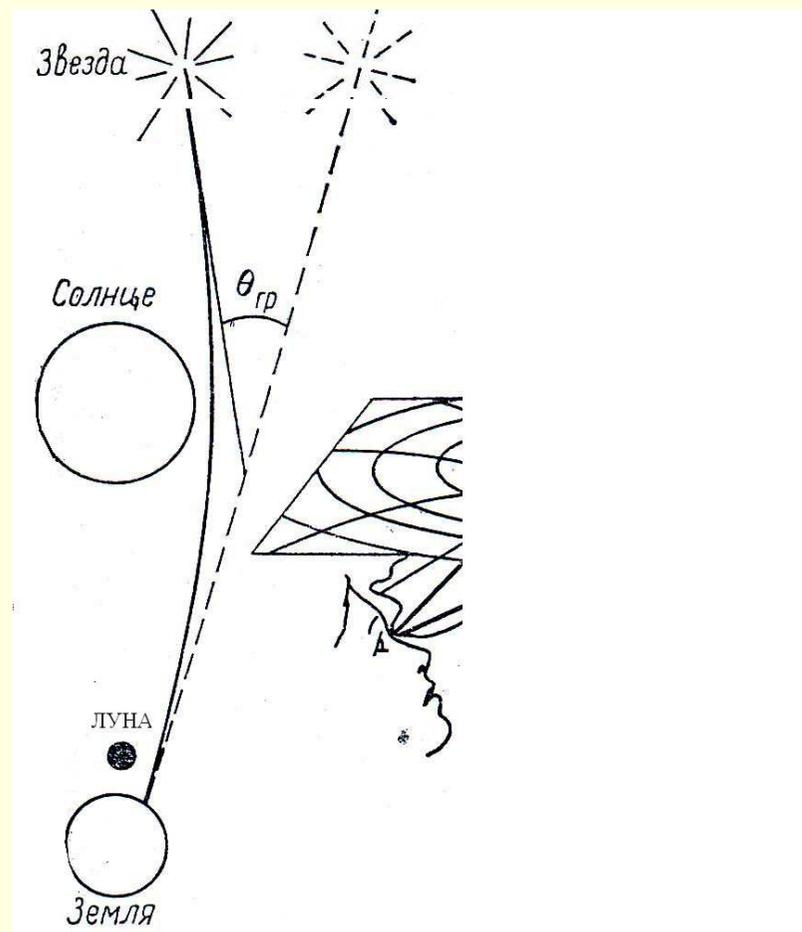
Второе предположение Эйнштейна: в искривленном пространстве – времени вокруг макрообъекта любые частицы движутся по геодезическим этого пространства – времени.

# Эксперименты, подтверждающие ОТО

Смещение перигелия орбиты Меркурия. По законам Кеплера орбита должна быть плоской.



2) Искривление луча света вблизи Солнца.



### 3) Изменение частоты фотона при распространении в поле тяготения.

$$E = \hbar\omega = h\nu \quad m_{\phi} = \frac{\hbar\omega}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$$

- Фотон обладает энергией и гравитационной массой.

$$m_{\text{гр}} = \frac{E}{c^2} \quad A = m_{\text{гр}} gl = \hbar\omega gl / c^2.$$

$$\Delta E = \Delta(\hbar\omega) = \hbar\omega gl / c^2.$$

$$\frac{\Delta\omega}{\omega} = \frac{gl}{c^2} \approx 2 \cdot 10^{-15}.$$

## *К вопросу о единой теории поля*

---

Создание единой теории поля, в которой все взаимодействия – проявления единого электроядерного взаимодействия, является глобальной задачей современной физики. Для решения этой задачи необходимо составить единую систему уравнений, описывающих все четыре фундаментальных взаимодействия.

Первый шаг в этом направлении был сделан Д.Максвеллом, построившим теорию электромагнитного поля, в которой электрическое и магнитное взаимодействия выступали как составляющие единого электромагнитного взаимодействия ( 60 –е годы XIX века).

# О единой теории поля

---

Создана и обоснована теория электрослабого взаимодействия А. Салама, С. Вайнберга и Ш. Глэшоу (60 –е годы XX века), объединяющая слабое и электромагнитное взаимодействие.

Разрабатывается теория великого объединения (слабое, сильное – адронное, электромагнитное). В рамках этой теории допускается нарушение закона барионного заряда.

Разрабатывается также теория суперобъединения (слабое, сильное -адронное, электромагнитное, гравитационное).