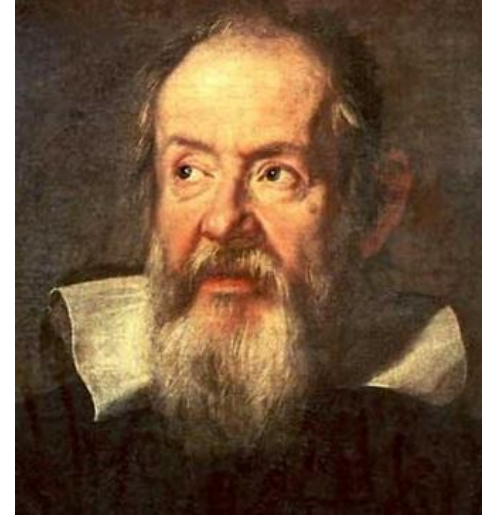


# Лекция № 3. (20.02.15)

## ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ И ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

- 6) Относительность движения. Принцип относительности в классической механике.
- 7) Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей в классической механике.
- 8) Неинерциальные системы отсчета. Переносная сила инерции. Уравнение движения материальной точки в движущейся поступательно неинерциальной системе отсчета.
- 9) Центробежная сила, сила Кориолиса. Уравнение движения в неинерциальной системе отсчета с учетом ее вращения.



## 6. Относительность движения. Принцип относительности в классической механике.

Если существует хотя бы одна инерциальная система (ИНСО), то любая система, движущаяся поступательно с постоянной скоростью относительно инерциальной, тоже является инерциальной.

Фундаментальный принцип физического равноправия всех ИНСО – *принцип относительности Галилея*: основные законы механики одинаково формулируются для всех инерциальных систем отсчета.



Никакими механическими опытами, проводящимися в какой-либо ИНСО, нельзя определить покоится данная система или движется равномерно и прямолинейно относительно другой ИНСО.

# 7. Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей в классической механике.

Положение произвольной точки  $A$  в неподвижной и подвижной системах отсчета определяется радиус-векторами  $\vec{r}$  и  $\vec{r}'$ , причем:

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}' = \vec{u}t + \vec{r}'. \quad (3.1)$$

⇓ в проекциях на оси координат

$$x = x' + u_x t, \quad y = y' + u_y t, \quad z = z' + u_z t. \quad (3.2)$$

С учетом, что ход времени не зависит от относительного движения систем отсчета:  $t = t'$

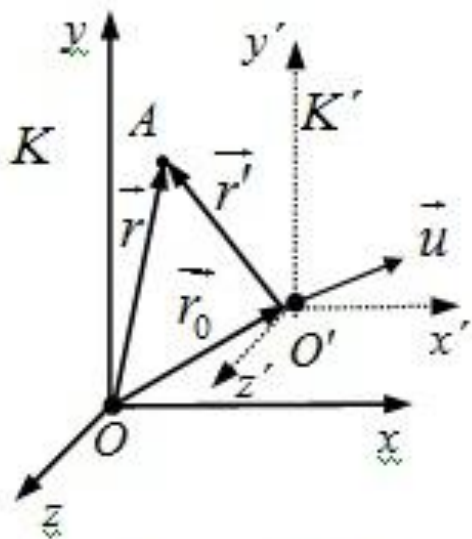
⇓

$$x = x' + u_x t, \quad y = y' + u_y t, \quad z = z' + u_z t, \quad t = t' \quad (3.3)$$

*преобразования Галилея.*

*Закон сложения скоростей в классической механике:*

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}. \quad (3.4)$$



**Рис. 3.1.**

## 7. Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей в классической механике.

Ускорение какого-либо тела во всех системах отсчета, движущихся относительно друг друга равномерно и прямолинейно, одинаково:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(\vec{v}' + \vec{u})}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} = \vec{a}'. \quad (3.5)$$

⇓

Если одна из этих систем инерциальна (при отсутствии сил  $\vec{a} = 0$ ), то и остальные системы будут инерциальными ( $\vec{a}'$  также равно нулю).

2-ой закон Ньютона – математическое выражение принципа относительности Галилея.

## 8. Неинерциальные системы отсчета. Переносная сила инерции. Уравнение движения материальной точки в движущейся поступательно неинерциальной СО.

Движение точки (или тела) по отношению к подвижной системе отсчета, которая перемещается определенным образом относительно неподвижной системы отсчета, будем называть *относительным движением*. Движение всех точек подвижной системы относительно неподвижной называется *переносным движением*. Движение точки (или тела) относительно неподвижной системы отсчета будем называть *абсолютным (или сложным) движением*.

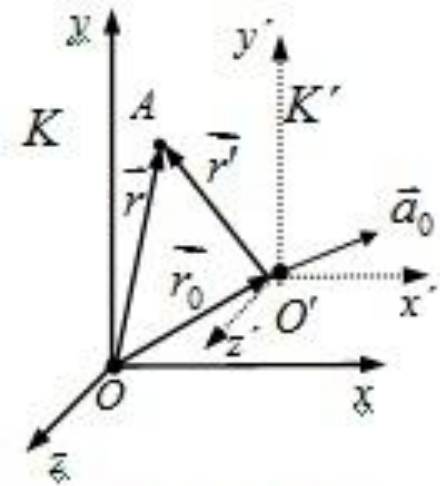


Рис. 3.2.

$$\text{Из рис. 3.2} \Rightarrow \vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{r}'. \Rightarrow \vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}'. \quad (3.6)$$

$\vec{v} = \vec{v}_{\text{абс}}$  – скорость точки относительно неподвижной инерциальной системы отсчета – *абсолютная скорость*.

$\vec{v}' = \vec{v}_{\text{отн}}$  – скорость точки относительно подвижной системы отсчета называется *относительной скоростью*.

$\vec{v}_0 = \vec{v}_{\text{пер}}$  – скорость той точки подвижной системы, через которую в данный момент времени проходит рассматриваемая точка A, – *переносной скоростью*.



$$\vec{v}_{\text{абс}} = \vec{v}_{\text{пер}} + \vec{v}_{\text{отн}}. \quad (3.7)$$

## 8. Неинерциальные системы отсчета. Переносная сила инерции. Уравнение движения материальной точки в движущейся поступательно неинерциальной СО.

$$\vec{a}_{\text{абс}} = \vec{a}_{\text{пер}} + \vec{a}_{\text{отн}}, \quad (3.8)$$

где  $\vec{a}_{\text{абс}}$  – абсолютное ускорение точки  $A$  – ускорение точки относительно неподвижной инерциальной системы отсчета;  $\vec{a}_{\text{пер}}$  – переносное ускорение точки  $A$ , равное ускорению той точки подвижной системы, через которую в данный момент времени проходит рассматриваемая точка  $A$ ;  $\vec{a}_{\text{отн}}$  – относительное ускорение точки  $A$  – ускорение точки относительно подвижной системы отсчета.

*Относительное движение* – движение по отношению к неинерциальной системе отсчета, для которой законы механики Ньютона несправедливы. Чтобы уравнения относительного движения материальной точки сохранили тот же вид, что и в ИнСО, необходимо к силе  $\vec{F}$  взаимодействия точки с другими телами присоединить так называемую *переносную силу инерции*  $\vec{F}_{\text{пер}}$ .

## 8. Неинерциальные системы отсчета. Переносная сила инерции. Уравнение движения материальной точки в движущейся поступательно неинерциальной СО.

Из формулы (3.8)  $\Rightarrow m\vec{a}_{\text{отн}} = m\vec{a}_{\text{абс}} - m\vec{a}_{\text{пер}}$ . (3.9)

$$m\vec{a}_{\text{абс}} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i^{\text{вз}}$$

*Переносная сила инерции  $\vec{F}_{\text{пер}}$ :*

$$\vec{F}_{\text{пер}} = -m\vec{a}_{\text{пер}}. \quad (3.10)$$

Таким образом,

$$m\vec{a}_{\text{отн}} = \sum_i \vec{F}_i^{\text{вз}} + \vec{F}_{\text{пер}}. \quad (3.11)$$

*Уравнение (3.11) является уравнением движения материальной точки в движущейся поступательно неинерциальной системе отсчета.*

## 9. Центробежная сила, сила Кориолиса. Уравнение движения в неинерциальной системе отсчета с учетом ее вращения.

$$v_{\text{абс}} = \omega R + v_{\text{отн}}. \quad (3.12)$$

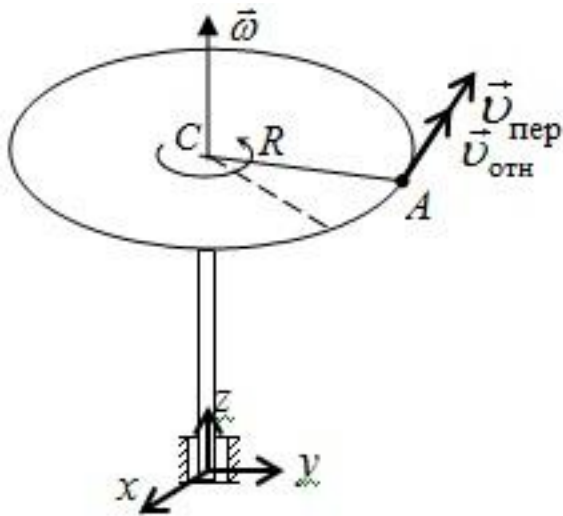


Рис. 3.3.

Т. к. частица равномерно движется по окружности радиуса  $R$  со скоростью  $v_{\text{абс}}$ , то ускорение  $a_{\text{абс}}$  частицы по отношению к инерциальной системе отсчета определяется

$$a_{\text{абс}} = \frac{v_{\text{абс}}^2}{R} = \frac{v_{\text{отн}}^2}{R} + 2\omega v_{\text{отн}} + \omega^2 R. \quad (3.13)$$

$$a_{\text{отн}} = \frac{v_{\text{отн}}^2}{R} = a_{\text{абс}} - 2\omega v_{\text{отн}} - \omega^2 R. \quad (3.14)$$



$$F_{\text{отн}} = \underline{ma_{\text{отн}}}. \quad (3.15)$$



$$F_{\text{отн}} = F - 2m\omega v_{\text{отн}} - m\omega^2 R, \quad (3.16)$$

где  $F_{\text{цб}} = -m\omega^2 R$  – центробежная сила;

$F_{\text{к}} = -2m\omega v_{\text{отн}}$  – сила Кориолиса.



## 9.1. Сила Кориолиса.

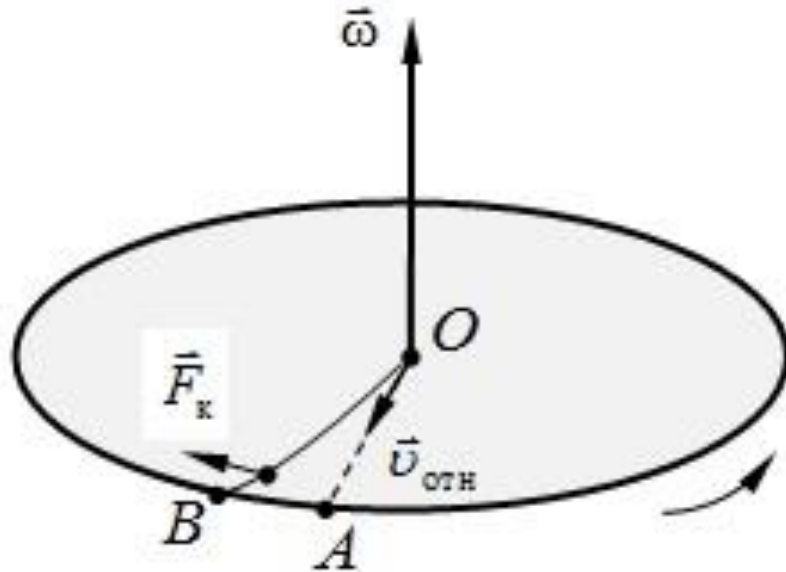


Рис. 3.4.

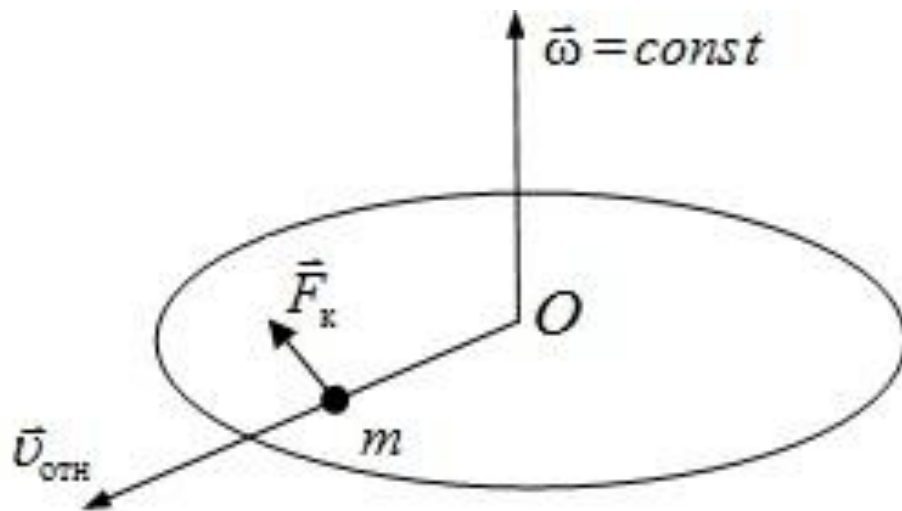
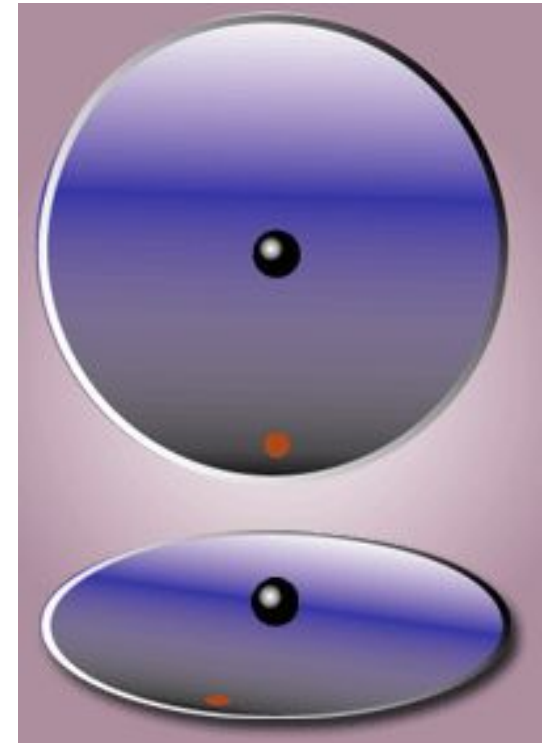


Рис. 3.5.

## 9.1. Сила Кориолиса.

В векторной форме сила Кориолиса равна

$$\vec{F}_K = 2m\vec{v}_{\text{отн}} \times \vec{\omega}, \quad (3.17)$$

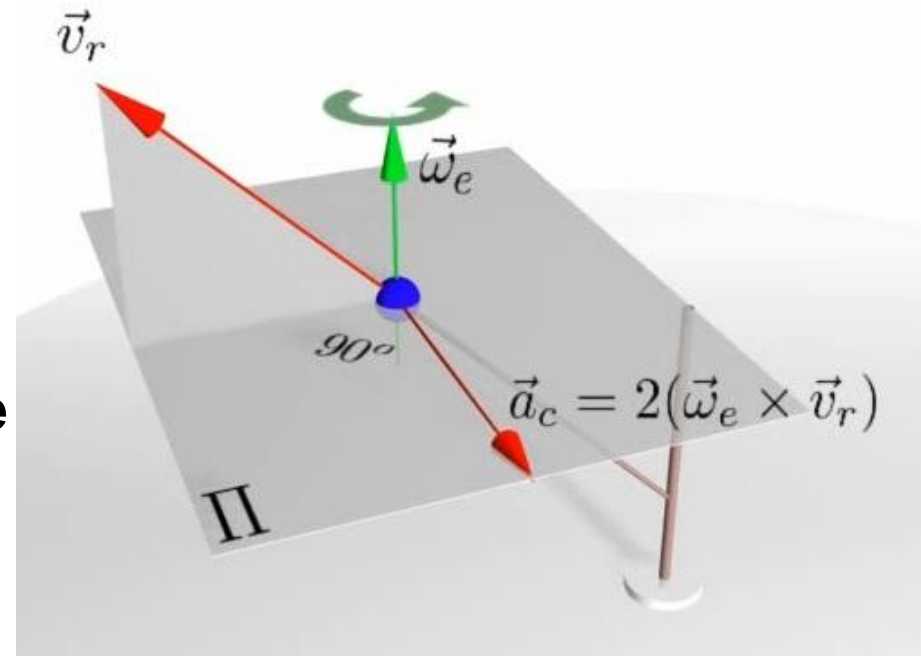
где  $\vec{\omega}$  – угловая скорость вращающейся системы отсчета.

Соответственно, сила Кориолиса перпендикулярна оси вращения и скорости частицы, а по величине равна

$$F_K = 2mv_{\text{отн}} \omega \sin \alpha, \quad (3.18)$$

где  $\alpha$  – угол между  $\vec{v}_{\text{отн}}$  и  $\vec{\omega}$ .

**? Д/З для П/З: Объясните рис. (взят из YouTube)**

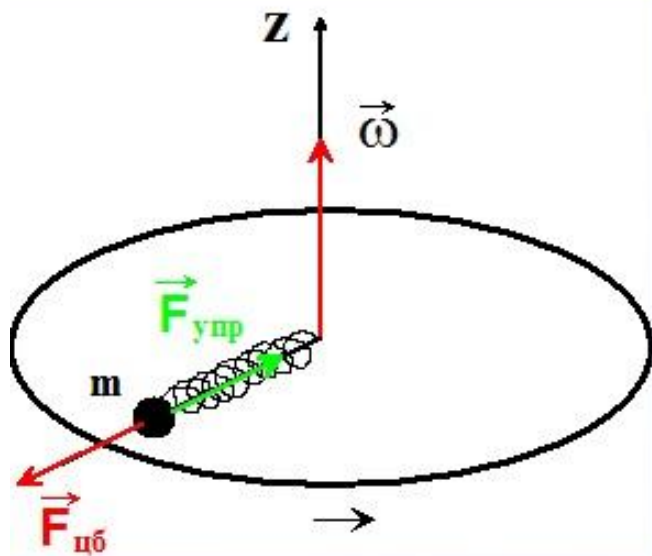


# 9.1. Сила Кориолиса.



## 9.2. Центробежная сила инерции

Пусть диск вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси  $Z$ . К центру диска прикреплена пружина, на конце которой находится груз массы  $m$ . Груз и пружина надеты на стержень. Перемещаясь вдоль стержня и растягивая пружину, груз в конце концов остановится в таком положении, в котором сила упругости в *неподвижной системе отсчета, связанной с Землей*, согласно 2-му закону Ньютона будет равна  $\vec{F}_{\text{упр}} = m\vec{a}_n = -m\omega^2\vec{R}$ . Где  $\vec{R}$  - радиус-вектор, проведенный к грузу из центра диска,  $\vec{a}_n$  - центростремительное ускорение.



Относительно диска груз покоится. Это можно объяснить тем, что *во вращающейся системе отсчета, связанной с диском* на груз действует сила инерции

$$\vec{F}_{\text{цб}} = -\vec{F}_{\text{упр}} = m\omega^2\vec{R} \quad (3.19)$$

направленная вдоль радиуса от центра и компенсирующая силу упругости. Эта сила называется *центробежной силой инерции*.

## 9.2. Центробежная сила инерции

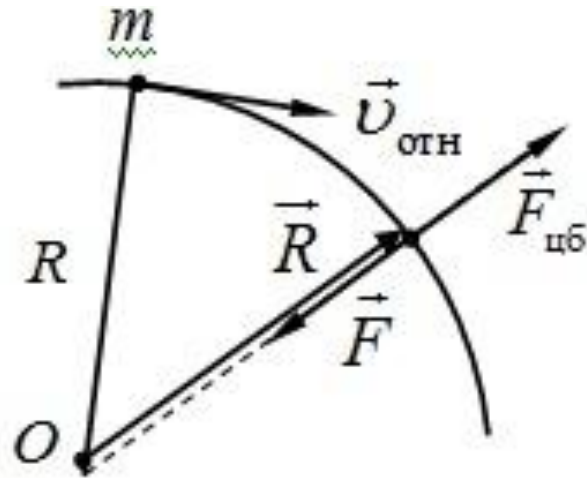


Рис. 3.6.

*Центробежная сила инерции:*

$$\vec{F}_{\text{цб}} = m\omega^2 \vec{R}, \quad (3.19)$$

где  $\vec{R}$  – радиус-вектор, направленный от оси  $O$  вращения к шарiku.

Если положение точки в пространстве описывать с помощью радиус-вектора  $\vec{R}$ , то

$$\vec{F}_{\text{цб}} = m\vec{\omega} \times \vec{v}. \quad (3.20)$$

### 9.3. Уравнение движения в неинерциальной системе отсчета с учетом ее вращения.

Уравнение (3.11) с учетом выражения (3.16) и формул (3.17), (3.19) преобразуется:

$$m\vec{a}_{\text{отн}} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i^{\text{вз}} \underbrace{-m\vec{a}_{\text{пер}} + m\omega^2 \vec{R}}_{\text{Переносная сила инерции}} + \underbrace{2m\vec{v}_{\text{отн}} \times \vec{\omega}}_{\text{Сила Кориолиса}} \quad (3.21)$$

Таким образом, для написания уравнения необходимо к физическим (реальным) силам взаимодействия добавить две силы инерции: *переносную силу инерции*, состоящую из *поступательной переносной силы инерции*, связанной с ускоренным движением начала  $O'$  неинерциальной системы отсчета, *центробежной силы инерции*, которая возникает во вращающейся (по отношению к инерциальной) системе отсчета и *силы Кориолиса*.



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!  
УЧИМСЯ ВМЕСТЕ!**

