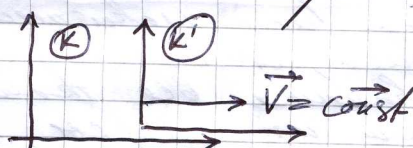


§1. Законы Ньютона. Краткое резюме

Прежде чем рассматривать применение законов Ньютона кратко напомним их суть.

- Первый закон Ньютона: существуют системы отсчета, в которых тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если действие всех сил на рассматриваемое тело скомпировано, т.е. $\vec{F}_{\text{рез}} = 0$, результирующая сила, действующая на тело, равна нулю.

Очевидно, если есть одна инерц. система отсчета, то любая другая система, равномерно и прямолинейно движущаяся относительно первой, также является инерциальной.



K - ИСО \Rightarrow K' - ИСО

На одна из инерц. систем отсчета не явл. выделенной, все инерц. системы равноправны, законы Ньютона в различных ИСО выглядят одинаково.

- Второй закон Ньютона: скорость изменения импульса тела определяется результирующей силой, действующей на тело.

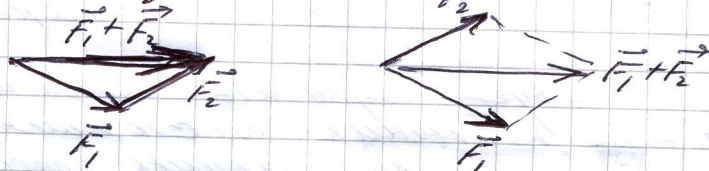
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{рез}}, \quad \vec{p} = m\vec{v}$$

Теперь мы будем рассматривать также материальное тело, т.е. такие, размеры которых в условиях рассматриваемой задачи можно пренебречь.

Сила - величина векторная. Для сил справедлив линейный принцип суперпозиции:

$$\vec{F}_{\text{рез}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N$$

звучащий в том, что одновременное действие N сил можно представить как векторную сумму этих сил. Для двух сил:



Второй закон Ньютона становится конкрет. утверждением, если известен закон для сил, о них (законах) и пойдет речь в данной лекции.

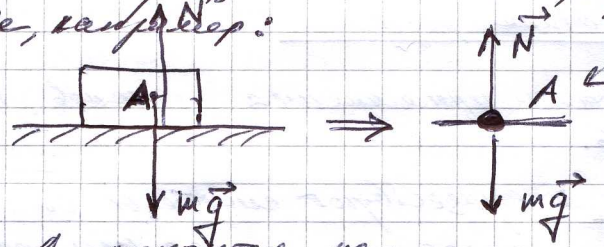
- Третий закон Ньютона

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Сила, с которой второе тело действует на первое, равна по величине и противоположно направлена силе, с которой первое тело действует на второе.

Сила - мера взаимодействия материальных тел. Взаимодействуют друг с другом материальных тел означает пара сил, силы встречаются в природе парами.

Тела заданы с материальными телами, удерживаются в равновесии, действующие на тело, приложенных в одной точке, например:

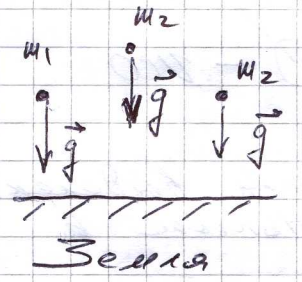


Векторная диаграмма сил, приложенных к телу A, очевидно $\vec{N} = -m\vec{g}$.

Тело A покоится на горизонтальной поверхности.

§2. Силы, используемые в классической механике, описывающие движение материальных тел.

1. Силы тяжести - это силы, действующие на материальное тело со стороны Земли,



т.е. силы тяготения или гравитационные. Опыт показывает, что в окрестности Земли сила притяжения все тела, независимо от их массы, падая на Землю с одинаковой свободной падением ускорением.

Происходит это вследствие вращения Земли. Силы тяжести имеют форму:

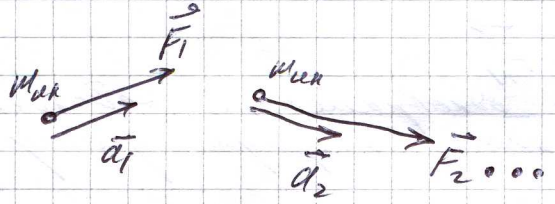
$$\vec{P}_1 = m_1 \vec{g}, \quad \vec{P}_2 = m_2 \vec{g}, \quad \vec{P}_3 = m_3 \vec{g}, \dots$$

Замечание различать инертную массу

$$m_{ин} = \frac{|\vec{F}|}{|\vec{a}|} \quad \text{и} \quad \text{гравитационную} \quad m_{гр} = \frac{|\vec{F}_g|}{g}$$

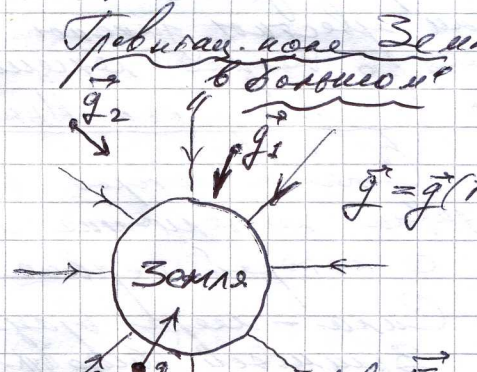
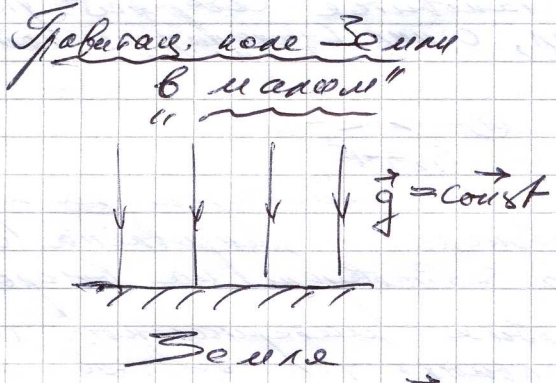
Было установлено, что с хорошей степенью точности эти массы совпадают:

$$m_{ин} = m_{гр} = m_{гр}$$



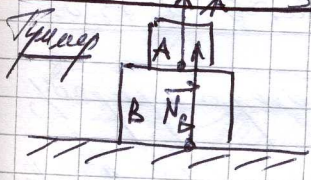
$$m_{ин} = \frac{|\vec{F}_1|}{|\vec{a}_1|} = \frac{|\vec{F}_2|}{|\vec{a}_2|} = \dots \text{ - константа для всех тел.}$$

Замечание Следует различать гравитационное поле Земли "в малом" - на небольших расстояниях и "в большом" - на больших расстояниях:

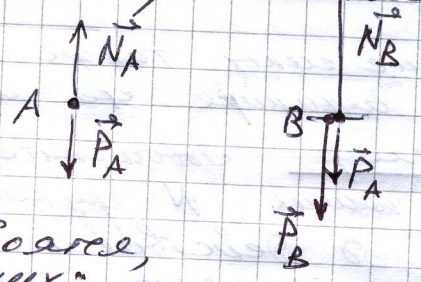


$$\vec{F}_{всех тел} = -G \frac{Mm}{r^2} \vec{r} \quad \text{и} \quad \vec{g}(r) = \frac{\vec{F}}{m}$$

2. Сила реакции опор (по своей микроскопической природе — это электромагнитная сила!)



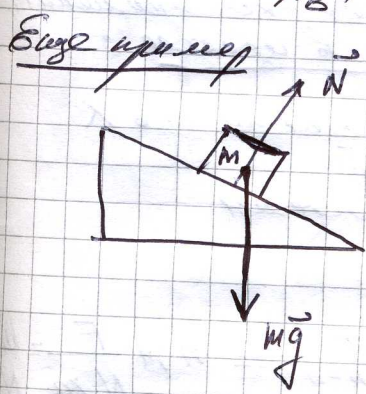
Составим тела векторные диаграммы:



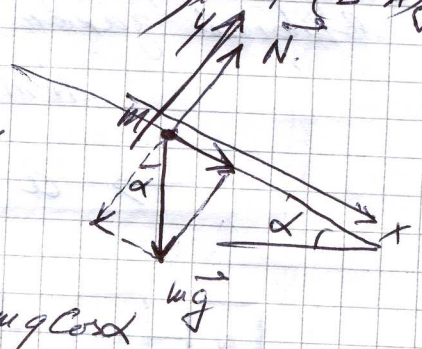
Рассматриваемые тела покоятся, поэтому имеем для них:

$$\vec{N}_A + \vec{P}_A = m_A \vec{a}_A = 0 \rightarrow \vec{N}_A = -\vec{P}_A, |\vec{N}_A| = m_A g$$

$$\vec{N}_B + \vec{P}_B + \vec{P}_A = m_B \vec{a}_B = 0 \rightarrow \vec{N}_B = -\vec{P}_B - \vec{P}_A, |\vec{N}_B| = (m_B + m_A)g$$



Рисуем векторную диаграмму



$$\rightarrow |\vec{N}| = mg \cos \alpha$$

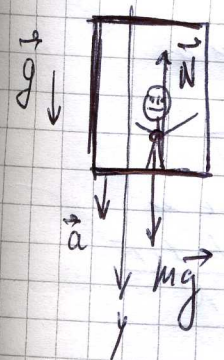
Используем систему координат x, y (см. рис.):

$$N_y + mg_y = ma_y = 0 \text{ — вдоль оси } y \text{ тело не движется!}$$

$$\rightarrow N_y = -mg_y = +mg \cos \alpha, \quad g_y = -g \cos \alpha$$

С равными опоры связано понятие веса тела.
Определение: вес тела — величина сил реакции опоры, будучи направлена по модулю. Опора расположена перпендикулярно g — ускорению свободного падения.

Задача



(А) лифт движется ускоренно вниз



Рисуем векторные диаграммы

$$\vec{N} + \vec{mg} = m\vec{a}$$

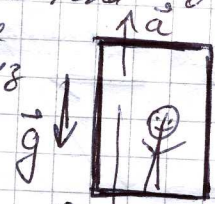
$$\rightarrow N + mg = ma$$

$$\rightarrow N = m(g - a) = P < mg$$

Вес человека

при $g = a$ — невесомость:

$$N = m(g - a) = 0$$



(Б) лифт движется ускоренно вверх



$$\rightarrow -N + mg = -ma$$

$$\rightarrow N = m(g + a) = P > mg$$

Вес человека

3. Силы натяжения нитей, веревок, канатов и т.д.

Такие силы также имеют электромагнитную природу, но в механике ею не интересуются.

Пример Возьмем силу натяжения n нитей, свертываем их в N брусков, каждой массой m , движущие под действием силы F по горизонтальной поверхности без трения. Нити канатов и канатов.

Задачу можно решать по разному. Можно применить второй закон Ньютона к системе в целом:

$$Nma = F \quad \text{— в проекции на ось } x$$

$$\rightarrow a = \frac{F}{Nm} \quad \text{— ускорение системы}$$

$$\Rightarrow nma = T_{N-n} = nm \frac{F}{Nm}$$

группа n последних вагонов $\Rightarrow T_{N-n} = \frac{nF}{N}$ — сила каната впереди данной группы.

На последний вагон действует, очевидно, сила

$$(n=1) \rightarrow T_{N-1} = \frac{F}{N}$$

Можно составить систему уравнений, опираясь на применение 2 закона Ньютона к каждой массе:

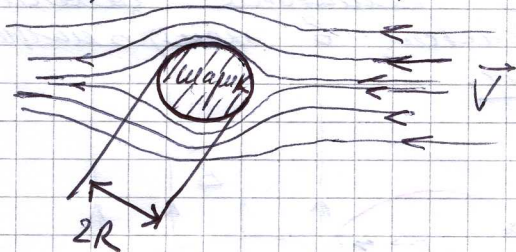
$$\begin{cases} F - T_1 = ma, \\ T_1 - T_2 = ma, \\ \dots \\ T_{N-2} - T_{N-1} = ma, \\ T_{N-1} = ma \end{cases} \xrightarrow{\text{сложив все уравнения}} \begin{cases} F = Nma \\ a = \frac{F}{Nm} \end{cases}$$

затем определяем $T_1 = F - ma = \frac{(N-1)F}{N}$ и т.д.

4. Силы трения для них также установлены некоторые эмпирические законы (по своей внутренней природе — это электромагнитные силы)

$F_{тр} = \mu N$, существуют понятия $\mu_{поп}$ — коэф. трения покоя, $\mu_{сл}$ — коэф. трения скольжения, $\mu_{дв}$ — коэф. трения движения.

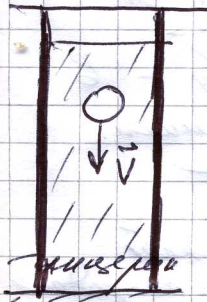
На движущиеся в глрх, жидкостях тела также действует сила трения - сопротивляемая их движению:



$$F_{тр} = 6\pi R \eta V \text{ — Ф-ла Стокса}$$

η — коэффициент внутреннего трения жидкости

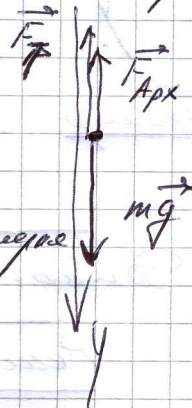
Задача



Вопросите установившуюся скорость равномерного движения шарика с плотностью ρ в жидкости с плотностью ρ_0 . Радиус шара — R коэффци. внутр. трения жидкости — η — известен

Решение:

Рисуем векторную диаграмму сил. Воспользуемся вторым законом Ньютона в проекции на ось y :



$$mg - F_{тр} - F_{Apx} = m a_y = 0 \text{ — равномерное движение}$$

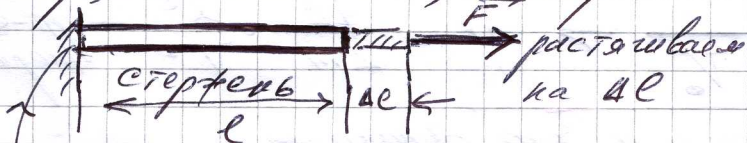
$$\Rightarrow mg - F_{Apx} = F_{тр}$$

$$\rho \frac{4\pi}{3} R^3 g - \rho_0 \frac{4\pi}{3} R^3 g = 6\pi R \eta V_{устан}$$

$$\Rightarrow V_{устан} = \frac{4\pi R^3 g}{3 \cdot 6\pi R \eta} (\rho - \rho_0) = \frac{4\pi R^2 g (\rho - \rho_0)}{18 \eta} = \frac{2R^2 g (\rho - \rho_0)}{9 \eta}$$

5. Силы упругости — Закон Гука

Существуют понятия упругих деформаций для некоторых материалов, таких деформаций, после действия которых материал восстанавливает свою форму, в частности, длину



Известен закон Гука:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}$$

закреплен после действия силы F , стержень восстанавливает свою форму

$$\sigma = \frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l}, \text{ } \sigma \text{ — упругое напряжение в стержне с сечением } S$$

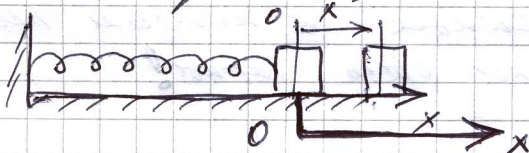
E — модуль Юнга

$$F \propto \Delta l / l$$

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ — аналог давления (отрицательного!)}$$

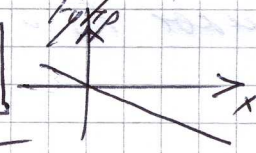
Упругое напряжение σ , возникающее в материале, пропорционально относительному удлинению $\Delta l / l$.

Упругие силы, возникающие в растянутых пружинах и упругих материалах, часто моделируют обратными:



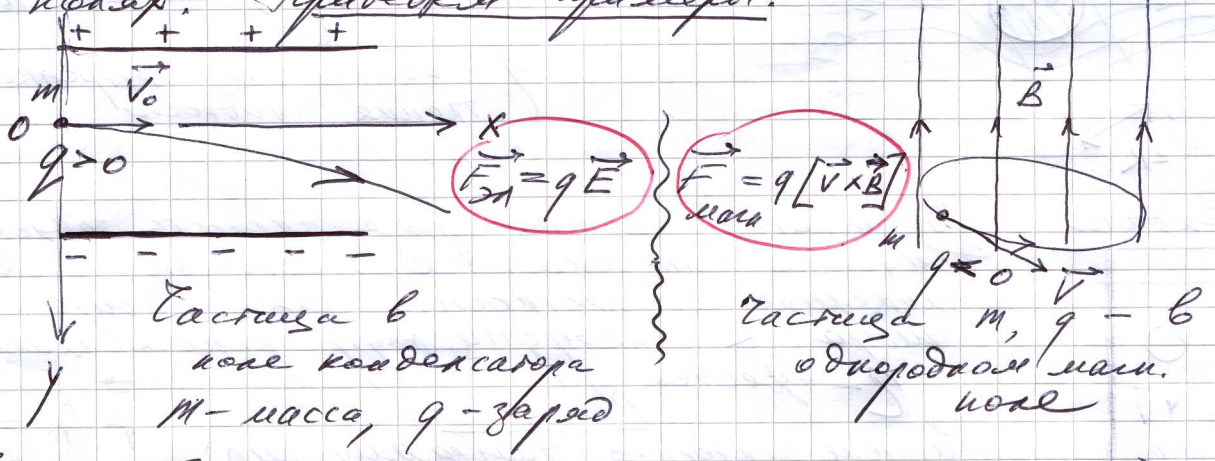
$$F_{упр} = -kx$$

Закон Гука



6. Электромагнитные силы

В физической механике решаются задачи на движение заряженных частей в электромагнитном поле. Приведем пример.



Пример Получите уравнение траектории заряженной частицы, масса m , заряд $-q$, в однородном поле \vec{E} конденсатора

Дано: $E, q, m, \vec{V}_0 = (V_0, 0, 0), \vec{r}_0 = (0, 0, 0)$

Решение: решаем задачу в системе координат, показанной выше на рисунке

$m\ddot{x} = 0 \Rightarrow \dot{x} = V_0 = \text{const}, x(t) = V_0 t + x_0 = V_0 t$
 $x_0 = x(0) = 0$

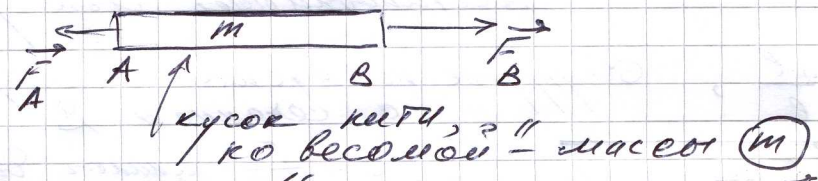
считаем, что сила тяжести нет

$m\ddot{y} = qE \Rightarrow \dot{y} = (qE/m)t + V_{y0} = \frac{qE}{m}t$
 $\Rightarrow y(t) = \frac{qEt^2}{2m} + y_0 = \frac{qEt^2}{2m}$

Для нахождения уравнения траектории исключим время:

$t = \frac{x}{V_0} \Rightarrow y = \frac{qE}{2m} \cdot \frac{x^2}{V_0^2}$ — уравнение параболы

В заключение покажем, что означает понятие "невесомая" кибб



К концам кибб приложены силы \vec{F}_B и \vec{F}_A . Ищем, согласно 2-ому закону Ньютона:

$F_B - F_A = ma \Big|_{a \rightarrow 0} = 0 \Rightarrow F_A = F_B$

Силы F_A и F_B , приложенные к концам невесомой кибб должны быть равны!