

РАЗДЕЛ 3. ДИНАМИКА МТ.

Тема 1. Динамические характеристики МТ.

П.1. Инерциальные системы отсчета.

П.2. Динамические характеристики и уравнения.

П.3. Импульс. Масса. Сила

П.4. Сила. Некоторые силы в механике.

П.1. Инерциальные системы отсчета.

Проблема: Существуют ли особые системы отсчета, в которых физические законы выглядят особенно просто?

Инерциальными (ИСО) называются системы отсчета, в которых изолированная МТ покоится или движется с постоянной скоростью $\vec{v} = const$.

Вопрос: А можно ли построить такую систему отсчета?

Ответ: Как показала практика, существует, по крайней мере, одна система, в которой выполняется это условие.

Тела отсчета в этой системе отсчета – максимально удаленные звезды. Она называется основной.

Любая система отсчета, которая движется с постоянной скоростью относительно любой инерциальной СО, также является инерциальной.

Дальнейшее рассмотрение всех процессов будем проводить только в инерциальных системах отсчета.

Механический принцип относительности:

Все законы механики выглядят одинаково, если входящие в них характеристики измерены в одной и той же инерциальной системе отсчета, которая может быть выбрана произвольно.

Следствие: Исследуя механические процессы невозможно выделить абсолютную систему отсчета, которую можно было бы считать абсолютно неподвижной.

Дополнение: Другая формулировка механического принципа относительности:

Все законы механики инвариантны относительно преобразований Галилея (при малых скоростях) и преобразований Лоренца (при любых скоростях).

Замечание: этому принципу удовлетворяют и основные законы из других разделов физики.

П.2. Динамические характеристики и уравнения.

Проблема: Существуют ли особые характеристики движения, которые напрямую связаны с характеристиками внешних воздействий (ВВ)?

Динамическими называются характеристики движения, для которых в инерциальных системах отсчета быстрота изменения (производная по времени) равна соответствующей характеристике внешнего воздействия.

Динамическое уравнение (ДУ) связывает динамическую характеристику «А» с характеристикой внешнего воздействия «В» и имеет вид

$$\frac{dA}{dt} = B.$$

ТЕСТ

Быстрота изменения со временем любой динамической характеристики движения (ДХД) равна соответствующей характеристике внешнего воздействия (ХВВ).

Еще одной особенностью ДХД является наиболее простой способ формирования ДХД системы, состоящей из нескольких частей: *ДХД системы есть сумма ДХД всех ее частей.*

Следствие: ДХД сохраняется в отсутствие внешних воздействий.

Основные свойства воздействий:

Суммарное воздействие на систему равно сумме всех отдельных воздействий (принцип суперпозиции).

Воздействие на систему в целом распределяется на отдельные ее части, а сумма воздействий на каждую часть равна исходному воздействию (дистрибутивность).

Для механического движения есть 3 ДХД:

| ДХД | ХВВ | ДУ |
|---|---|----------------------------------|
| Импульс $\vec{p} = m \vec{V}$ | Сила \vec{F} | $\frac{d \vec{p}}{dt} = \vec{F}$ |
| Момент импульса $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$ | Момент силы $\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]$ | $\frac{d \vec{L}}{dt} = \vec{M}$ |
| Энергия $E = mc^2$ | Мощность $W = (\vec{F} \cdot \vec{V})$ | $\frac{dE}{dt} = W$ |

Замечание: Считается, что эти характеристики отражают фундаментальные вещи: однородность и изотропность пространства и однородность времени.

П.3. Импульс. Масса. Сила

Импульс – векторная динамическая характеристика движения, пропорциональная скорости.

$$\vec{p} = m \vec{v}$$

Скалярный коэффициент пропорциональности между импульсом и скоростью является характеристикой объекта (МТ), которая называется массой.

Иногда говорят: «Масса, есть мера инертных свойств объекта».

Инертность есть свойство тела «сопротивляться» внешнему воздействию.

Чем более инертно тело, тем больше оно «сопротивляется» внешнему воздействию.

ТЕСТ

МАССА есть коэффициент пропорциональности между кинематической характеристикой (скоростью \vec{V}) и динамической характеристикой (импульсом \vec{P}).

Из основных свойств импульса, как динамической характеристики следует (из решения задачи по распаду частицы на две – см. специальную литературу):

$$m = m_0 \gamma,$$

где

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

m_0 - константа для данного объекта, называется массой покоя.

Масса покоя тела инвариантна (не зависит от скорости).

При $V \ll c$ $\gamma \cong 1$ и $m \cong m_0$.

Сила – есть векторная характеристика внешнего воздействия, определяющая быстроту изменения импульса (как по величине, так и по направлению).

$$\frac{d \vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{СУМ}}.$$

Это есть *динамическое уравнение* (ДУ) для импульса. Иногда его называют вторым законом Ньютона в общем виде, а иногда - уравнением Ньютона-Эйнштейна.

Силы обладают свойством суперпозиции (суммируемости):

$$\vec{F}_{\text{СУМ}} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i.$$

Проблема: Получить второй закон Ньютона в известном виде, с которым мы успешно работали в школьной физике.

Динамический ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ: $m = \text{const}$.
закон

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{сум}} \Rightarrow \frac{d}{dt} \cdot (m \cdot \vec{v}) = \vec{F}_{\text{сум}} \Rightarrow m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_{\text{сум}}.$$

Отсюда $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$

$m \vec{a} = \vec{F}_{\text{сум}}$ - второй закон Ньютона (для $m = \text{const}$).

ТЕСТ

ТЕСТ

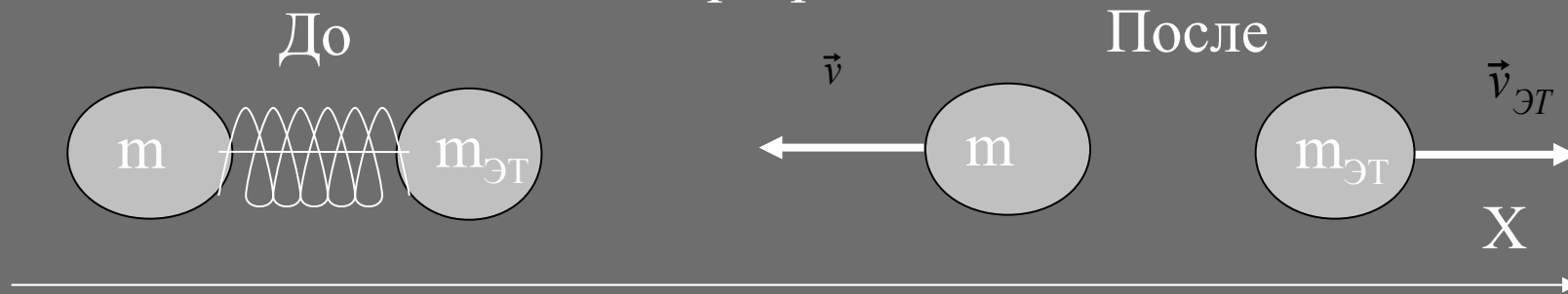
ТЕСТ

ТЕСТ

ПРОБЛЕМА: Как измерять массу?

Используем свойства импульса в эксперименте с двумя телами, одно из которых - эталон. Пружина сжата, связана нитью.

Событие - разрыв нити



$\vec{P}_{СУМ}^{ПОСЛЕ} = \vec{P}_{СУМ}^{ДО}$ - закон сохранения импульса

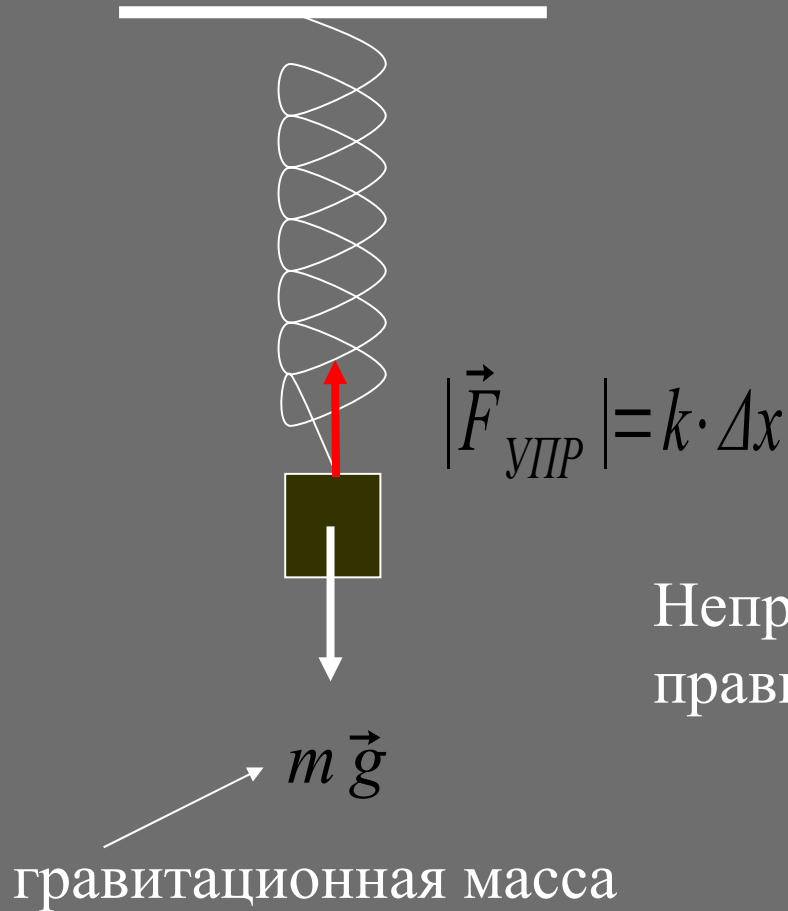
$$m \cdot \vec{v} + m_{ЭТ} \cdot \vec{v}_{ЭТ} = 0$$

Проектируем на X:

$$m \cdot (-v) + m_{ЭТ} \cdot v_{ЭТ} = 0, \quad \text{отсюда} \quad m = \frac{v_{ЭТ}}{v} m_{ЭТ} \quad - \text{результат.}$$

ТЕСТ

Неправильный способ измерения массы использует гравитационную силу, которая зависит от другой массы, называемой «гравитационной».



К счастью, выполняется «Принцип эквивалентности инертной и гравитационной масс: Они одинаковы!».

Неправильный способ измерения дает правильный результат!

$$m = \frac{k \cdot \Delta x}{g}$$

Свойства массы.

Масса суммируется (аддитивна): $[m_{\text{СУМ}} = \sum m_i]$.

Масса не инвариантна

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \geq m_0.$$

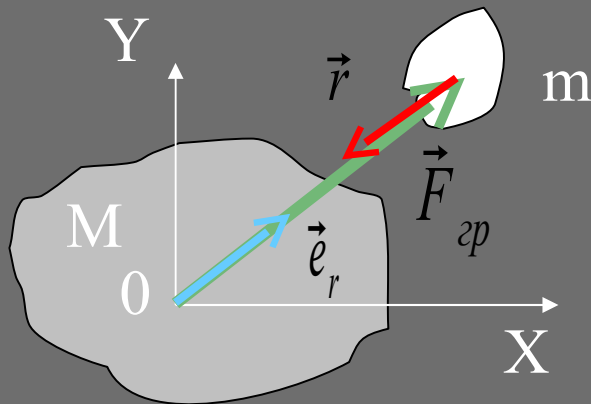
П.4. Сила. Некоторые силы в механике.

Сила – векторная характеристика внешнего воздействия, определяющая быстроту изменения импульса.

1) Гравитационная сила

$$\vec{F}_{gp} = G \cdot \frac{mM}{r^2} (-\vec{e}_r)$$

выражение для гравитационной силы - закон всемирного тяготения, где \vec{e}_r - единичный вектор, направленный вдоль радиус-вектора тела массы m ($|\vec{e}_r| = 1$), а центр тяжести тела массы M расположен в начале координат.

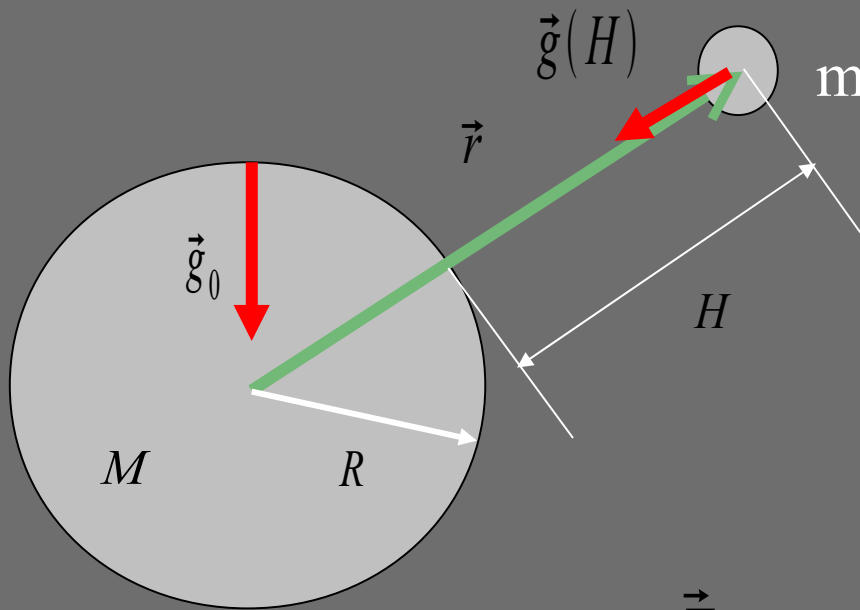


$$\vec{F}_{gp} = m \vec{g}$$

- хорошо известное выражение, где m – гравитационная масса.

ТЕСТ

Задача: Найти ускорение свободного падения $g(H)$ для тела, находящееся на высоте H над поверхностью планеты, если известно ускорение свободного падения на ее поверхности g_0 .



$$\vec{F}_{sp} = m \vec{g}(H)$$

$$|\vec{F}_{sp}| = G \cdot \frac{mM}{r^2},$$

где $r = R + H$.

Для поверхности

$$\vec{F}_{sp0} = m \vec{g}_0,$$

$$F_{sp0} = G \cdot \frac{mM}{R^2}.$$

$$mg(H) = G \cdot \frac{mM}{(R+H)^2}, \quad mg_0 = G \cdot \frac{mM}{R^2} \Rightarrow g(H) = \frac{g_0}{\left(1 + \frac{H}{R}\right)^2}.$$

Анализ ответа:

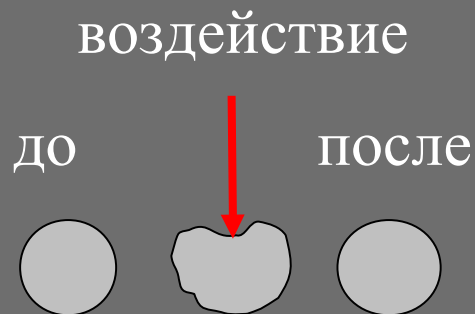
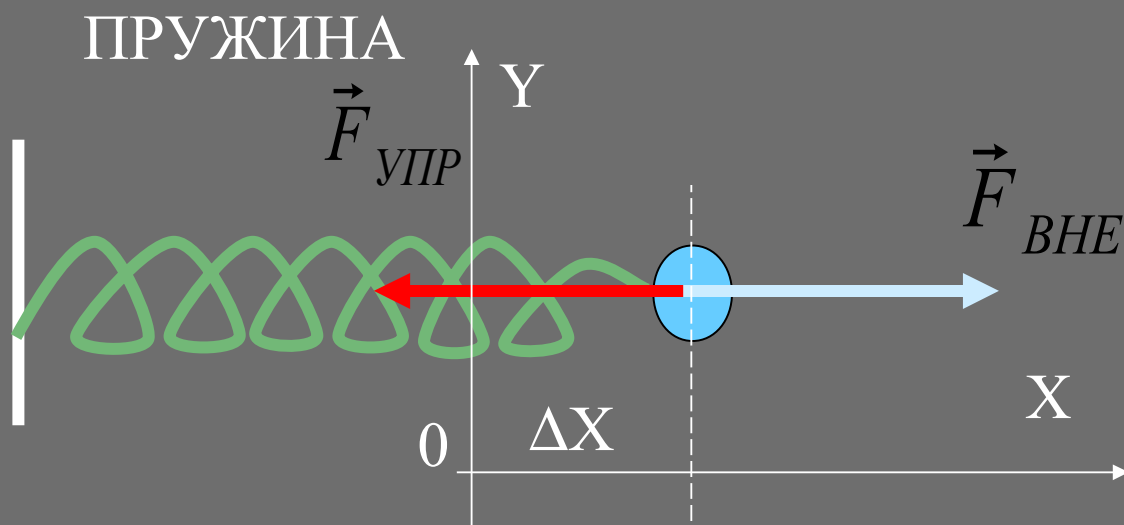
При $H = 0$ (на поверхности) имеем $g(H=0) = g_0$, что абсолютно справедливо.

При $H \rightarrow \infty$ имеем $g(H) \rightarrow 0$, т.е. воздействие отсутствует.

б) Сила упругости.

Возникает, когда форма твердого тела изменяется. АУТ (абсолютно упругое тело) – тело, форма которого восстанавливается после снятия внешнего воздействия.

Деформация \equiv изменение формы.



$$F_{УПР.X} = -k\Delta X \quad \text{- закон Гука.}$$

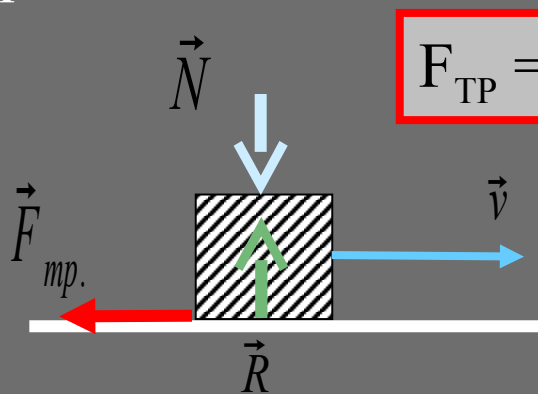
ТЕСТ

Обобщение: $F_{\text{УПР. X}} = -k' \frac{\Delta x}{L_0}$, где $k = \frac{k'}{L_0}$

k – коэффициент упругости данной пружины,
 k' – const для данной проволоки .

в) Сила трения скольжения.

Возникает при прижатии с силой N одной поверхности к другой и при наличии движения одной поверхности относительно другой.



$$F_{\text{ТР}} = kN,$$

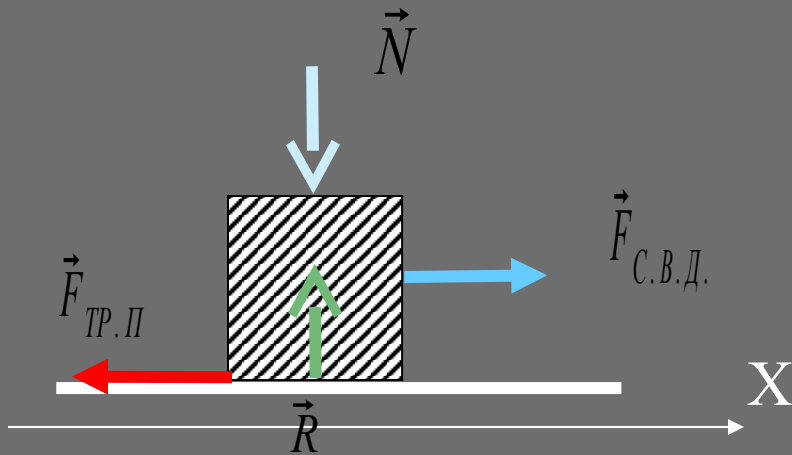
где $k = \text{const}$ и называется коэффициентом трения движения. Сила трения скольжения направлена против скорости относительного движения, т.е. вдоль поверхностей.

Величина силы трения не зависит от скорости (в 1-ом приближении) и пропорциональна силе N , сжимающей поверхности.

ТЕСТ

г) Сила трения покоя. Возникает при наличии

- силы, сжимающей две неподвижные поверхности (N),
- силы, стремящейся вызвать движение и направленной вдоль поверхностей $\vec{F}_{С.В.Д.}$.



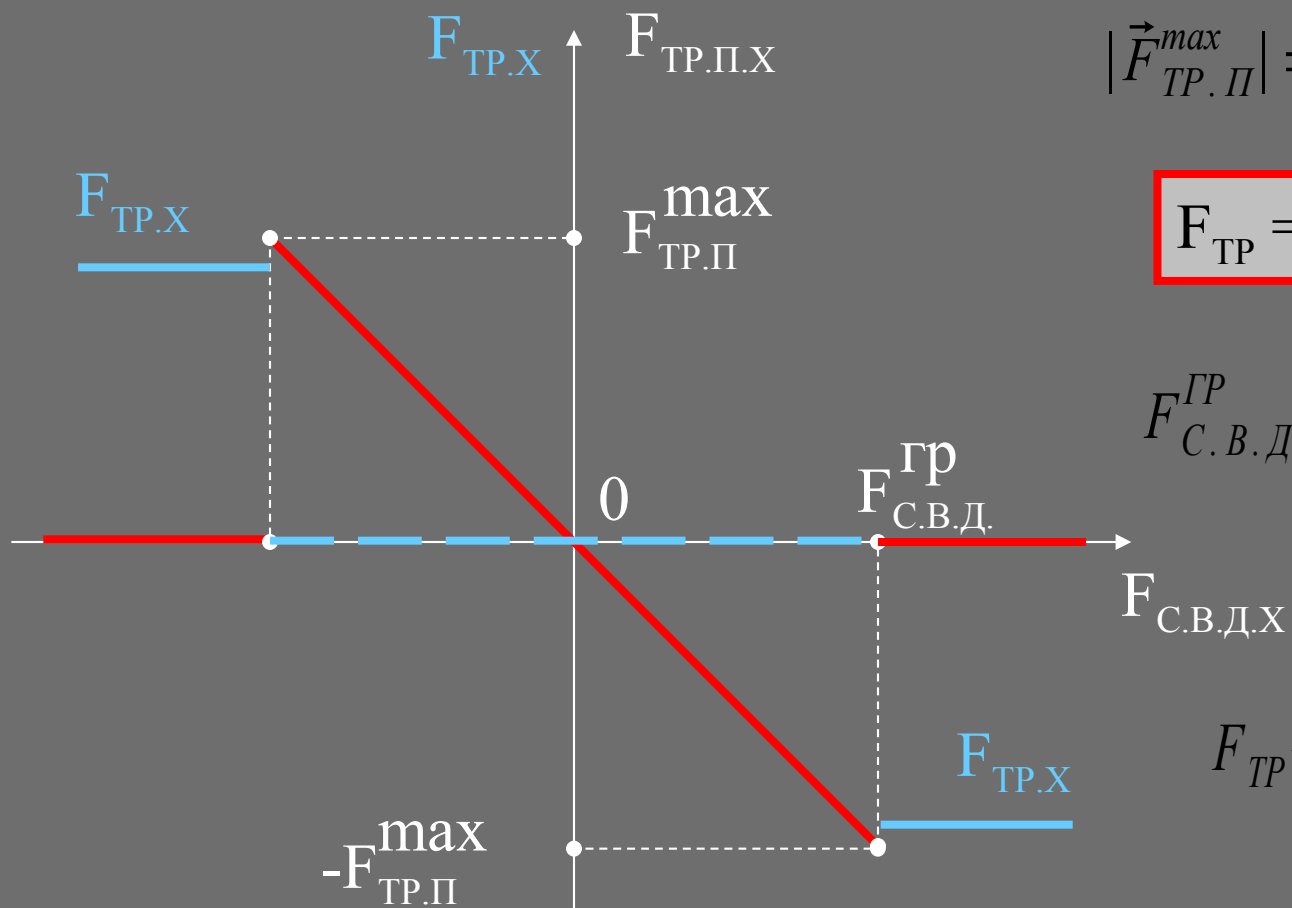
Направлена против силы, стремящейся вызвать движение и равна ей по величине до ОПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕДЕЛА.

Имеет максимальное значение
силе, сжимающей поверхности

$$\vec{F}_{тр.п}^{max}, \text{ пропорциональное}$$
$$|\vec{F}_{тр.п}^{max}| = k_{п} N.$$

Коэффициент трения покоя $k_{п}$ немного превышает
обычный коэффициент трения k .

Вопрос: Как меняется сила трения покоя?



$$|\vec{F}_{\text{ТР.П}}^{\text{max}}| = k_{\text{П}} N.$$

$$F_{\text{ТР}} = kN,$$

$$F_{\text{С.В.Д.}}^{\text{гр}} = k_{\text{П}} N.$$

$$F_{\text{ТР}} < F_{\text{С.В.Д.}}^{\text{гр}}.$$

ТЕСТ

д) Вес и реакция опоры.

Весом называется сила, с которой тело действует на опору или подвес.

Вес тела не приложен к телу, а приложен к опоре или подвесу.

Нормальная составляющая силы реакции опоры называется силой нормального давления.

Касательная составляющая силы реакции опоры – есть сила трения.

ТЕСТ

ДОПОЛНЕНИЕ

Третий закон Ньютона: Для подавляющего большинства взаимодействий *сила действия равна силе противодействия*.

ПРИМЕР: Если тело действует на опору (с силой, называемой его весом), то опора действует на тело с силой, называемой реакцией опоры.

ТЕСТ