Неинерциальные системы отсчета. Сила инерции. Центробежная сила. Земля как неинерциальная система отсчета. Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета.

Неинерциальными называются системы отсчета (Н.И.С.О.), которые движутся с ускорением относительно всех инерциальных систем отсчета.

В Н.И.С.О. не выполняются законы Ньютона, которые описывают динамику в инерциальных системах.

Н.И.С.О. движется относительно инерциальных систем с некоторым ускорением, ускорение тела в Н.И.С.О. ***a***' будет отлично от ***a*** – ускорения в инерциальной системе

Пусть разность этих ускорений $\vec{a}_0 = \vec{a} - \vec{a}'$

Поступательное движение.

$$\vec{a}_0 = \vec{a}'$$

по II закону Ньютона $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m}$

F – результирующая всех сил, приложенных к телу

Вращательное движение

$$\vec{a}_0 \neq \vec{a}'$$

Системы отсчета, связанные с Землей

Система отсчета, связанная с Землей, не является инерциальной. Значит, в ней **законы Ньютона не выполняются.** Рассмотрим простейшие неинерциальные системы: равноускоренную и равномерно вращающуюся**. Инерциальная система это частный случай неинерциальной при ускорении или угловой скорости равной нулю**.

При описании движения в неинерциальных системах отсчета можно пользоваться уравнениями Ньютона, если наряду с силами, обусловленными воздействием тел друг на друга, учитывать так называемые **силы инерции**.

Силы инерции

Пусть в инерциальной системе отсчета тело движется с ускорением $\boldsymbol{a}_1$. В неинерциальной системе, которая движется **поступательно** относительно инерциальной с каким-то ускорением, ускорение тела будет другое $\boldsymbol{a}_2$. Пусть $\boldsymbol{a}_1 - \boldsymbol{a}_2 = \boldsymbol{a}$ (если не поступательно то будет добавочное слагаемое).

По 2-му закону Ньютона $\boldsymbol{a}_1 = \boldsymbol{F}/m$, где $\boldsymbol{F}$ - результирующая всех сил, действующих на тело. Тогда $\boldsymbol{a}_2 = \boldsymbol{a}_1 - \boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m - \boldsymbol{a}$. При $\boldsymbol{F} = 0$ ускорение тела в неинерциальной системе отсчета равно $\boldsymbol{a}_2 = -\boldsymbol{a}$, то есть такое, как если бы на него действовала сила, равная $-m\boldsymbol{a}$. Эта сила и называется **силой инерции**: $\boldsymbol{F}_{ин} = -m\boldsymbol{a}$.

Формально ускорение $\boldsymbol{a}$ есть? значит и сила есть $\boldsymbol{F}_{ин}$!
она и создает силовое поле действующее в любой точке неинерциальной системы

Уравнение 2-го закона Ньютона в неинерциальной системе

Как говорилось выше:

$$\boldsymbol{a}_2 = \boldsymbol{a}_1 - \boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m - \boldsymbol{a}$$

Умножая обе части выражения на m получаем, что уравнение второго закона Ньютона в неинерциальной системе имеет вид:

$$m\boldsymbol{a}_2 = \boldsymbol{F} - m\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F} + \boldsymbol{F}_{ин}$$

Псевдосилы

Сила инерции определяются не действием на материальную точку других тел, **а свойствами неинерциальной системы** отсчета, а точнее ее ускорением. А раньше мы говорили об инвариантности сил относительно преобразований Галилея!

• Для них нельзя указать тело, со стороны которого они действуют, поэтому **третий закон Ньютона** для сил инерции **не имеет смысла.**

•С другой стороны они действуют аналогично рассмотренному ранее и вызывают ускорение

Центростремительная сила

При движении по окружности нормальное ускорение точки $\mathbf{a_n} \perp \mathbf{v}$ и направлено к центру окружности (потому и называется центростремительным) и по модулю равно $\mathbf{a_n = v^2/R}$, или через угловую скорость $\mathbf{a_n = \omega^2 R}$. Таким образом, при движении **МТ** на нее действует **центростремительная сила** равная по модулю:

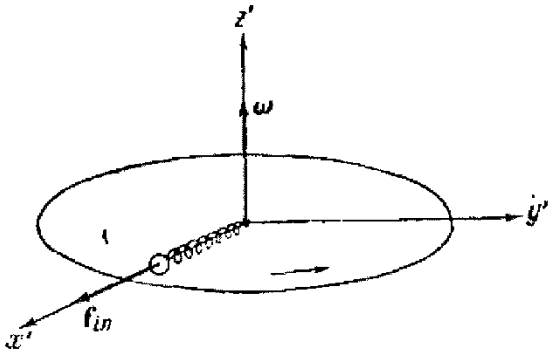
$$\mathbf{F}_{ц} = m\,\omega^2\mathbf{R}$$

где **R** - радиус окружности.

Центробежная сила инерции

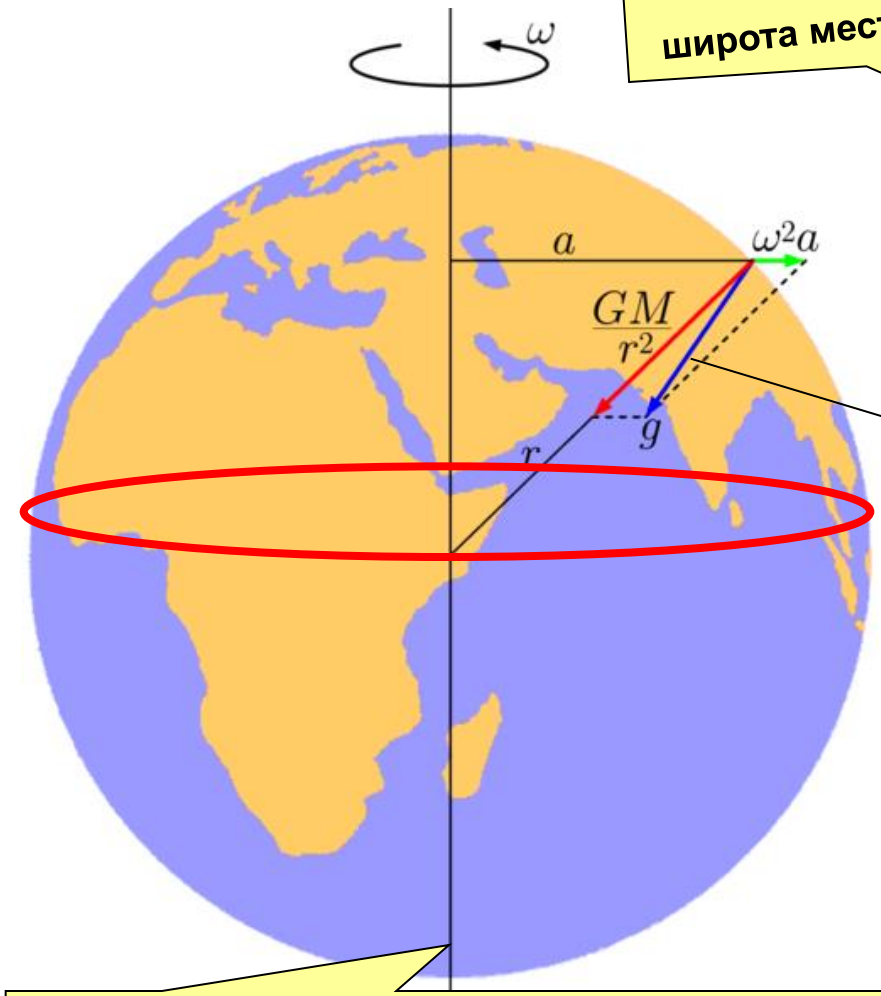
Если перейти **во вращающуюся со скоростью ω систему отсчета**, то в ней **МТ** покоится. Это можно формально объяснить тем, что кроме силы $\mathbf{F}_ц$ на точку действует равная по величине и противоположная по направлению сила, которая называется **центробежной:**

$$\mathbf{F}_{цб} = m\,\omega^2\mathbf{R}$$

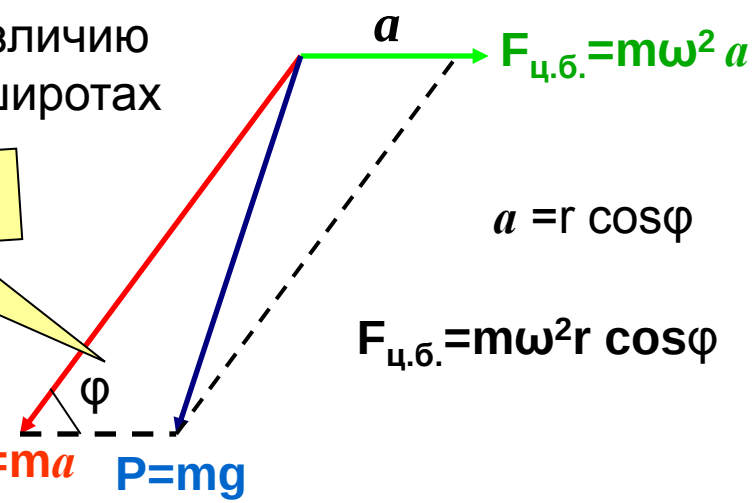


Центробежная сила инерции $\mathbf{F}_{цб}$ возникает во вращающейся системе отсчета **<u>независимо от того, покоится тело в этой системе или движется</u>** относительно нее с какой-то скоростью.

Наличие центробежной силы приводит к различию ускорения свободного падения на разных широтах



широта местности



$a = r\cos\varphi$

$F_{ц.б.} = m\omega^2 r\cos\varphi$

g обусловлено действием двух сил

$$\vec{P} = \vec{F}_g + \vec{F}_{ц.б.}$$

Результирующая сила направлена не к центру Земли.

На экваторе: $\varphi=0$ $a = R_з$

$g_э = GM_з/R_з^2 - m\omega^2 R_з < g_п$,

На полюсе $\varphi=\pi/2$. $F_{ц.б.} = 0$, т.к. $a=0$

$g_п = GM_з/R_з^2$.

$m\omega^2 R_з = 0{,}3\%$ веса $\omega = 2\pi/T$.

Центробежная *сила инерции*, связанная с вращением Земли вокруг своей оси влияет на величину и направление ускорения свободного падения.

Эта сила направлена в сторону, противоположную силе притяжения, и поэтому *уменьшает* ускорение свободного падения.

Сила инерции *равна нулю на полюсах*.

***На экваторе сила инерции максимальна* и приводит к уменьшению ускорения свободного падения на величину**

$$a_з = \left(\frac{2\pi}{T_з}\right)^2 R_з = 0.034\ м/с^2$$

В результате влияния всех факторов ускорение свободного падения меняется с *широтой* от 9.78 м/с^2 на экваторе до 9.83 м/с^2 на полюсах. На средних широтах ~ 45° ускорение близко к значению g = 9.81 м/с^2.

Вес тела на экваторе примерно на 0.3% меньше веса того же тела на полюсе.

Сила Кориолиса

Если тело массой **m** движется с какой-то скоростью **v'** относительно вращающейся системы отсчета (вращающийся диск или Земля), то появляется дополнительная сила, называемая **кориолисовой силой инерции** или просто **силой Кориолиса** $\mathbf{F_К}$.

$$\mathbf{F}_К = 2m[\mathbf{v}' \, \boldsymbol{\omega}]$$

В таком виде получается чисто формально при замене в нормальном ускорении члена **ωR** на **v'+ ωR.** Т.е. наблюдатель сидя на диске помимо реальной силы F заметит, что на тело действуют две силы инерции $F_{цб}$ и $F_К$ (могут быть направл. в разные стороны)

- В **северном полушари**и у всех рек, текущих по меридиану (причем независимо от того, на север или на юг) подмывается **правый берег** по отношению к направлению течения, а в южном полушарии – левый. Тоже с **правым рельсом** (стачивание)
- **Силы инерции как и силы гравитации пропорциональны массе . Неинерциальная система эквивалентна гравитационному полю. Этот вывод в физике - принцип эквивалентности.**

Маятник Фуко.

Силы Кориолиса проявляются и при качаниях маятника.

Маятник Фуко – маятник, предназначенный для наблюдения за вращением Земли.

На широте φ плоскость качаний маятника поворачивается за сутки на угол

$$2\pi\sin\varphi$$

Плоскость качания маятника поворачивается относительно Земли по часовой стрелке, причем за сутки она совершает один оборот.

Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета (Н.И.С.О.)

в отсутствии внешних сил

Закон	И.С.О.	Н.И.С.О.
1. сохранения энергии	$E_2 - E_1 = 0$	$E_2 - E_1 = A_и$
2. сохранения импульса	$\frac{d\vec{K}}{dt} = 0$	$\frac{d\vec{K}}{dt} = \vec{F}_{ин}$
3. сохранения момента импульса	$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0$	$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}_{ин}$