



Механика

Лекция 7

«Силы гравитационного взаимодействия пропорциональны гравитационной массе тела, силы инерции же пропорциональны инертной массе тела. Если инертная и гравитационная массы равны, то невозможно отличить, какая сила действует на данное достаточно малое тело — гравитационная или сила инерции»^[1]

А.Эйнштейн

kosareva@physics.msu.ru
aislepkov.phys.msu.ru



Лекция 7

План

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.1 Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.

П.3.2.1. Силы, действующие на материальную точку в гравитационном поле Земли.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

П.3.2.3. Отклонение падающих тел к Востоку.

П.3.3. Принцип эквивалентности.

П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.

П.3.2.1. Силы, действующие на материальную точку в гравитационном поле Земли.

$$\vec{F}_{\Sigma} = \vec{F}_3 + \vec{F}_0 + \vec{F} + \vec{F}_{ин}$$

$$m\vec{a} = \vec{F} + \left(\vec{F}_3 + m\omega^2 \vec{r}_{\perp} \right) - 2m[\vec{\omega}, \vec{v}] + \left(\vec{F}_0 - m\vec{a}_0 \right)$$

П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.

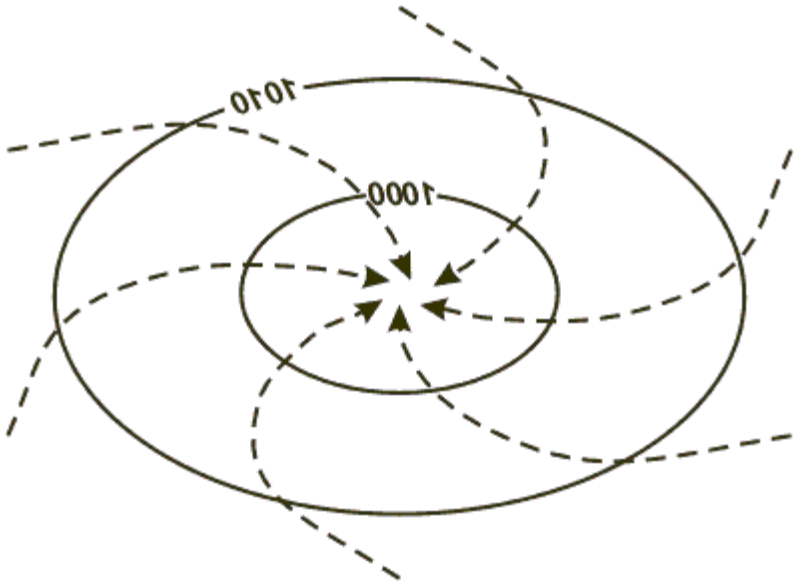
П.3.2.1. Силы, действующие на материальную точку в гравитационном поле Земли.

$$g_{\text{пол}} = 9.832 \text{ м/с}^2 \quad - \text{ на полюсе}$$

$$g_{\text{экв}} = 9.780 \text{ м/с}^2 \quad - \text{ на экваторе}$$

$$\begin{aligned} g_{\text{абс}} &= g_{\text{экв}} + \omega^2 R_3 = \\ &= 9.780 + \frac{4\pi^2}{(86164)^2} 6.378 \cdot 10^8 = 9.814 \text{ м/с}^2 \end{aligned}$$

П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.



Северное полушарие



Южное полушарие
(циклон Катрина 2004 г.)



Лекция 7

План

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.1 Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.

П.3.2.1. Силы, действующие на материальную точку в гравитационном поле Земли.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

П.3.2.3. Отклонение падающих тел к Востоку.

П.3.3. Принцип эквивалентности.

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

Для неинерциальной системы отсчета, связанной с Землей:

$$m\vec{a} = \left(\vec{F}_3 + m\omega^2 \vec{r}_\perp \right) + \\ + 2m[\vec{v} \times \vec{\omega}] + \vec{F} + \left(\vec{F}_0 - m\vec{a}_0 \right)$$

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

Для неинерциальной системы отсчета, связанной с Землей:

$$m\vec{a} = \left(\vec{F}_3 + m\omega^2\vec{r}_\perp \right) +$$
$$+ 2m[\vec{v} \times \vec{\omega}] + \vec{F} + \left(\vec{F}_0 - m\vec{a}_0 \right)$$
$$= 0$$



Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

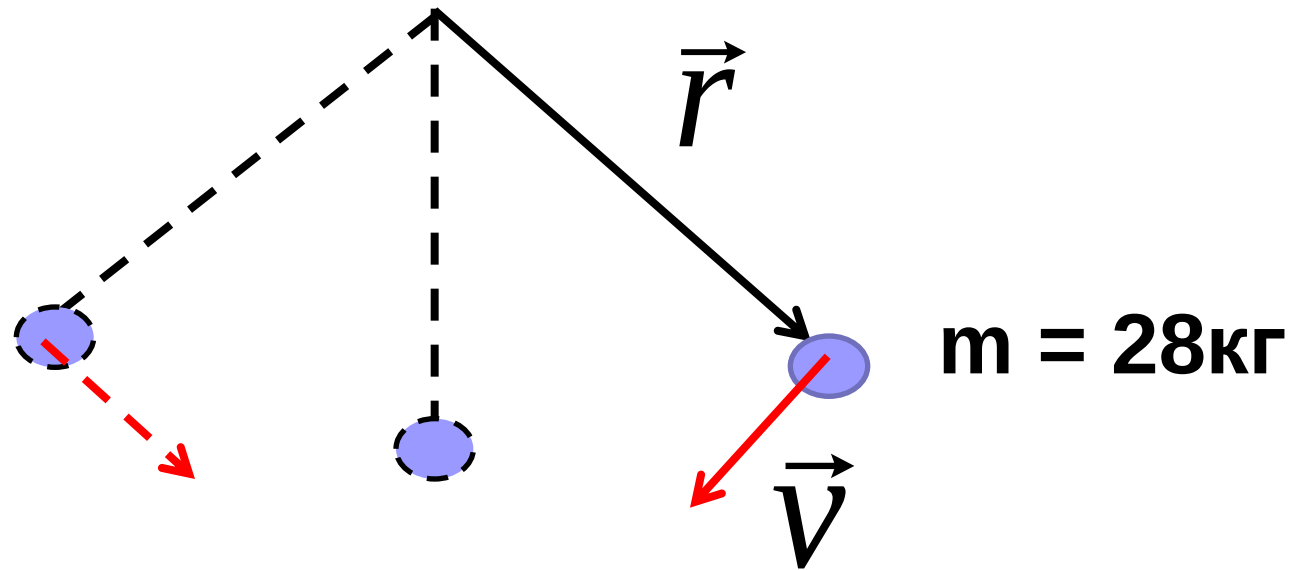
Для неинерциальной системы отсчета, связанной с Землей:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + 2m[\vec{v} \times \vec{\omega}] + \vec{F}$$

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

Маятник длиной 98 м и массой 28 кг:

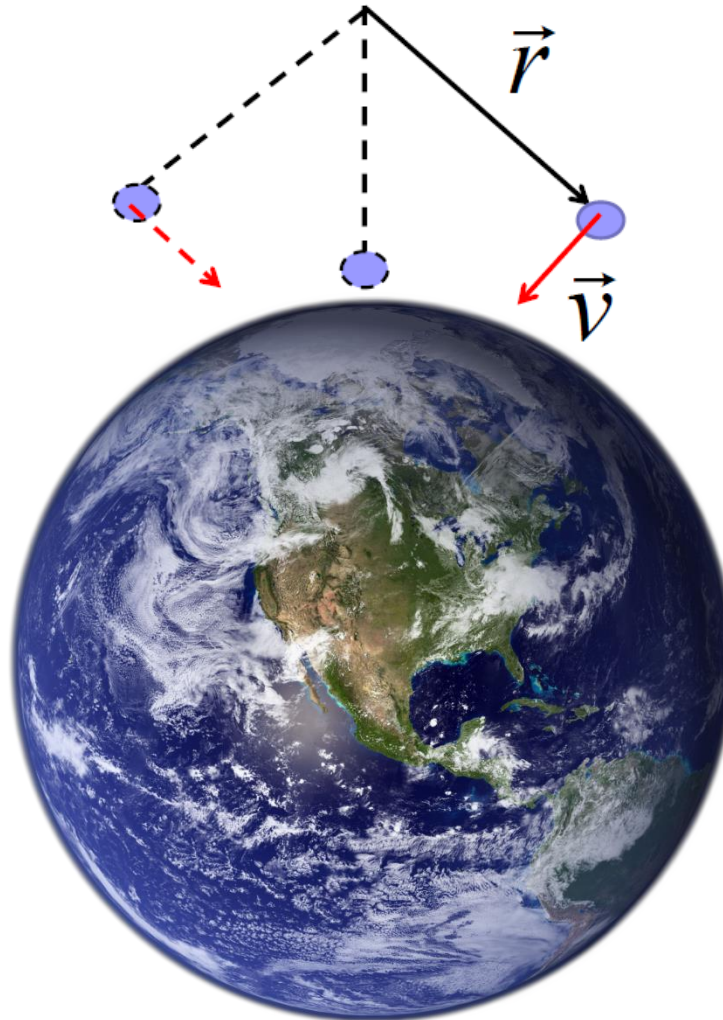


$$m[\vec{r} \times \vec{v}]$$

Плоскость колебаний,
Большой момент количества
движения

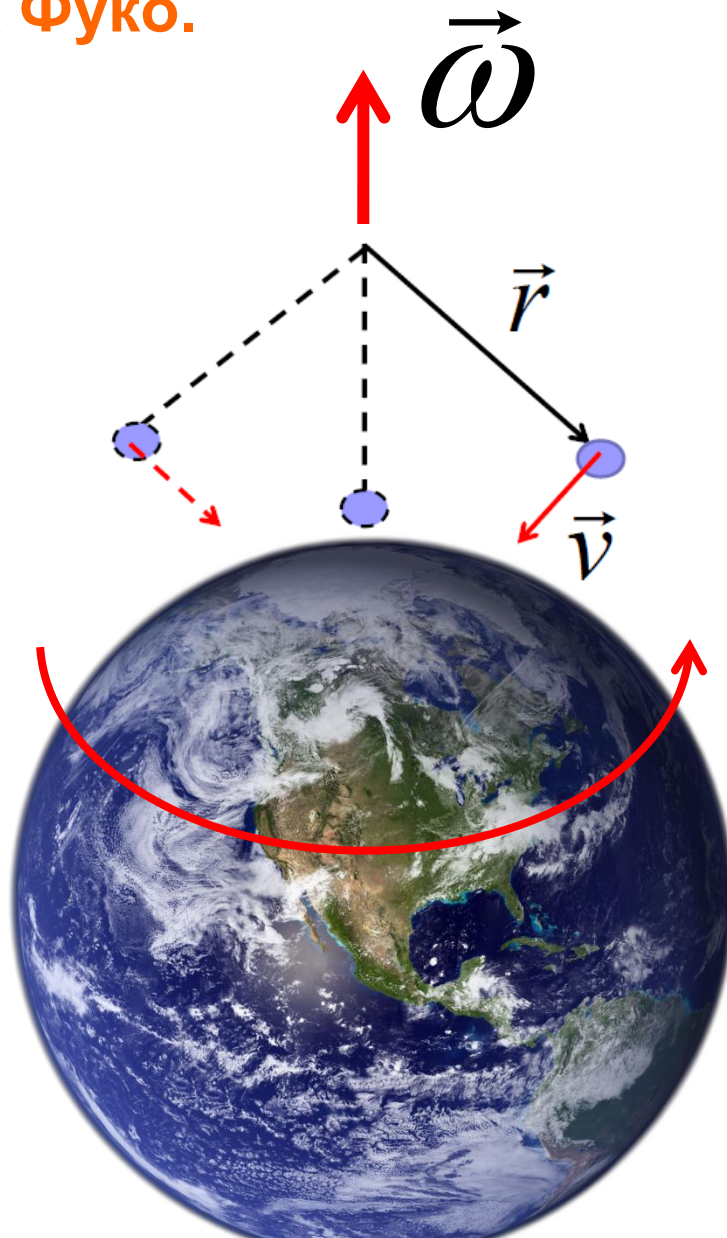
Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.



Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

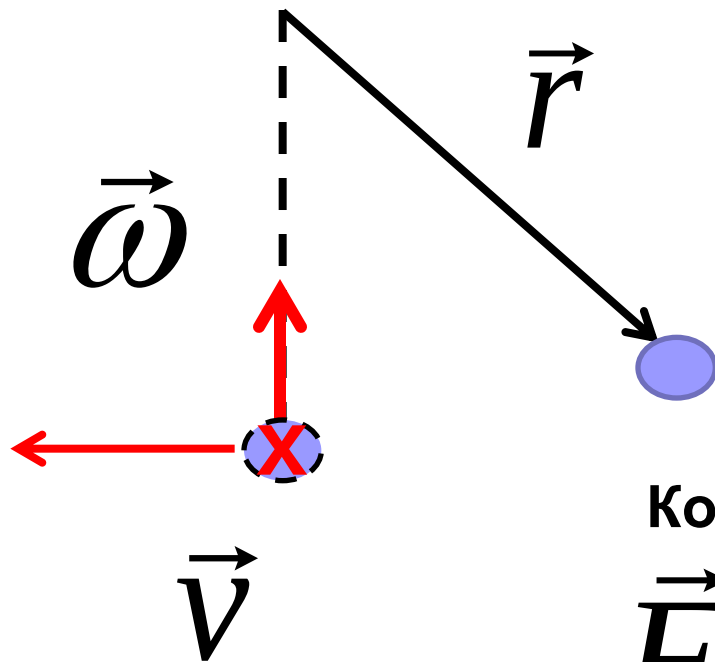


Земля
вращается с
запада на
восток



Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

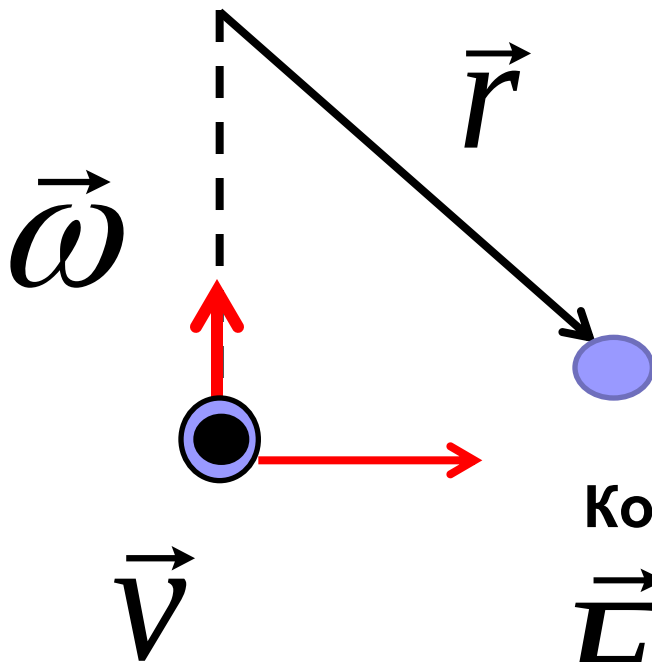


Кориолисова сила направлена от нас

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

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.

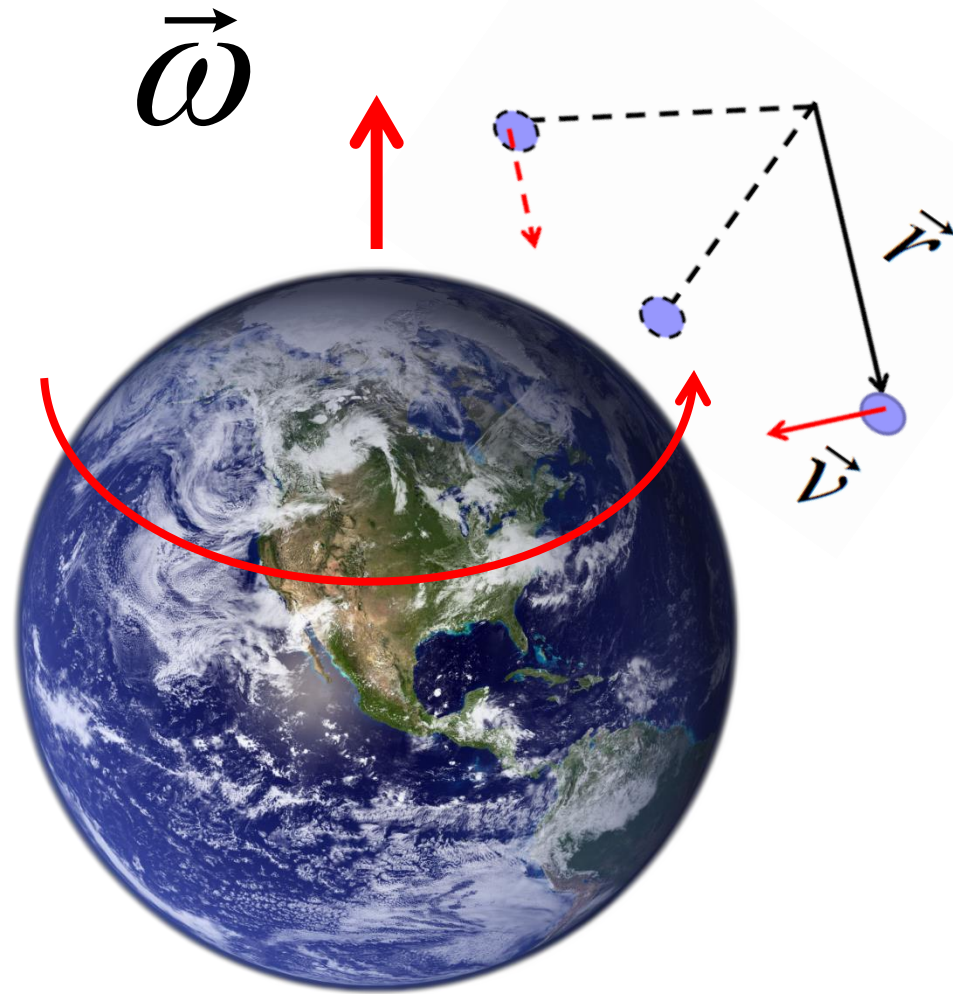


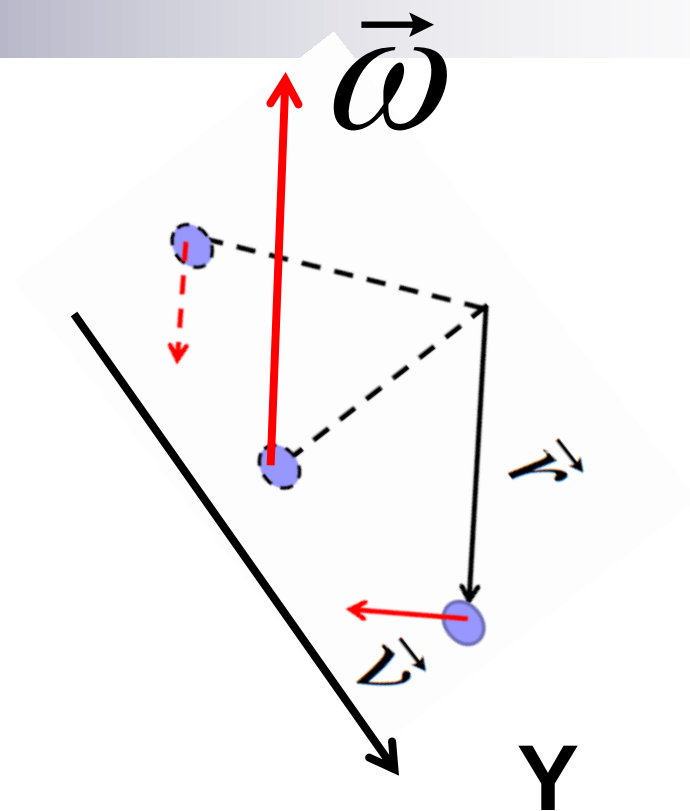
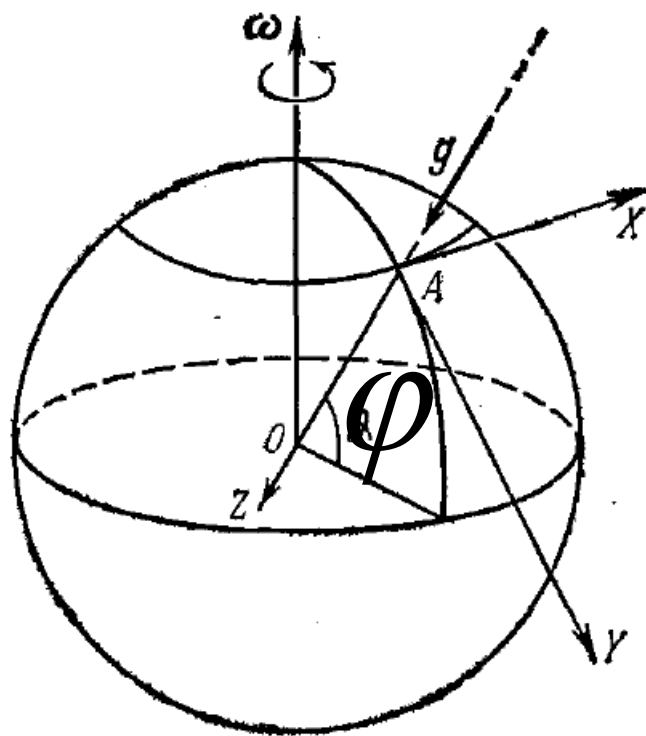
Кориолисова сила направлена на нас

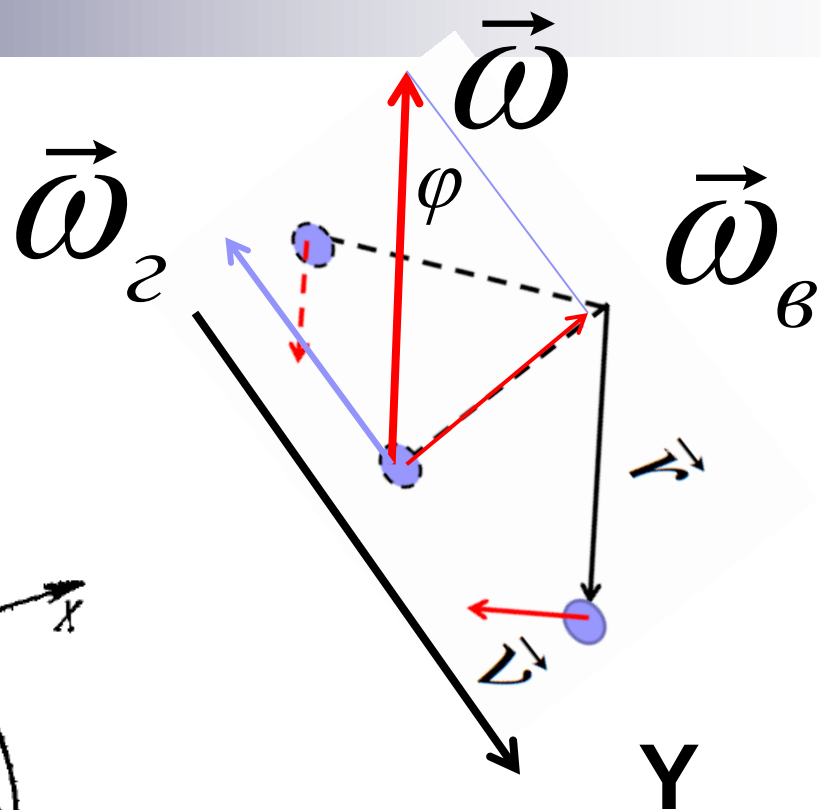
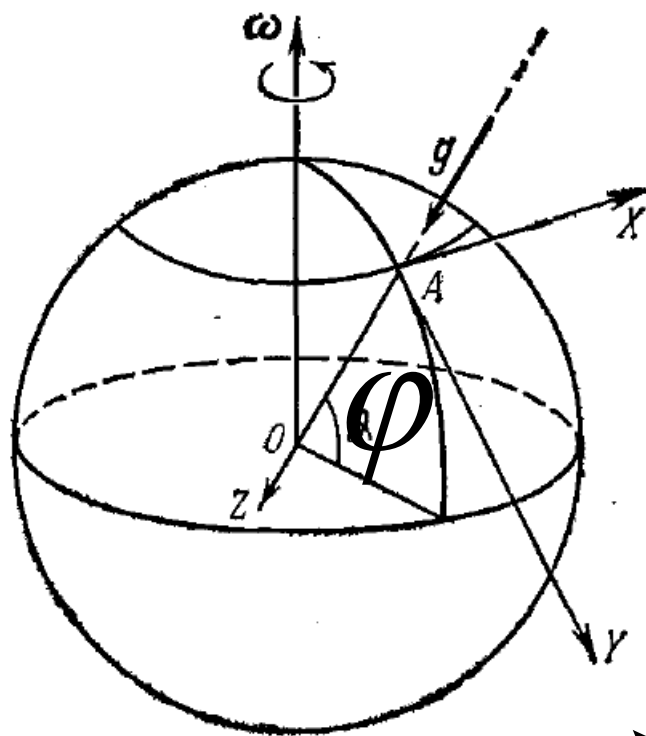
$$\vec{F}_{кор} = 2m[\vec{v} \times \vec{\omega}]$$

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.2. Маятник Фуко.







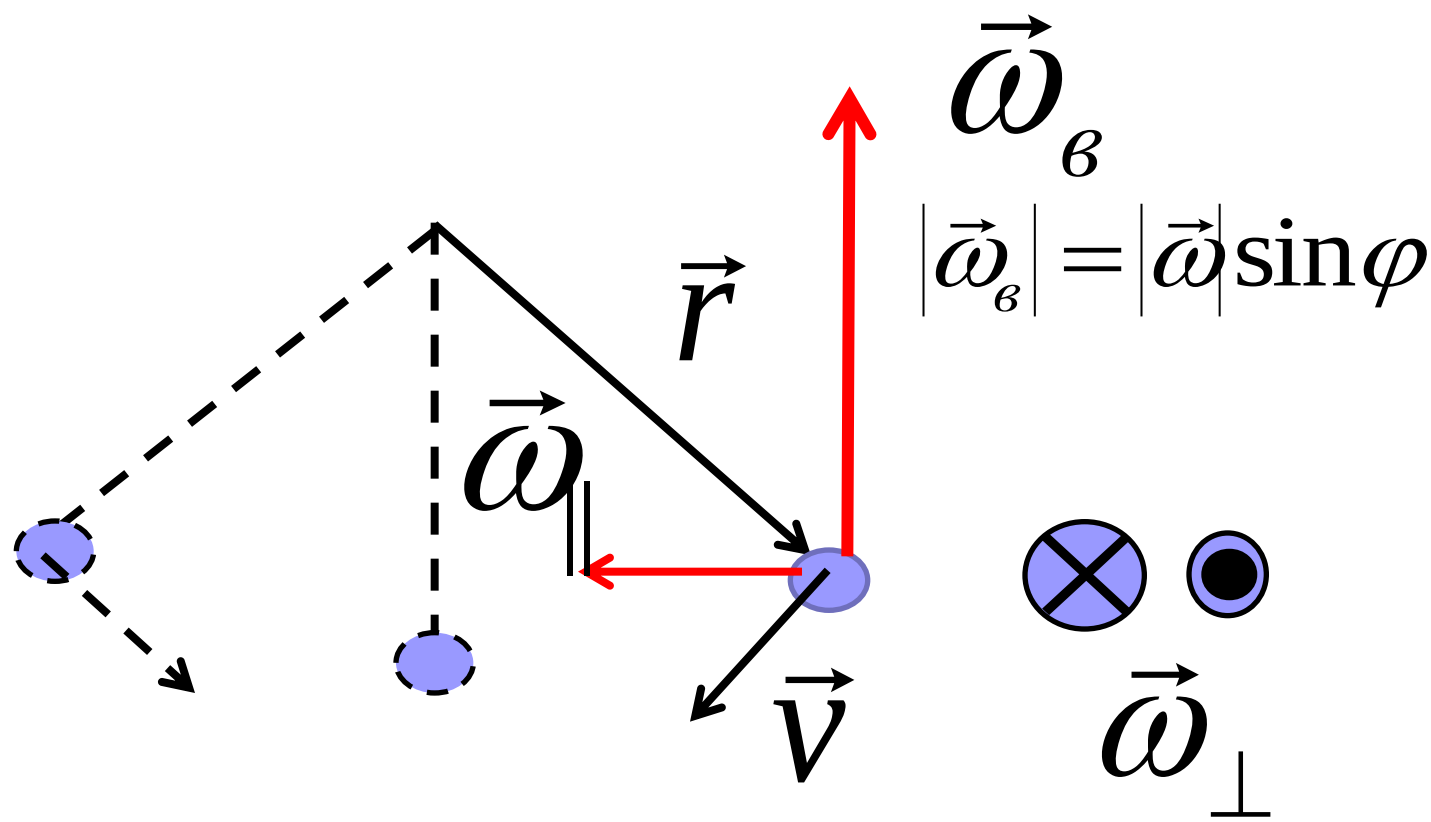
$$\vec{\omega}_z = \vec{\omega}_\parallel + \vec{\omega}_\perp$$

$$|\vec{\omega}_\theta| = |\vec{\omega}| \sin \varphi$$

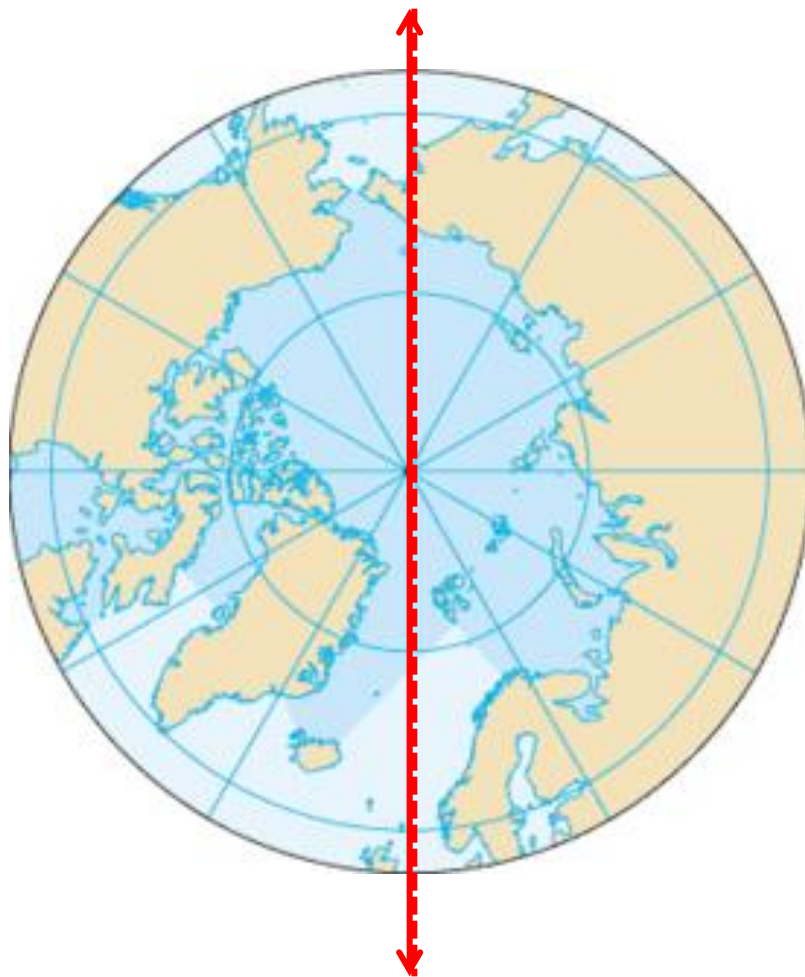


Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

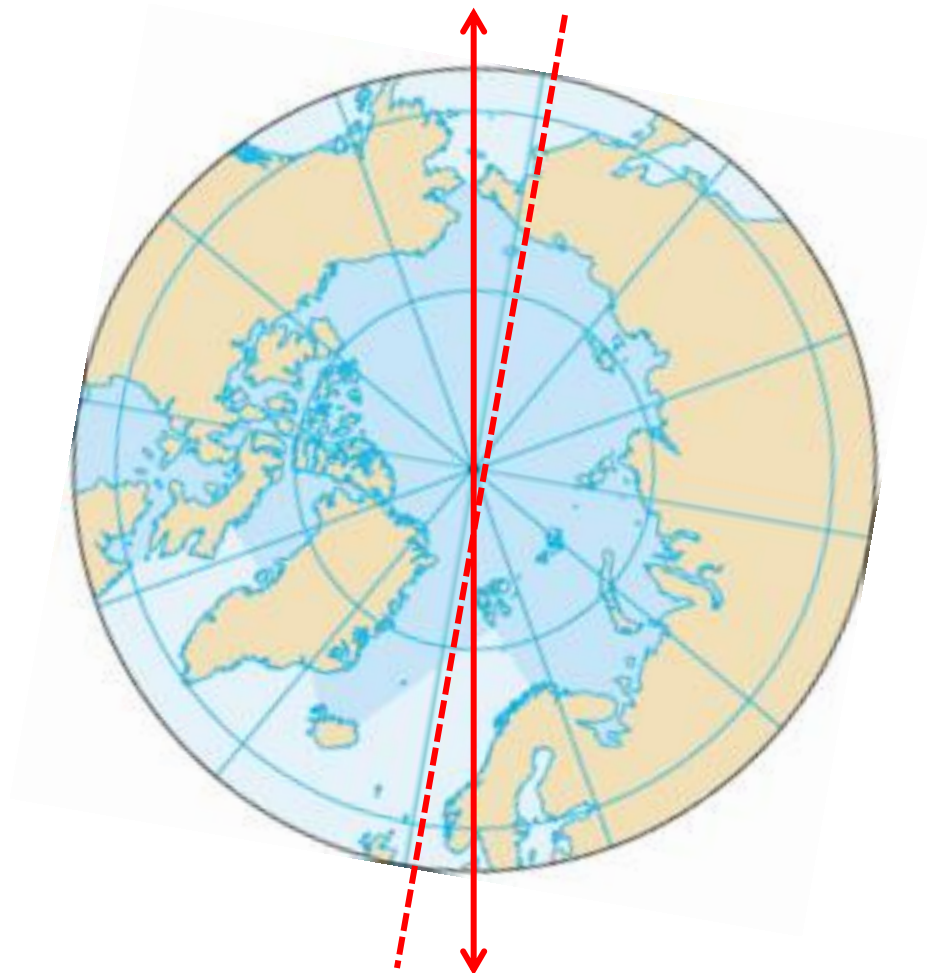
П.3.2.2. Маятник Фуко.



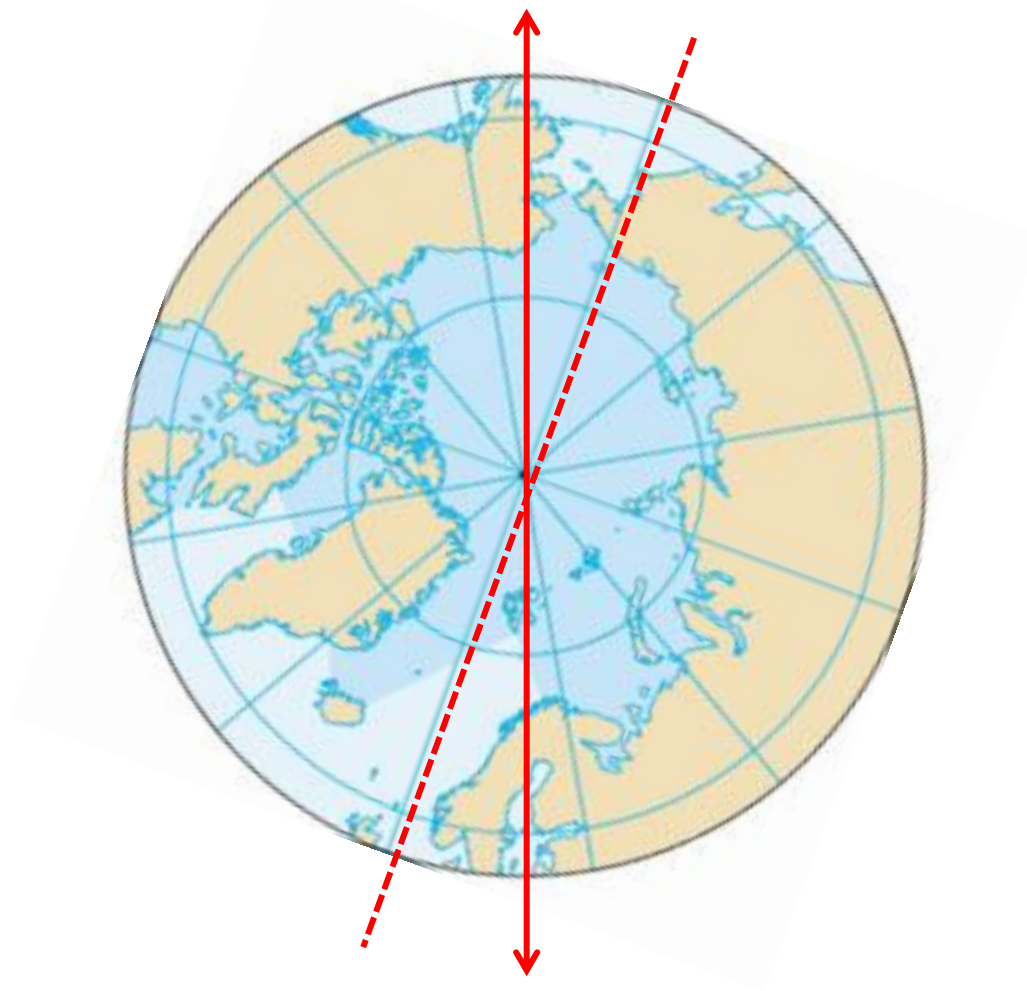
**Проекция плоскости колебаний маятника на северный полюс,
Вид сверху с неподвижных звезд**



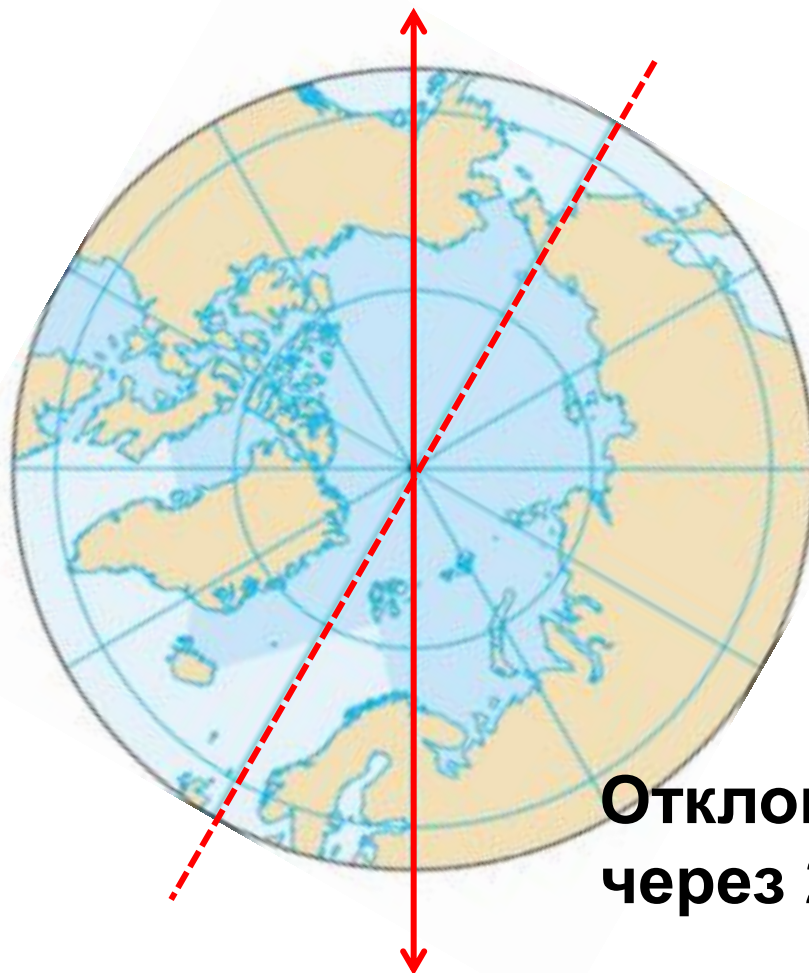
Проекция плоскости колебаний маятника на северный полюс сохраняет положение относительно неподвижных звезд, а Земля поворачивается вокруг своей оси



**Проекция плоскости колебаний маятника на северный полюс
сохраняет положение относительно неподвижных звезд,
а Земля поворачивается вокруг своей оси**



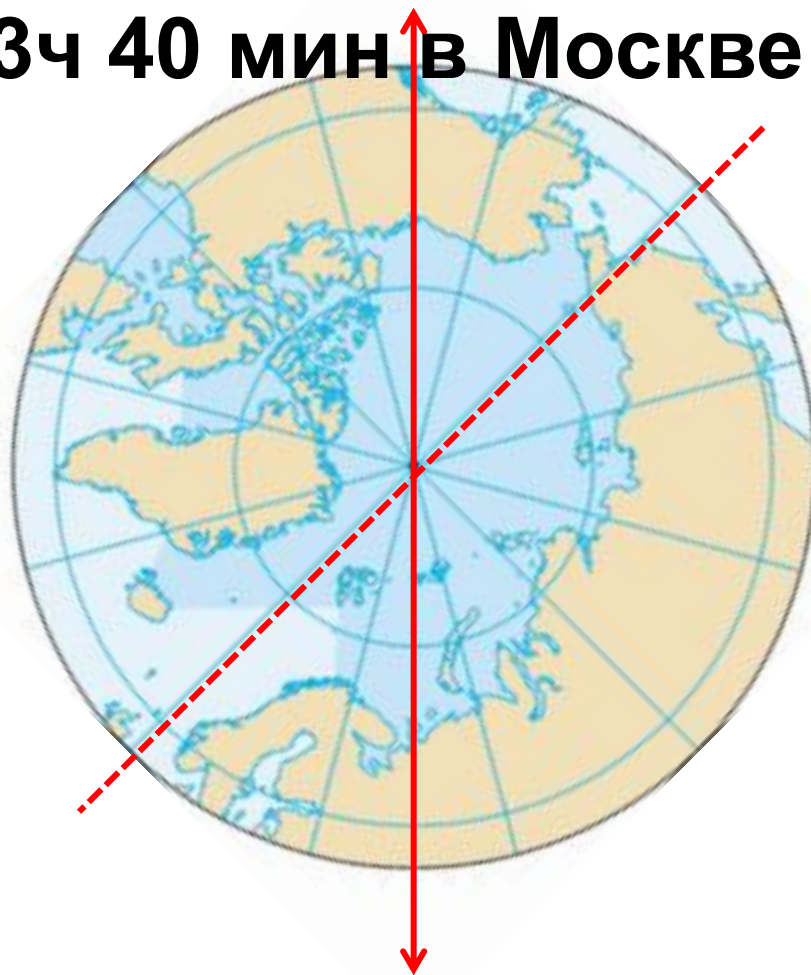
**Проекция плоскости колебаний маятника на северный полюс
сохраняет положение относительно неподвижных звезд,
а Земля поворачивается вокруг своей оси**



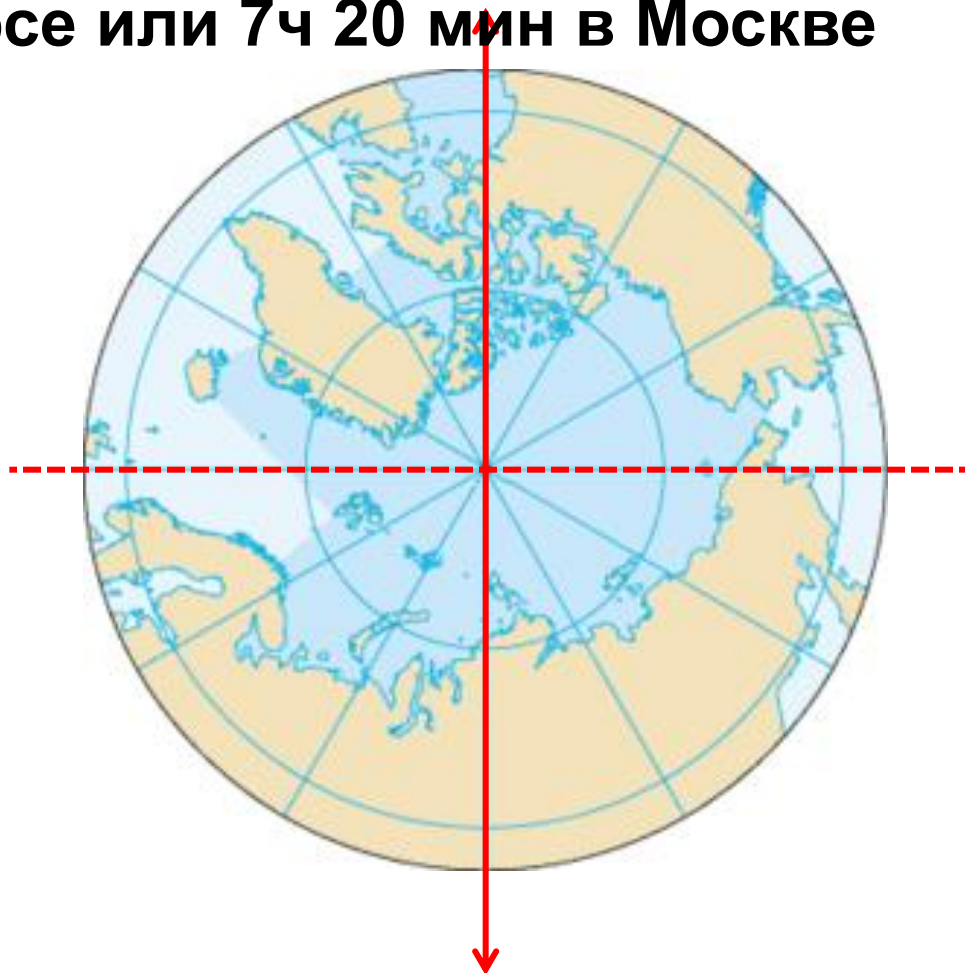
**Отклонение
через 2 часа на полюсе**

**Или чере 2ч 24 мин
В Москве**

**Отклонение
через 3 часа на полюсе
или через 3ч 40 мин в Москве**



**Отклонение
через 6 часов
на полюсе или 7ч 20 мин в Москве**



Лекция 7

План

Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.1 Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.

П.3.2.1. Силы, действующие на материальную точку в гравитационном поле Земли.

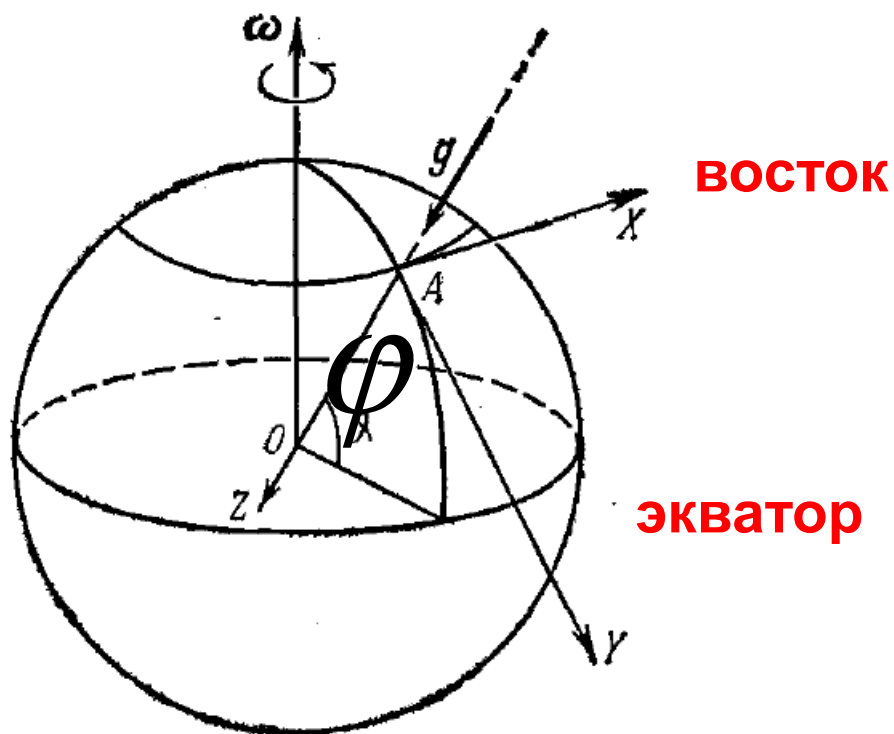
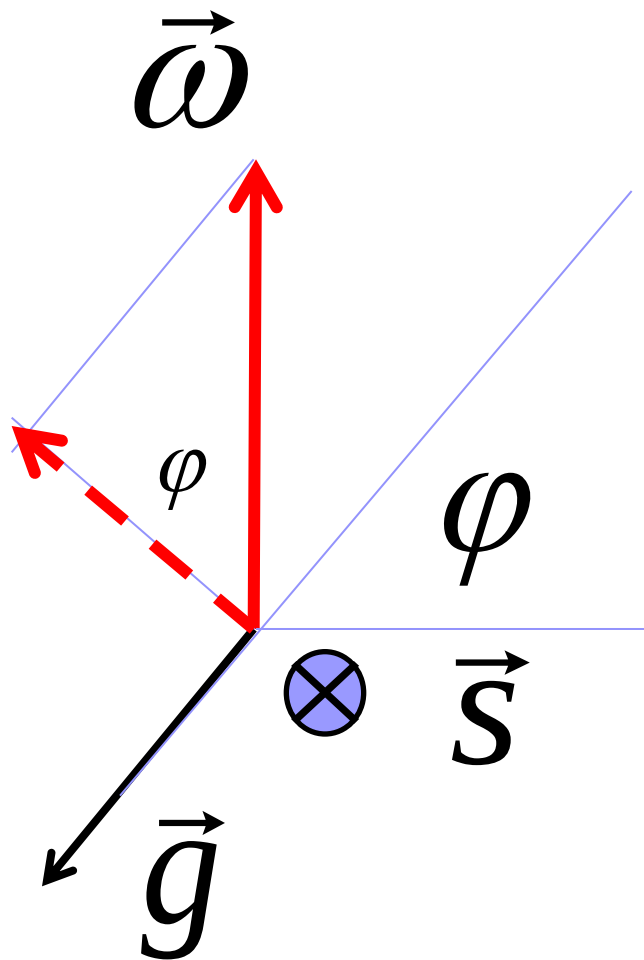
П.3.2.2. Маятник Фуко.

П.3.2.3. Отклонение падающих тел к Востоку.

П.3.3. Принцип эквивалентности.

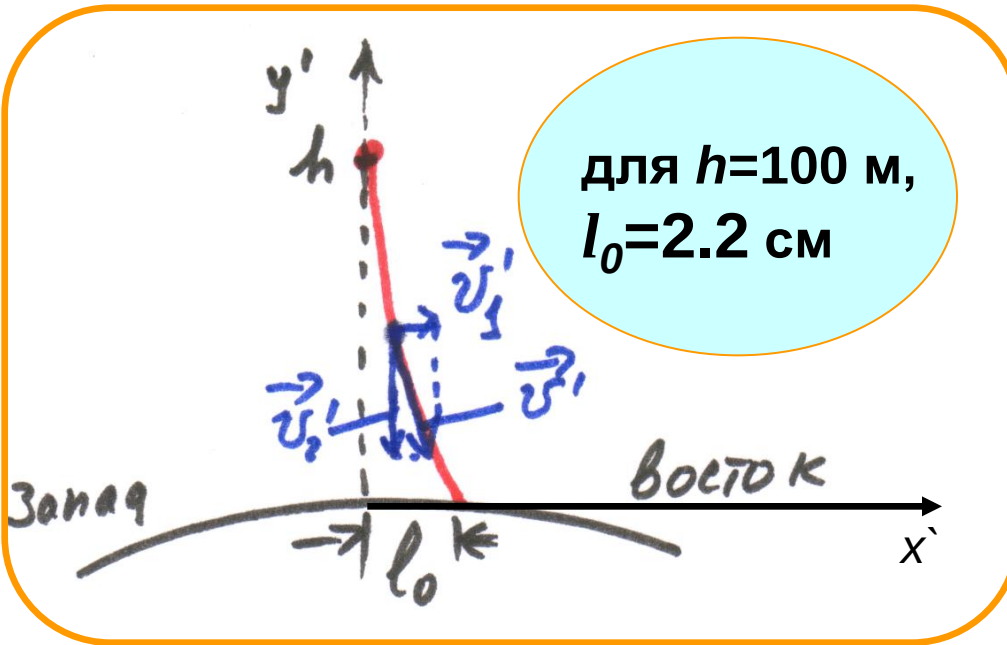
Глава 3 Неинерциальные системы отсчета.

П.3.2.3. Отклонение падающих тел к Востоку.



П.3.2. Проявление сил инерции на Земле.

П.3.2.3. Отклонение падающих тел к Востоку.



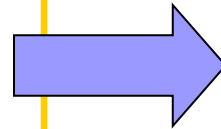
$$ma_x = (-2m[\vec{\omega} \times \vec{v}_2'])_x$$

$$v_y' = -gt$$

$$v_x' = \int_0^t a_x dt = g\omega t^2$$

$$l_0 = \int_0^{\tau} v_x' dt = \int_0^{\tau} g\omega t^2 dt = \frac{1}{3}g\omega\tau^3$$

$$\tau = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$



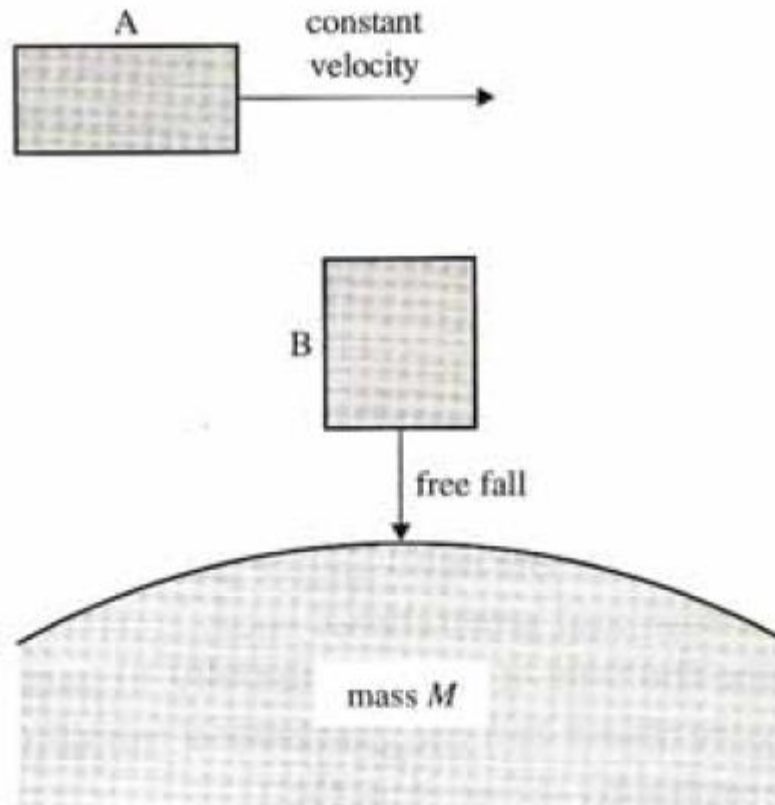
$$l_0 = \frac{2}{3}\omega h \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

П.3.3.Принцип эквивалентности.

"Все физические явления в равномерно ускоренном лифте будут происходить в точности так же, как и в неподвижном лифте, висящем в однородном поле тяжести".

Принцип эквивалентности:

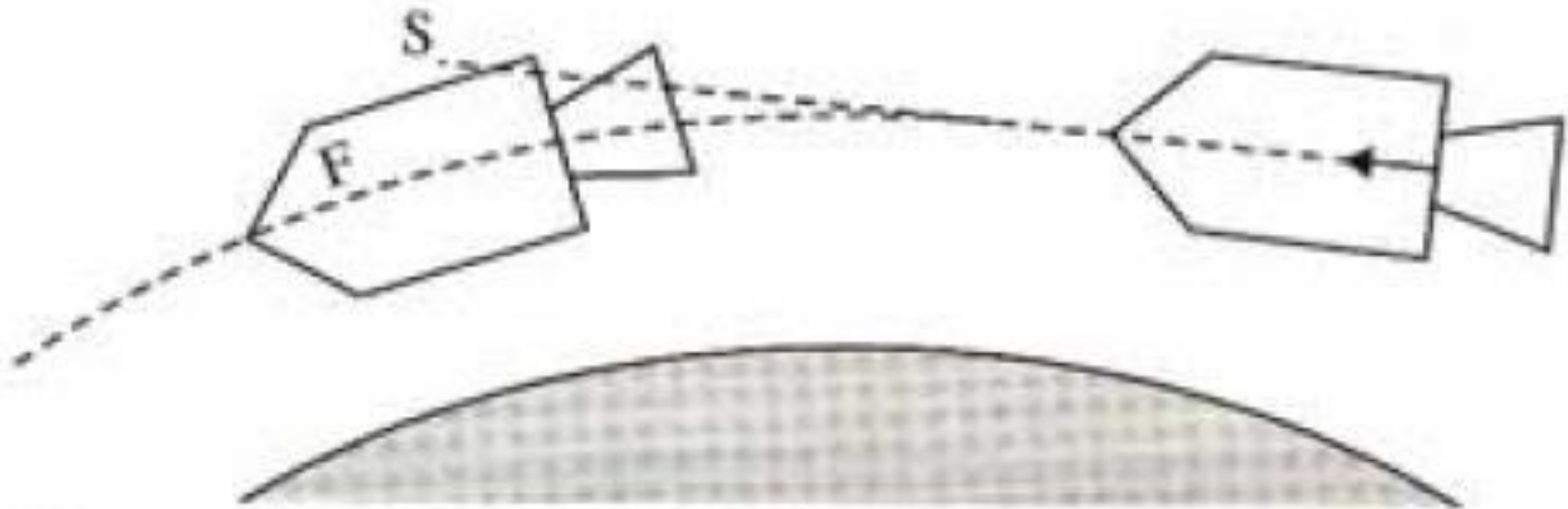
Система отсчета движущаяся с постоянной скоростью вдали от всех масс эквивалентна системе отсчета свободно падающей в однородном гравитационном поле



Принцип эквивалентности:

**Скорость света в гравитационном поле та же,
что и в инерциальных системах отсчета**

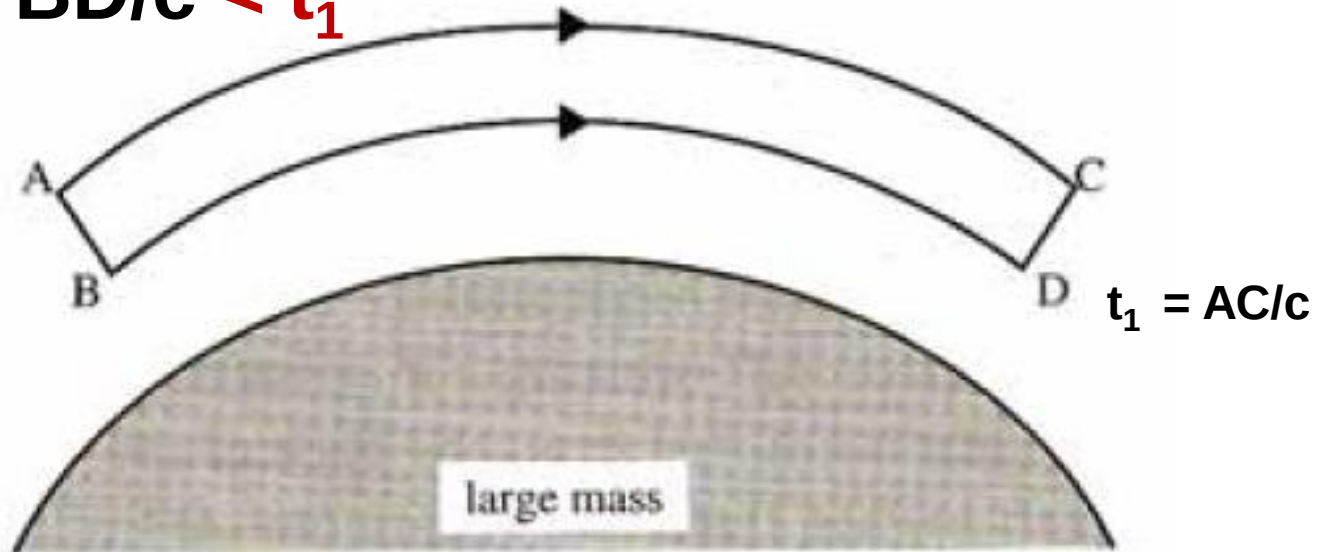
**Свет будет загибаться по траектории F
в сторону массы**



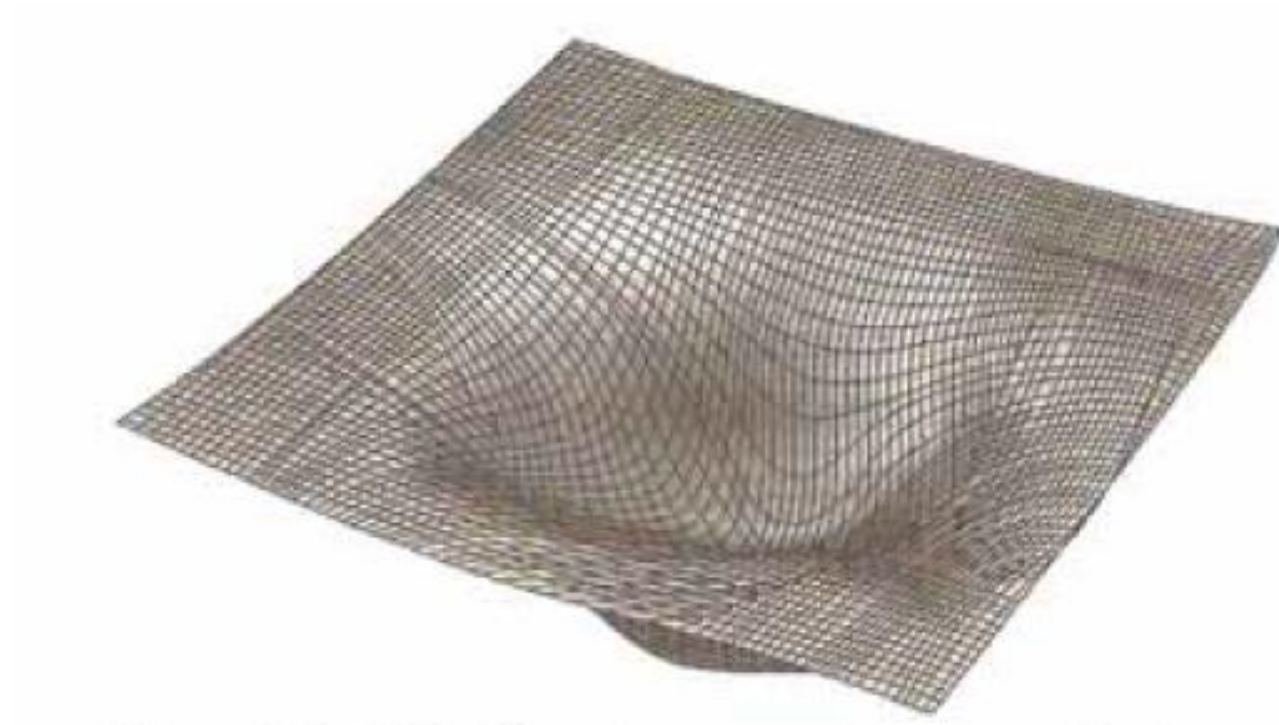
Скорость света одинакова, а расстояние вдоль траектории
разное. Время замедляется вблизи массивного тела

$$t_1 = AC/c ,$$

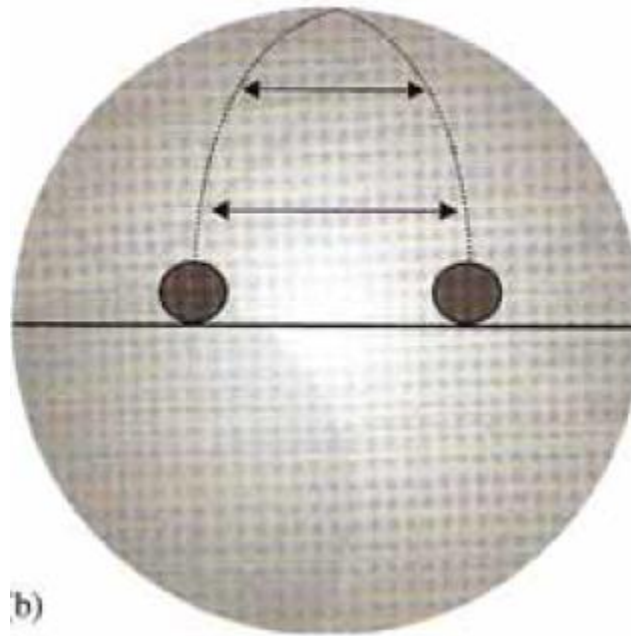
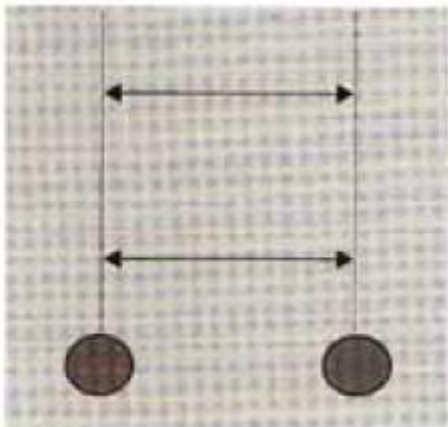
$$t_2 = BD/c < t_1$$



**Пространство искривляется вблизи массивного тела.
Вдали от массивного тела пространство остается плоским.**



В случае плоского пространства шарики движутся с постоянной скоростью параллельно друг другу.
Вблизи массивного тела в искривленном пространстве шарики сближаются.



b)