

4. Импульс. Закон сохранения импульса.

План лекции

- Силы в механике
- Универсальные законы природы - законы сохранения
- Импульс материальной точки
- Закон сохранения импульса
- Центр масс. Ц-система

Силы в механике. Сила гравитационного взаимодействия

Все силы в механике относятся к гравитационным и электромагнитным фундаментальным воздействиям. Это можно заметить на примере законов всемирного тяготения и Кулона:

$$\vec{F} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

Закон всемирного тяготения

$$\vec{F} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

Закон Кулона

Запишем закон всемирного тяготения для тела m на расстоянии r от Земли (радиуса R и массы M_3):

$$|\vec{F}| = G \frac{m M_3}{(R+r)^2}$$

С другой стороны, любое тело вблизи поверхности Земли движется с ускорением свободного падения \vec{g} , следовательно, сила, действующая на тело, равна:

$$F = G \frac{m M_3}{R^2} = mg$$

Одинаково ли ускорение свободного падения на поверхности Земли?

Пусть k - ИСО, k' - НИСО (неинерциальная СО), а \vec{a}', \vec{v}' - ускорение и скорость в системе k' , а сама система k' движется с ускорением \vec{a}_0 и вокруг оси с угловой скоростью $|\vec{\omega}| = \text{const}$

Тогда получаем ускорение в НИСО: $\vec{a}' = \vec{a} + \omega^2 \vec{\rho} + 2[\vec{v}' \vec{\omega}] - \vec{a}_0$

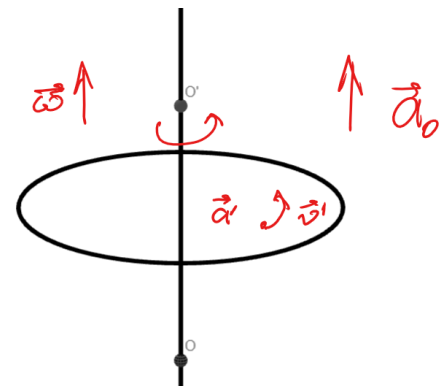
\vec{a} - ускорение тела в системе k'

$\omega^2 \vec{\rho}$ - центробежное ускорение

$2[\vec{v}' \vec{\omega}]$ - ускорение Кориолиса

\vec{a}_0 - поступательное ускорение (системы отсчета k' для k)

$m \vec{a}' = \underbrace{m \vec{a}}_{\Sigma \vec{F}} + \underbrace{m \omega^2 \vec{\rho} + 2m[\vec{v}' \vec{\omega}] - m \vec{a}_0}_{\text{силы инерции (т. н. фиктивные)}}$ - основное уравнение динамики в НИСО



$m\omega^2 \vec{\rho}$ - центробежная сила

$2m[\vec{v}'\vec{\omega}]$ - сила Кориолиса

$m\vec{a}_0$ - поступательная сила инерции

В НИСО возникают так называемые силы инерции (фиктивные), центробежная и Кориолиса связаны с вращением

Сила Кориолиса будет действовать только на те тела, которые движутся

Из закона всемирного тяготения можно вывести ускорение свободного падения гравитационное:

$$g_{\text{грав}} = G \frac{M_{\text{З}}}{R^2} = 9.81 \dots 9.83 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Из этого получить ускорение эффективное: $g_{\text{эфф}} = g_{\text{грав}} + a_{\text{цб}} = 9.78 \dots 9.83$ (ускорение свободного падения уменьшается на 3 сотых из-за вращения)

Вес тела

Def. Вес тела - сила, с которой тело действует на неподвижную относительно него опору

В случае опоры $|P| = |N|$ (N - сила реакции опоры)

Рассмотрим случай, когда тело находится в неподвижном состоянии на поверхности:

$$m\vec{g} + \vec{N} = 0 \quad N - mg = 0 \quad P = mg$$

Вес тела равен силе тяжести только при $\vec{a} = 0$ системы отсчета

Силы трения

Силы трения появляются при перемещении соприкасающихся тел или их частей относительно друг друга. Различают сухое и вязкое трение. К сухому трению относится трение покоя, трение скольжения и трение качения

Сила трения покоя применима не телам, которые покоятся; она не может превышать некоторого максимального значения: $0 \leq F_{\text{тр.}} \leq \mu_0 N$ (где μ_0 - коэффициент трения покоя)

Сила трения скольжения возникает при движении соприкасающихся тел. В общем случае сила трения скольжения зависит от скорости движения, но для широкого класса тел равна максимальной силе трения покоя и подчиняется закону Амонтона-Кулона: $F_{\text{тр}} = \mu N$

В задачах принимается, что $\mu_0 = \mu$, тогда во время покоя сила трения растет линейно, пока не достигнет μN , тогда тело начинает движение, и применяется сила трения скольжения

Как можно измерить массу тел?

Для измерения массы необходимо сравнить ее с другой, принятой за эталон. Сравним массы m_1 и m_2

Опыт показывает, что в замкнутой системе - системе, в которой можно пренебречь взаимодействием с другими телами, выполняется соотношение:

$$\frac{\Delta \vec{v}_1}{\Delta \vec{v}_2} = \frac{m_2}{m_1}$$
$$\Delta \vec{v}_1 \uparrow \downarrow \Delta \vec{v}_2 \quad v \ll c$$

$$m_1 \Delta \vec{v}_1 = -m_2 \Delta \vec{v}_2 \quad \text{или} \quad m_1 \Delta \vec{v}_1 + m_2 \Delta \vec{v}_2 = 0$$

Импульс (количество движения) - векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость: $\vec{p} = m\vec{v}$ $[p] = \text{кг} \cdot \text{м}/\text{с}$

Определение справедливо для материальной точки и для поступательного движения твердого тела

Импульс системы материальных точек: $\vec{P} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i$

Для системы N материальных точек (\vec{F}_i - внешние силы)

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \sum \vec{F}_i \quad \vec{P} = \text{const}$$

Закон сохранения импульса - импульс замкнутой системы остается постоянным

При изменении состояния системы всегда существуют такие величины, которые сохраняются с течением времени. Среди этих величин наиболее важное значение имеют импульс, энергия и момент импульса.

Эти величины обладают свойством аддитивности – значение величин для системы, состоящей из частей, равно сумме значений для каждой из частей в отдельности.

Законы сохранения – универсальные законы природы, связаны с фундаментальными свойствами пространства и времени.

Закон сохранения импульса – однородность пространства

Закон сохранения энергии – однородность времени

Закон сохранения момента импульса – изотропность пространства