



Динамика

поступательного движения

План:

1. Первый закон Ньютона
2. Второй закон Ньютона
3. Третий закон Ньютона
4. Законы сил в механике
5. Задачи динамики
6. Система частиц
7. Центр масс

Первый закон Ньютона (закон инерции)

Инерция – явление сохранения скорости телом, если на него не действуют внешние силы

Всякое тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения пока воздействие со стороны других тел не заставит его изменить это состояние.

Инерциальные системы отсчета

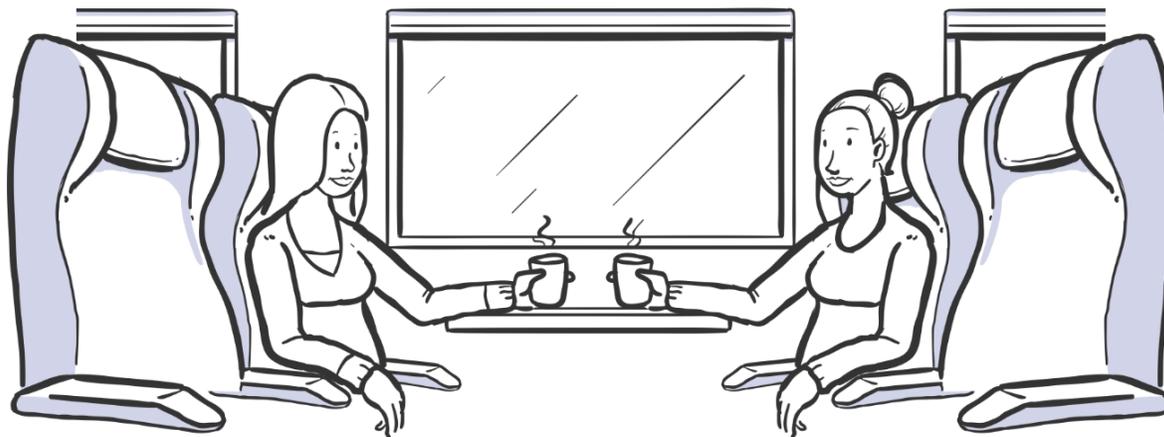
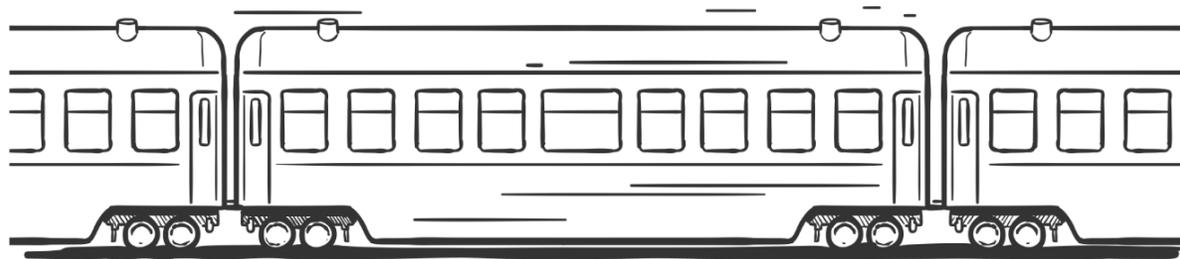
Инерциальные системы отсчета

- Однородность времени
- Однородность пространства
- Изотропность пространства

Принцип относительности Галилея

- Все инерциальные системы по своим механическим свойствам **эквивалентны** друг другу.
- Во всех инерциальных системах отсчета свойства пространства и времени **одинаковы**, одинаковы также и все **законы механики**.

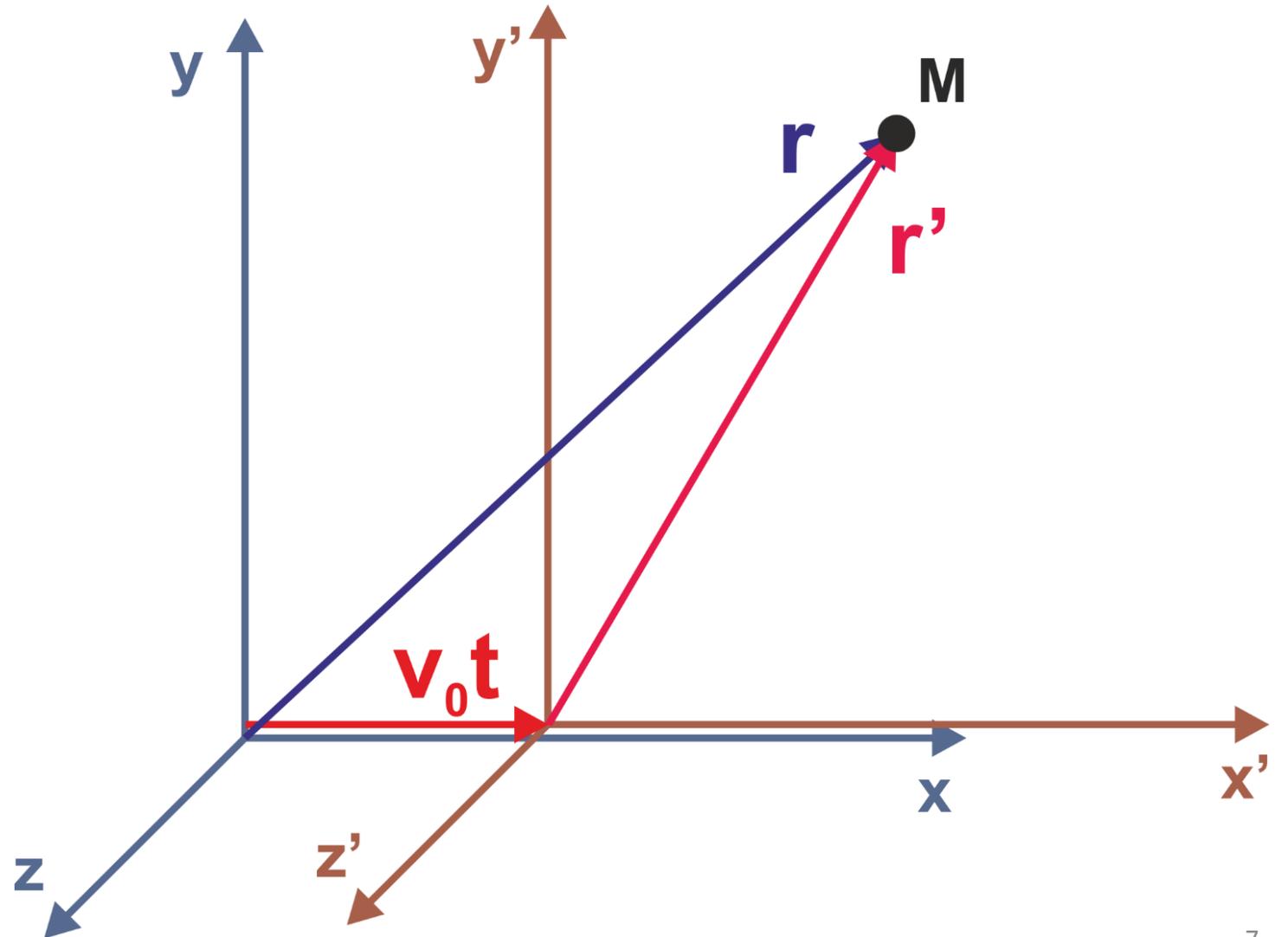
Принцип относительности Галилея



Преобразования Галилея

$$\mathbf{r}' = \mathbf{r} - \mathbf{v}_0 t$$

$$\begin{cases} x' = x - v_0 t \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$



Сила – влияние одного тела на другое,
вызывающее ускорение

СИ $F = [Н] = \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right]$, НЬЮТОН

СГС $F = [\text{дин}] = \left[\frac{\text{г} \cdot \text{см}}{\text{с}^2} \right]$, ДИНА

Инертность – свойство тела сопротивляться изменению его скорости.

Масса – мера инертности при поступательном движении

$$m = [\text{кг}]$$

- Аддитивная величина
- Постоянная величина

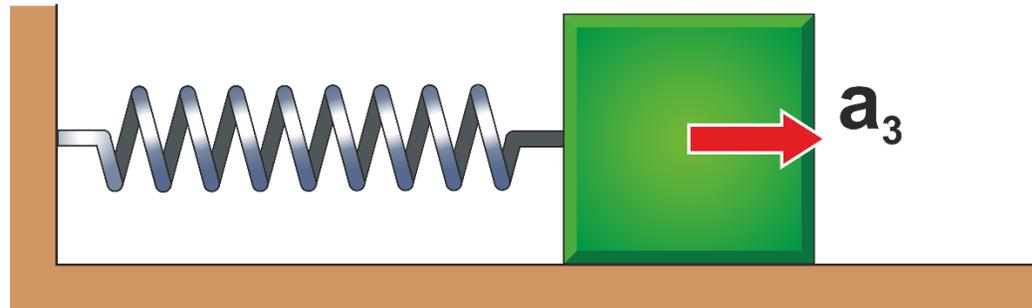
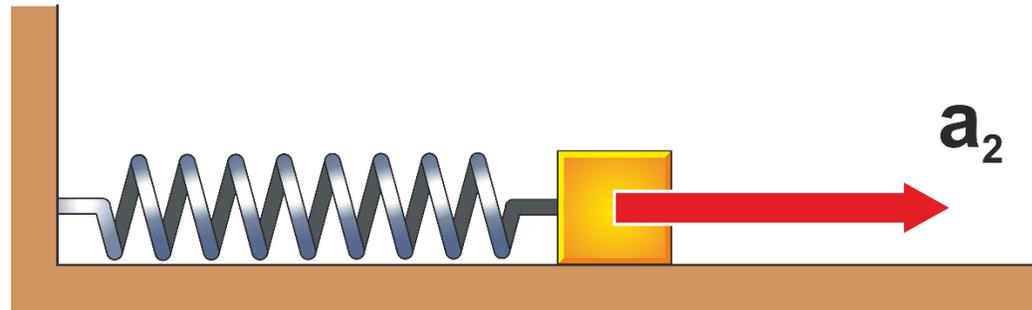
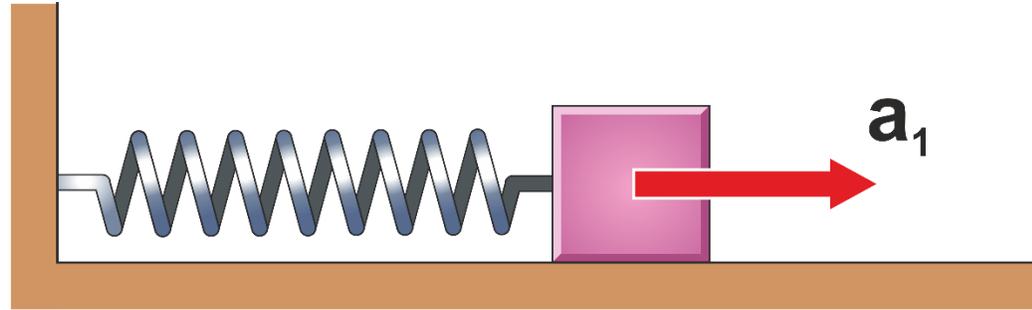
Второй закон Ньютона

Ускорение материальной точки пропорционально действующей на нее силе и обратно пропорционально её массе

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Инвариантно относительно преобразований Галилея

$$a = \frac{F}{m}$$



Второй закон Ньютона

Производная импульса частицы по времени равна действующей на тело силе

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$$

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \vec{v} \frac{dm}{dt} + m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{v} \frac{dm}{dt} + m\vec{a} = \vec{F}$$

$$d\vec{p} = \vec{F} dt$$

$$F dt = [\text{Н} \cdot \text{с}] \quad \text{Импульс силы}$$

Уравнение движения частицы $f(\vec{r}, \vec{v}, t, F) = 0$

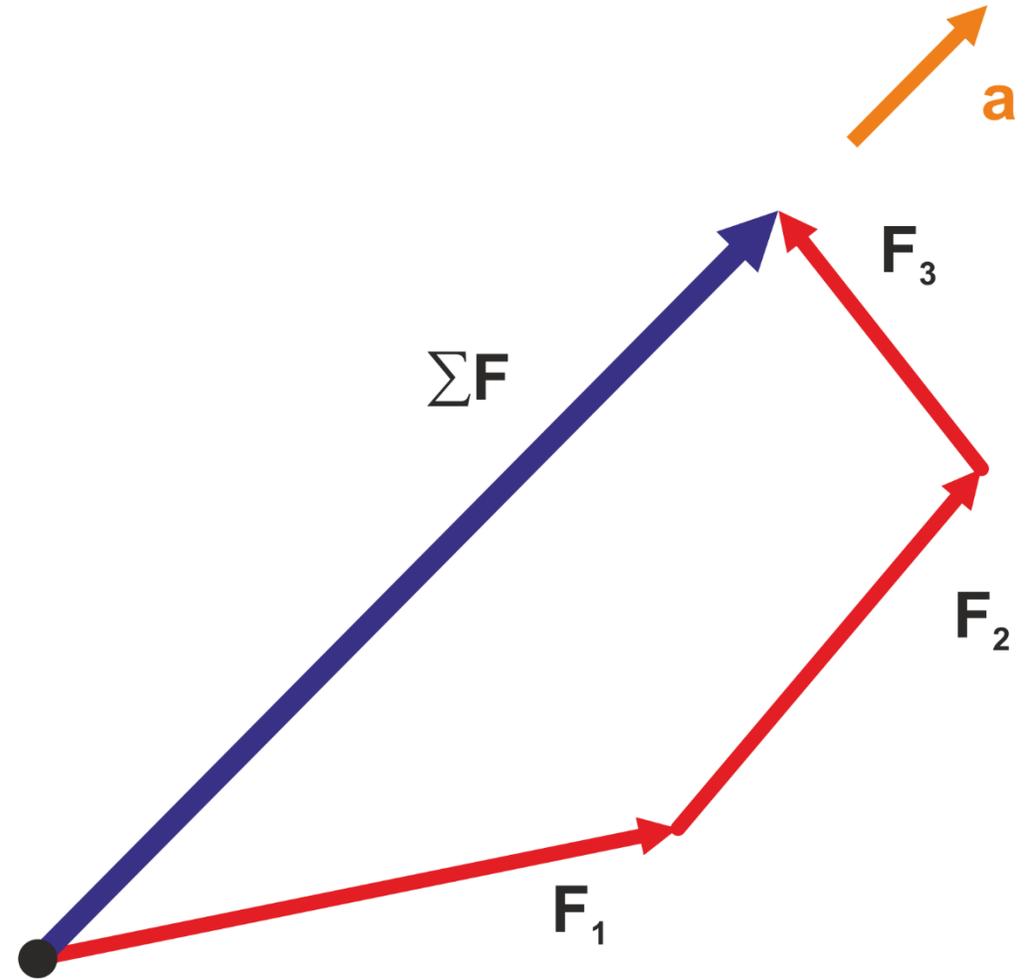
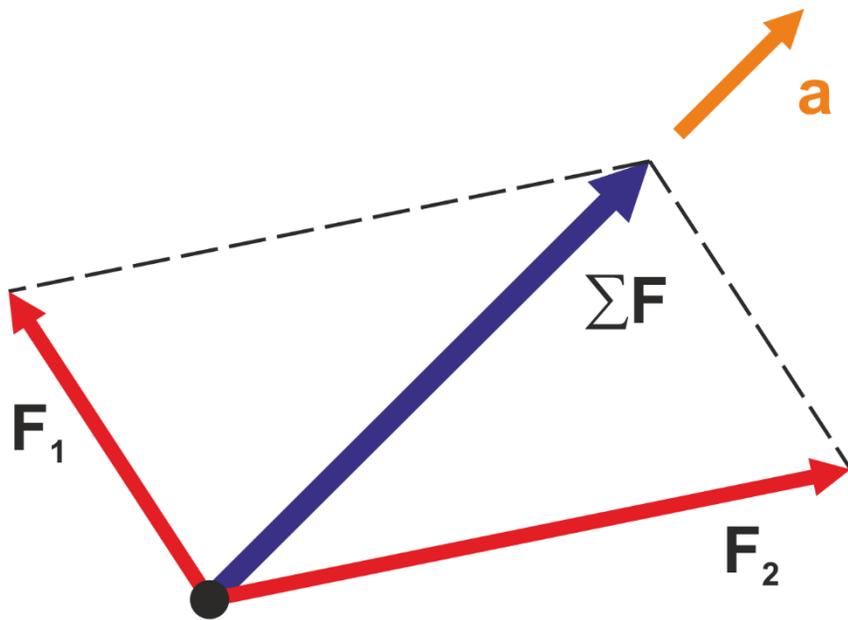
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} \quad m\vec{a} = \vec{F}$$

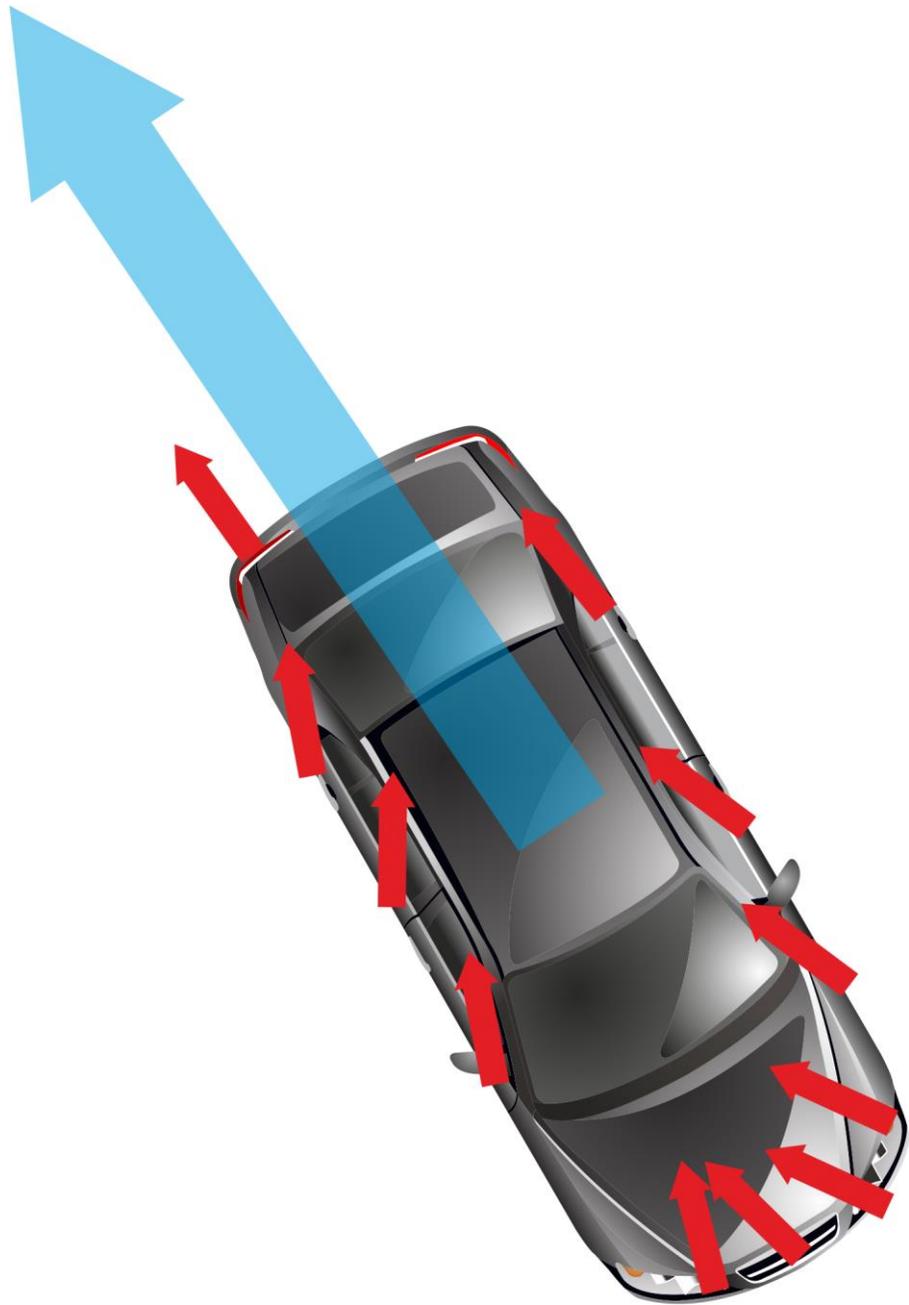
$$\frac{d\vec{p}}{dt} - \vec{F} = 0 \quad m\vec{a} - \vec{F} = 0$$

Принцип суперпозиции

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

\vec{F} – равнодействующая





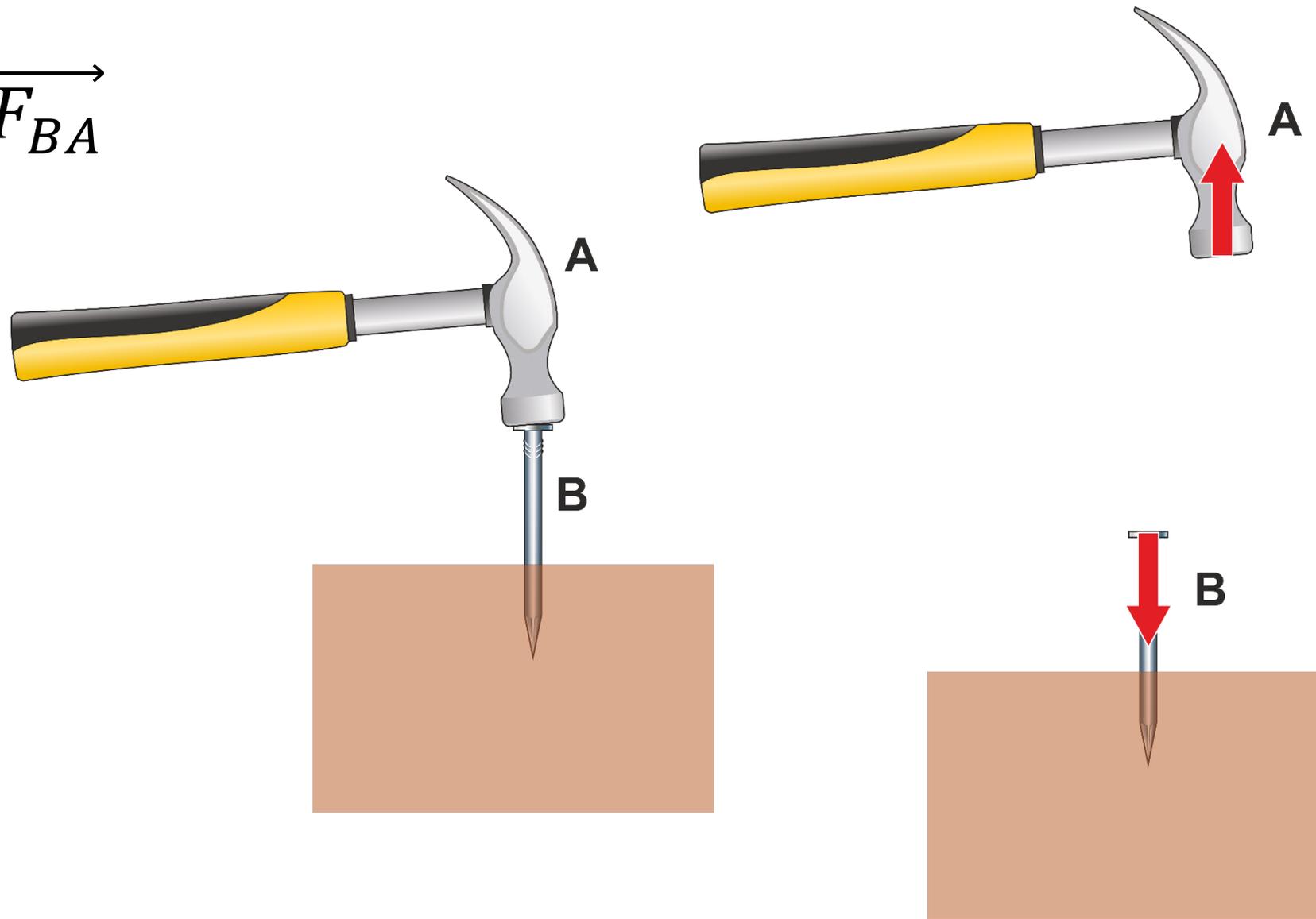
Третий закон Ньютона

Силы, с которыми две материальные точки воздействуют друг на друга, всегда равны по модулю и направлены в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти точки

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

Третий закон Ньютона

$$\vec{F}_{AB} = \vec{F}_{BA}$$



Третий закон Ньютона

Воздействия тел друг на друга имеют характер **взаимодействия**



Фундаментальные взаимодействия

1. Гравитационное
2. Электромагнитное
3. Сильное
4. Слабое

Силы в механике

Сила гравитационного притяжения

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}$$

Кулоновская сила

$$\vec{F}_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \vec{r}_{12}$$

Силы в механике

Сила тяжести $\vec{F}_T = m\vec{g}$

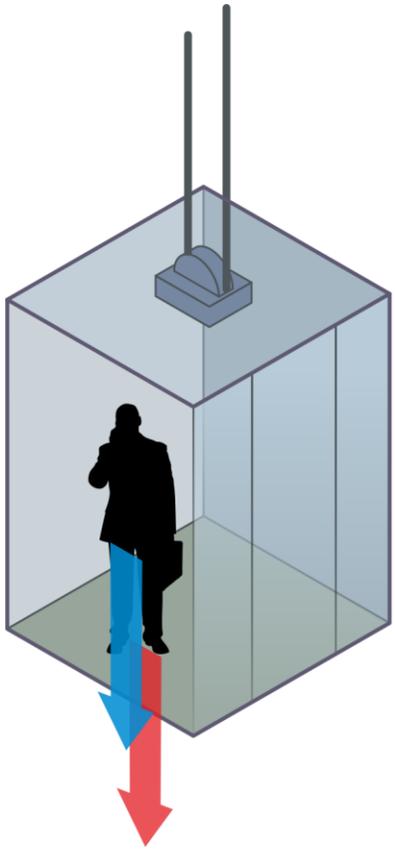
Вес тела \vec{P}

$$\vec{P} = -m\vec{g} \quad \text{покой}$$

$$\vec{P} = -m(\vec{g} - \vec{a}) \quad \text{с ускорением вниз}$$

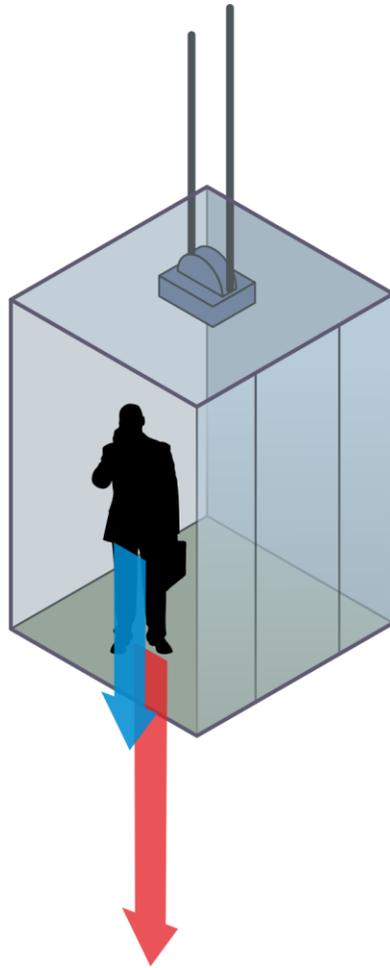
$$\vec{P} = -m(\vec{g} + \vec{a}) \quad \text{с ускорением вверх}$$

Вес \neq масса



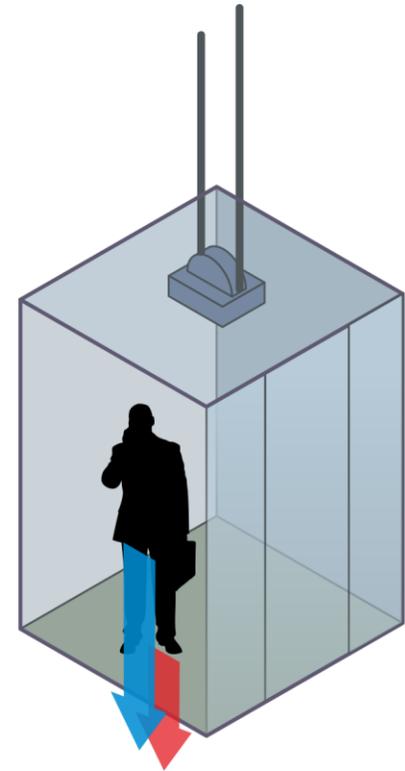
$a=0$

$$\vec{P} = -m\vec{g}$$



a

$$\vec{P} = -(m\vec{g} + m\vec{a})$$



a

$$\vec{P} = -(m\vec{g} - m\vec{a})$$

Силы в механике

Сила реакции опоры \vec{N}

Сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}} = -k\vec{x}$

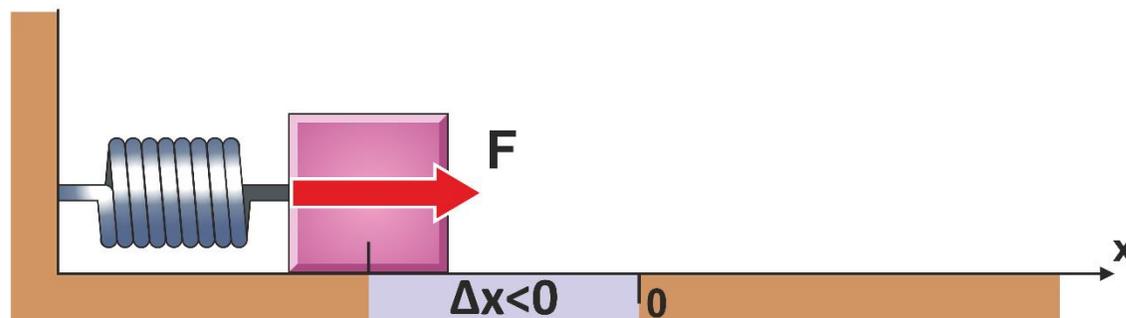
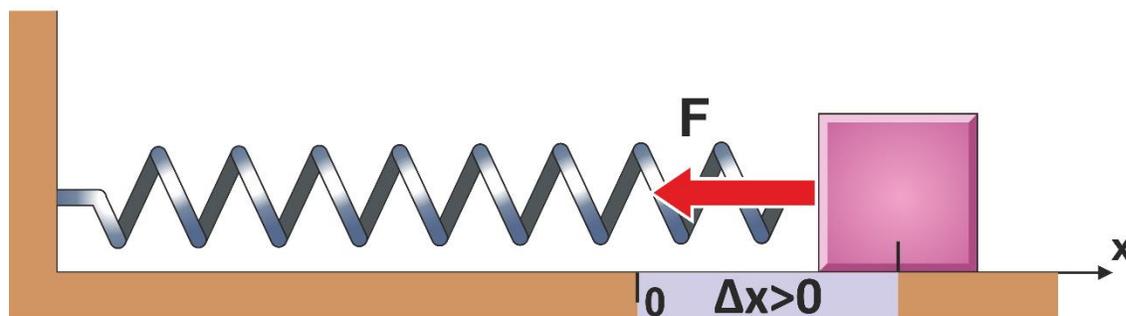
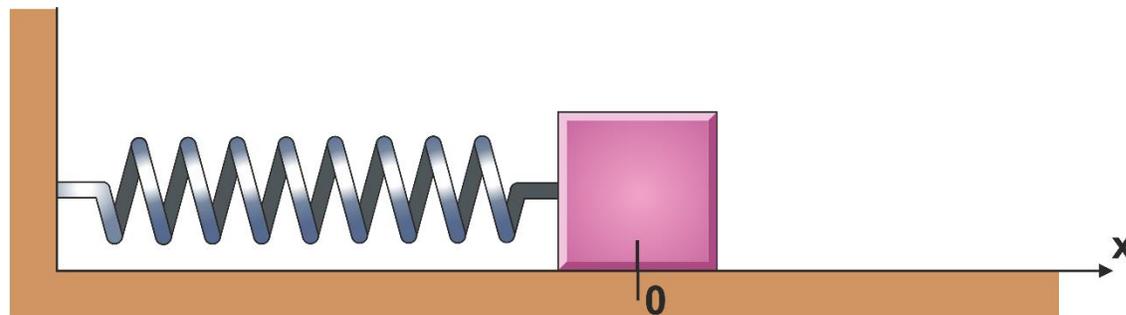
Сила трения $F_{\text{тр}} = -\mu N$

Сила сопротивления $\vec{F}_{\text{сопр}} = -\sigma\vec{v},$
 $F_{\text{сопр}} = -\sigma v^2$

Сила упругости

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\vec{x}$$

(Закон Гука)

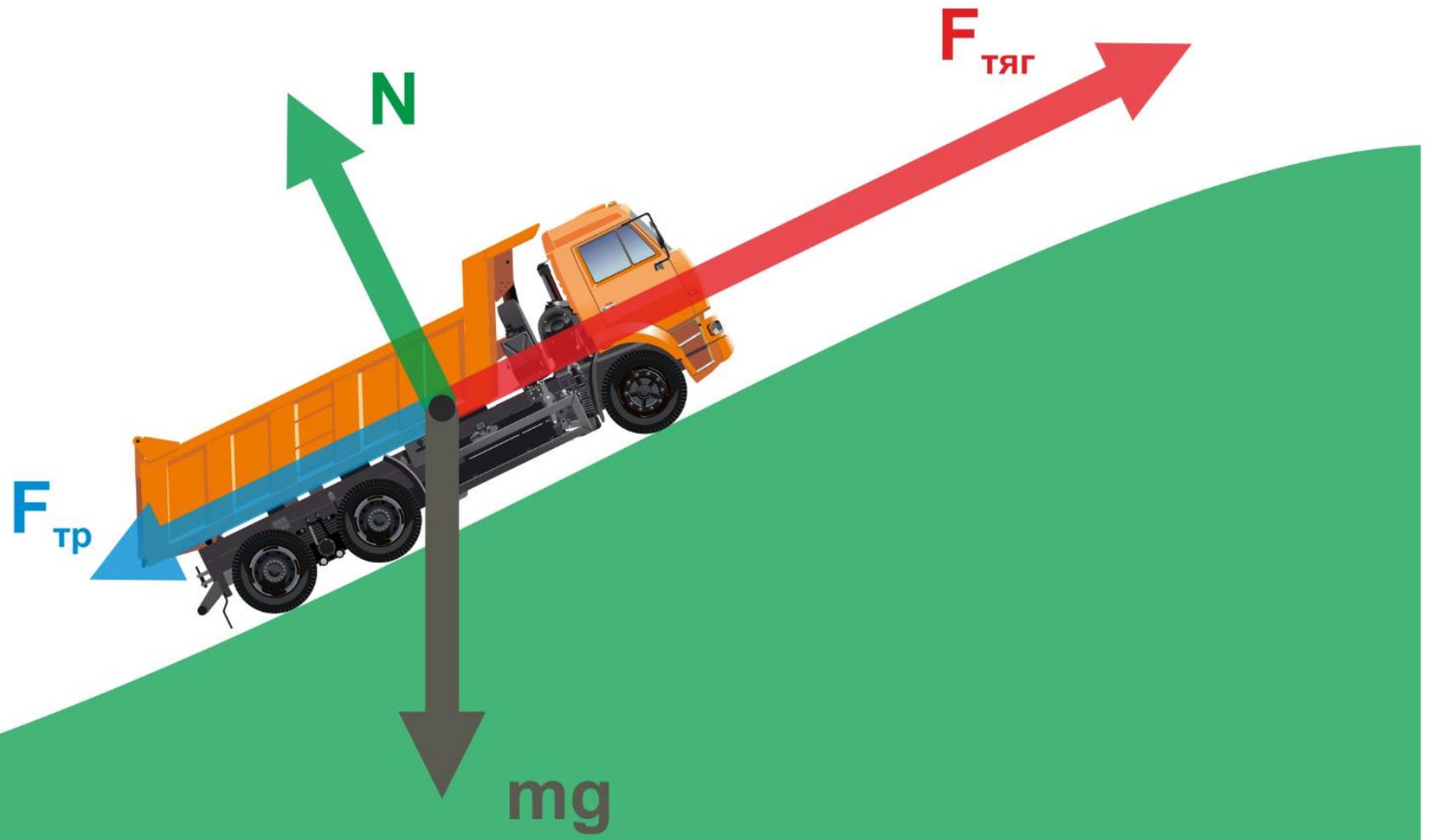


Сила реакции опоры

N

Сила трения

$$F_{\text{тр}} = -\mu N$$



Задачи динамики

Прямая задача. Найти действующую на частицу силу, если известны масса точки и зависимость от времени ее радиус-вектора

$$m, \vec{r} = \vec{r}(t) \rightarrow \vec{F}$$

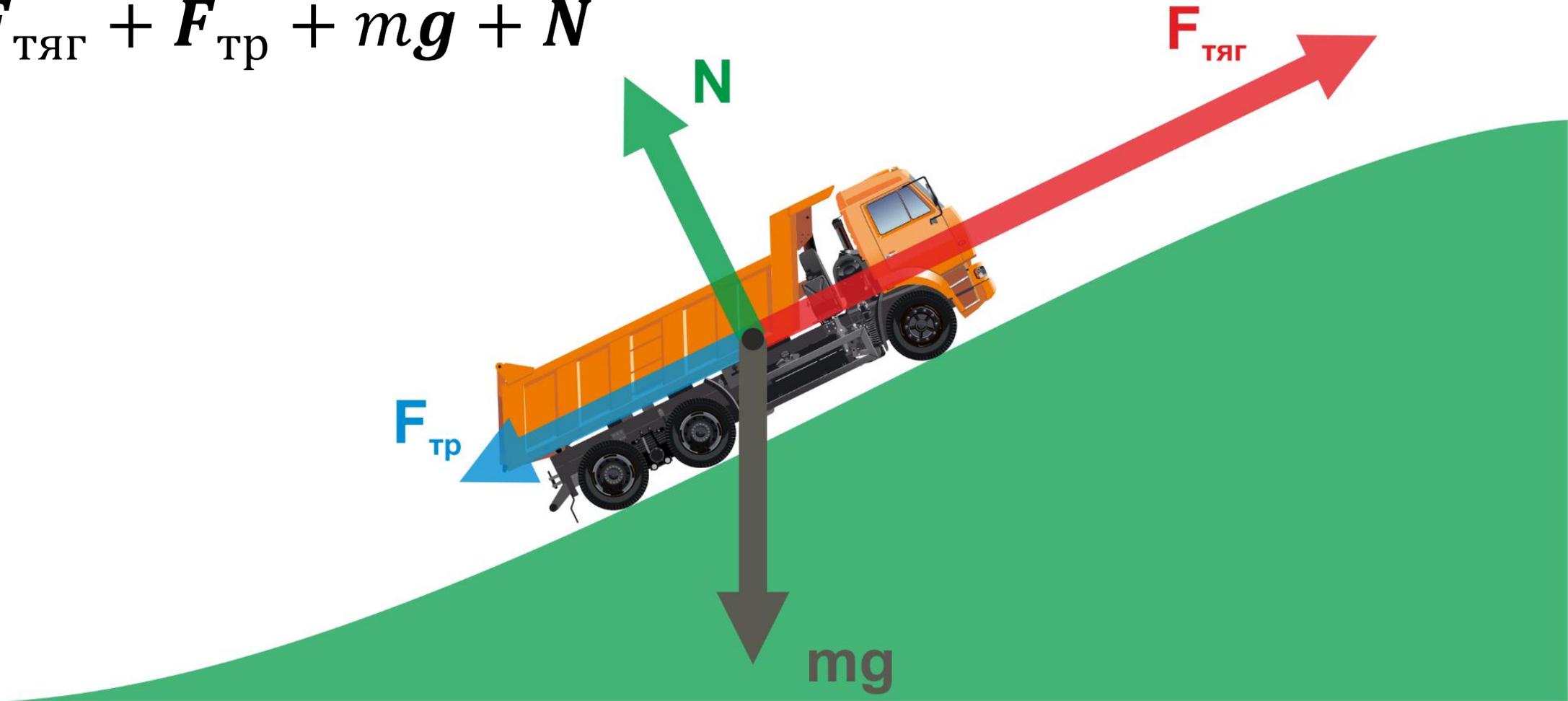
Задачи динамики

Обратная задача. Найти закон движения частицы, если известны масса частицы, действующая на нее сила и начальные условия

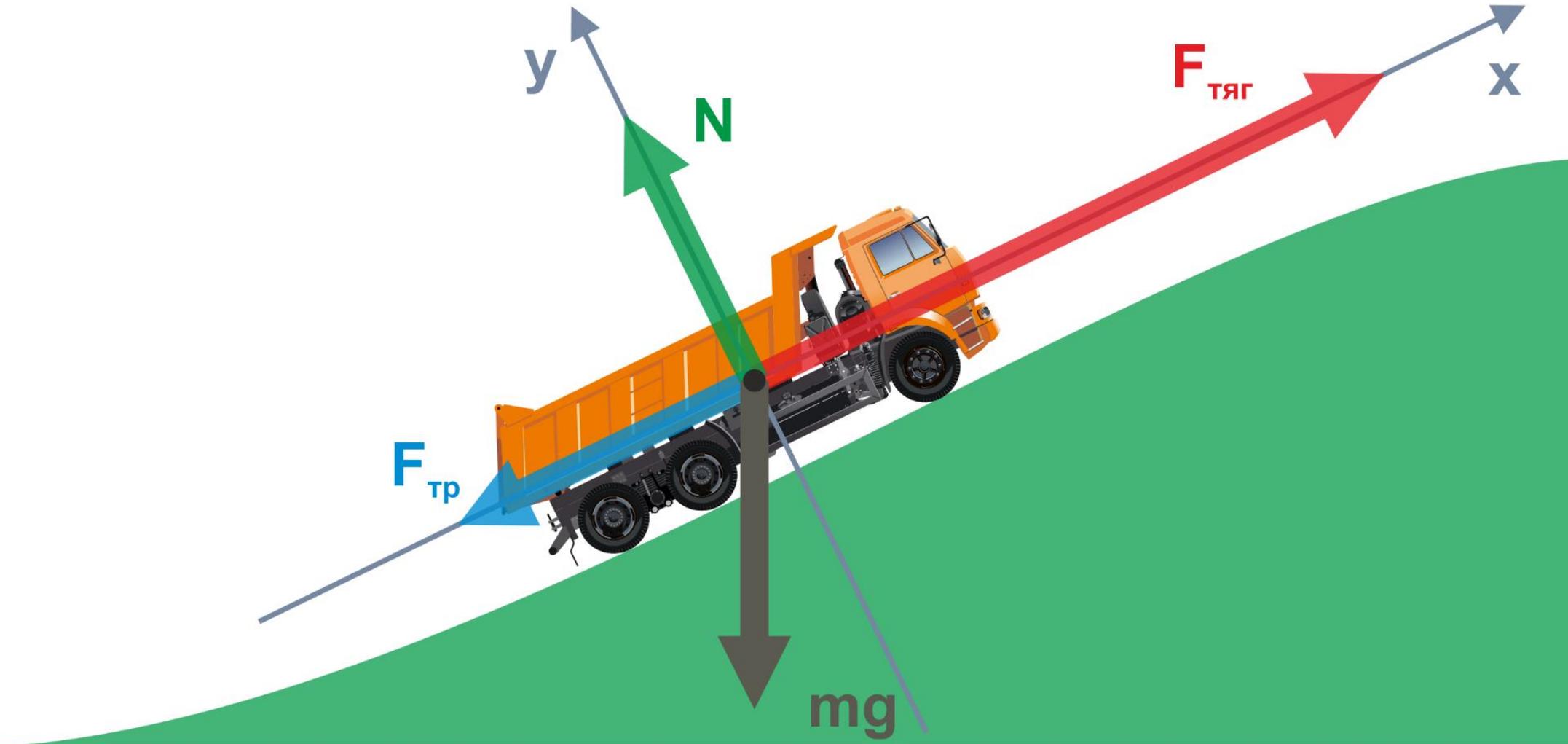
$$m, \vec{F}, \vec{r}_0 \quad \rightarrow \quad \vec{r} = \vec{r}(t)$$

$$ma = \sum F_i$$

$$ma = F_{\text{ТЯГ}} + F_{\text{тр}} + mg + N$$



$$ma = F_{\text{тяг}} + F_{\text{тр}} + mg + N$$



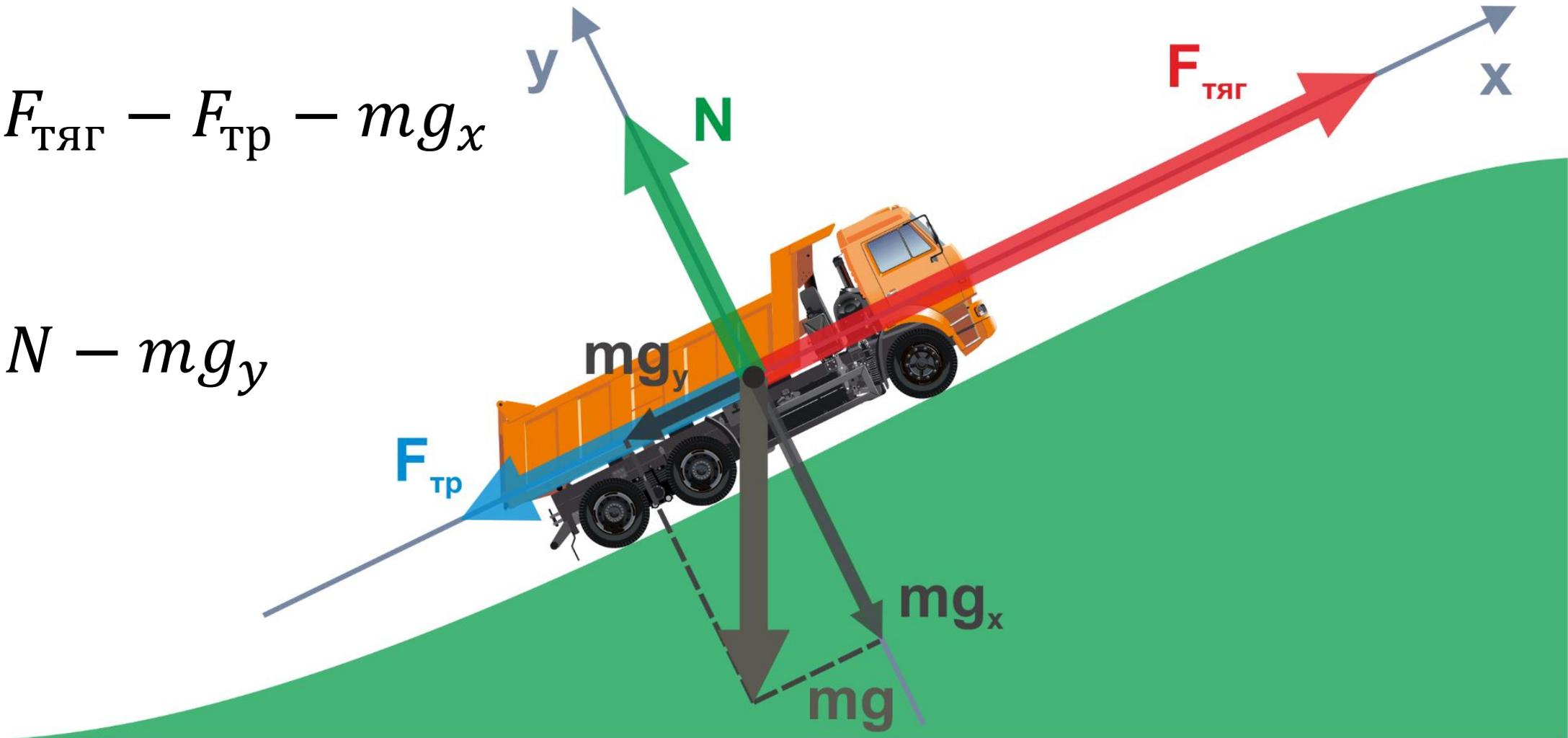
$$m\mathbf{a} = \mathbf{F}_{\text{тяг}} + \mathbf{F}_{\text{тр}} + m\mathbf{g} + \mathbf{N}$$

Ось $0x$:

$$ma_x = F_{\text{тяг}} - F_{\text{тр}} - mg_x$$

Ось $0y$:

$$ma_y = N - mg_y$$

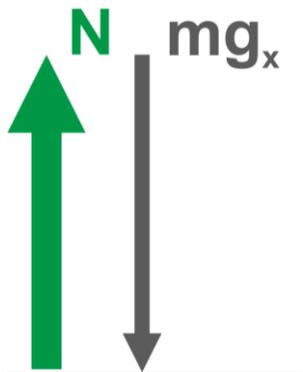
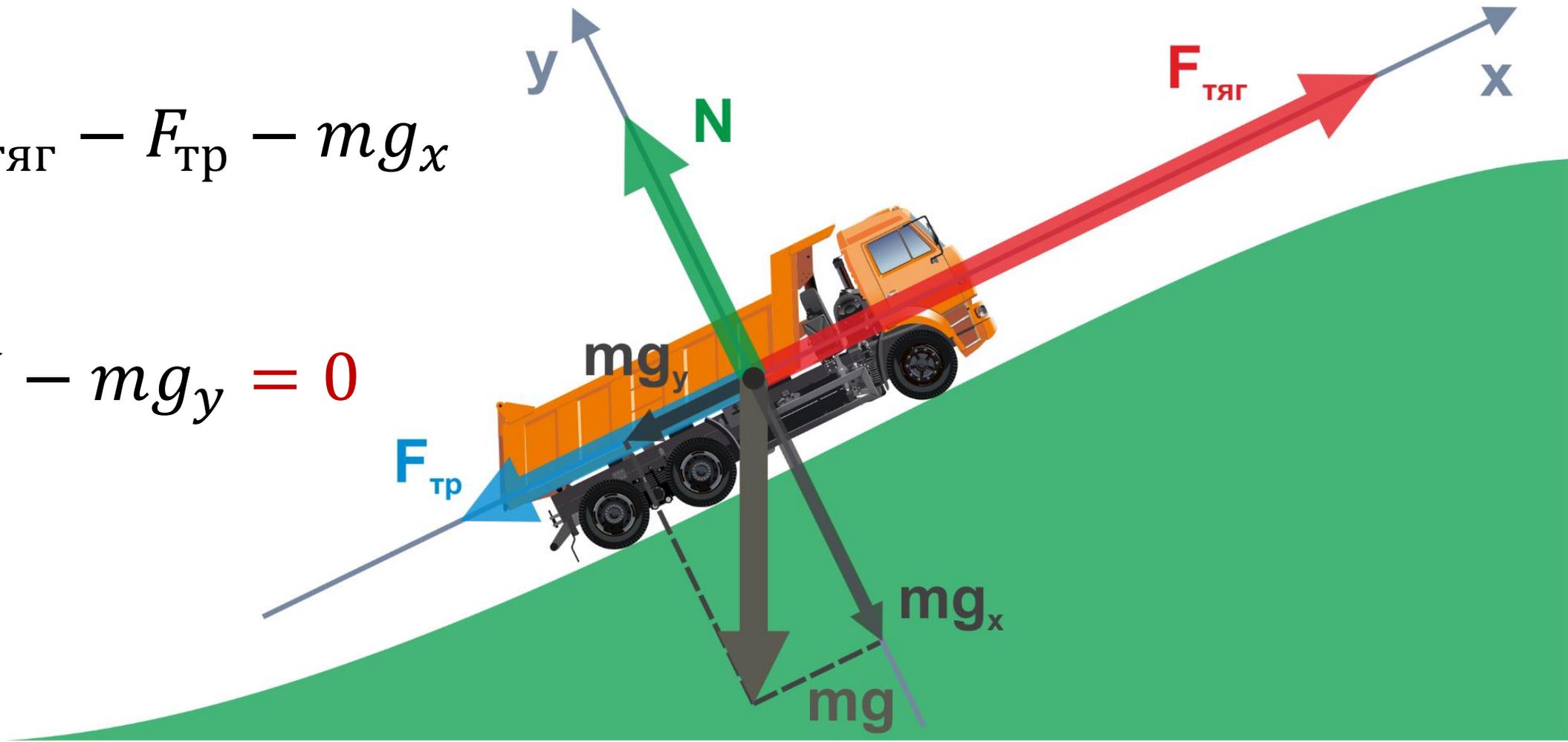


Ось Ox :

$$ma_x = F_{\text{ТЯГ}} - F_{\text{тр}} - mg_x$$

Ось Oy :

$$ma_y = N - mg_y = 0$$



Алгоритм решения задач динамики

- Запись условия
- Построение чертежа
- Выбор системы координат
- Расстановка сил
- Запись 2-го з.Н. в векторной форме
- Запись 2-го з.Н. на координатные оси
- Решение полученной системы уравнений

Система частиц

Импульс системы

$$\vec{P} = \sum_i \vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots$$

Второй закон Ньютона

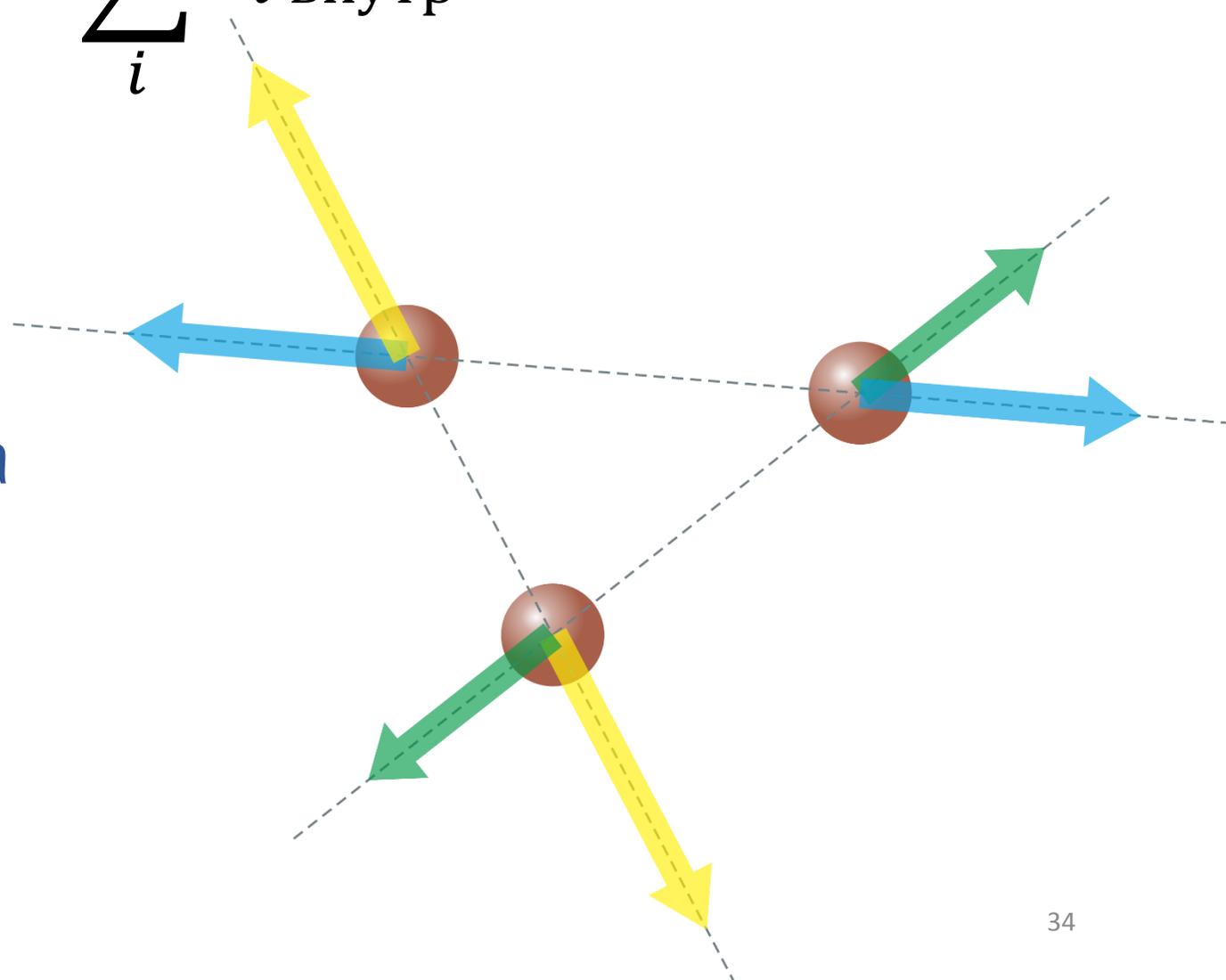
$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_{\text{внеш}} + \vec{F}_{\text{внутр}}$$

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = \sum_i \overrightarrow{F_{i \text{ внеш}}} + \sum_i \overrightarrow{F_{i \text{ внутр}}}$$

$$\sum_i \overrightarrow{F_{i \text{ внутр}}} = 0$$

Второй закон Ньютона
для системы тел

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F} = \sum_i \overrightarrow{F_{i \text{ внеш}}}$$



Центр масс (центр инерции)

– точка, характеризующая движение тела как целого

$$\vec{r}_C = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{\sum m_i} = \frac{\sum m_i \vec{r}_i}{M}$$

$$\vec{v}_C = \frac{\sum m_i \vec{v}_i}{M}$$

$$\vec{P} = M \vec{v}_C$$

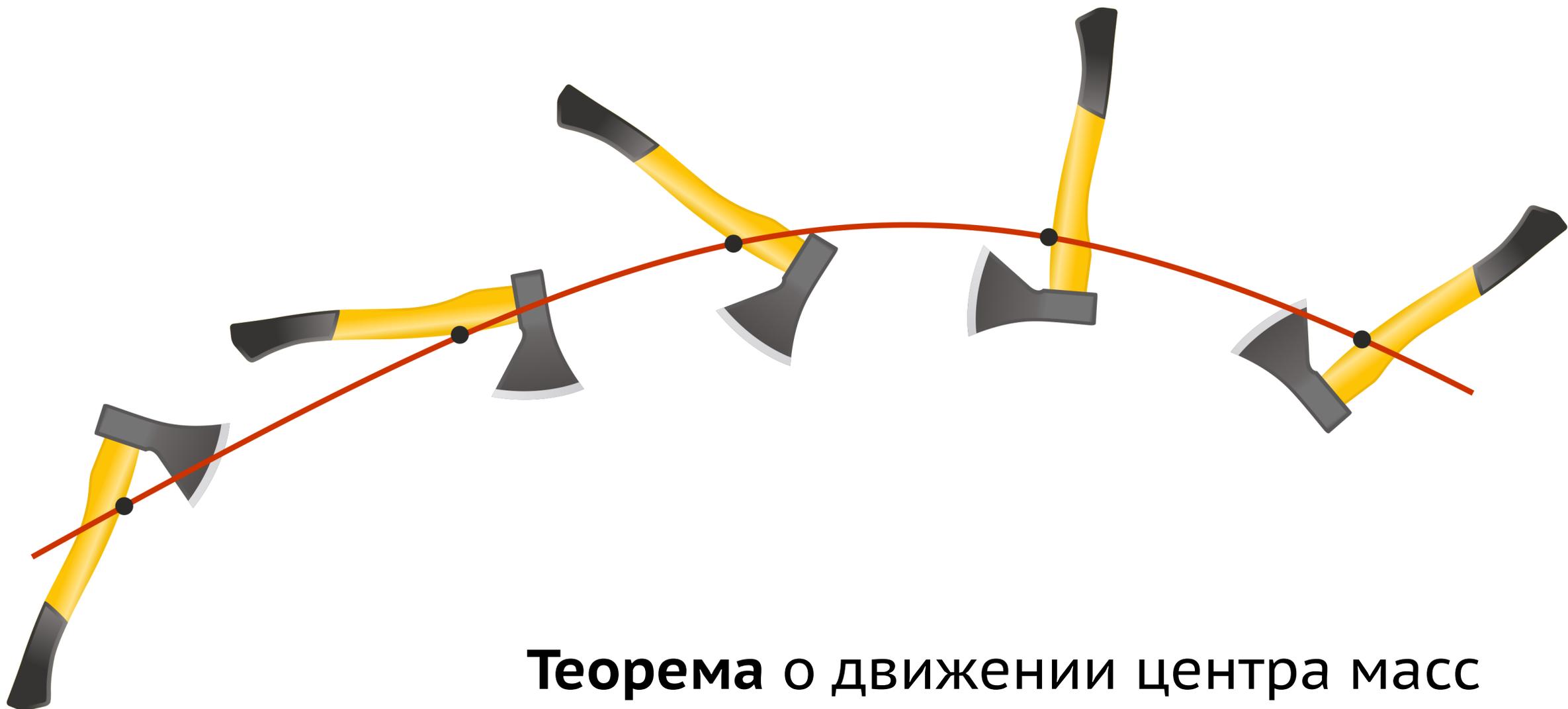


Центр масс (центр инерции)

Уравнение движения центра масс системы

$$M \frac{d\vec{v}_c}{dt} = \vec{F}_{\text{внеш}}$$

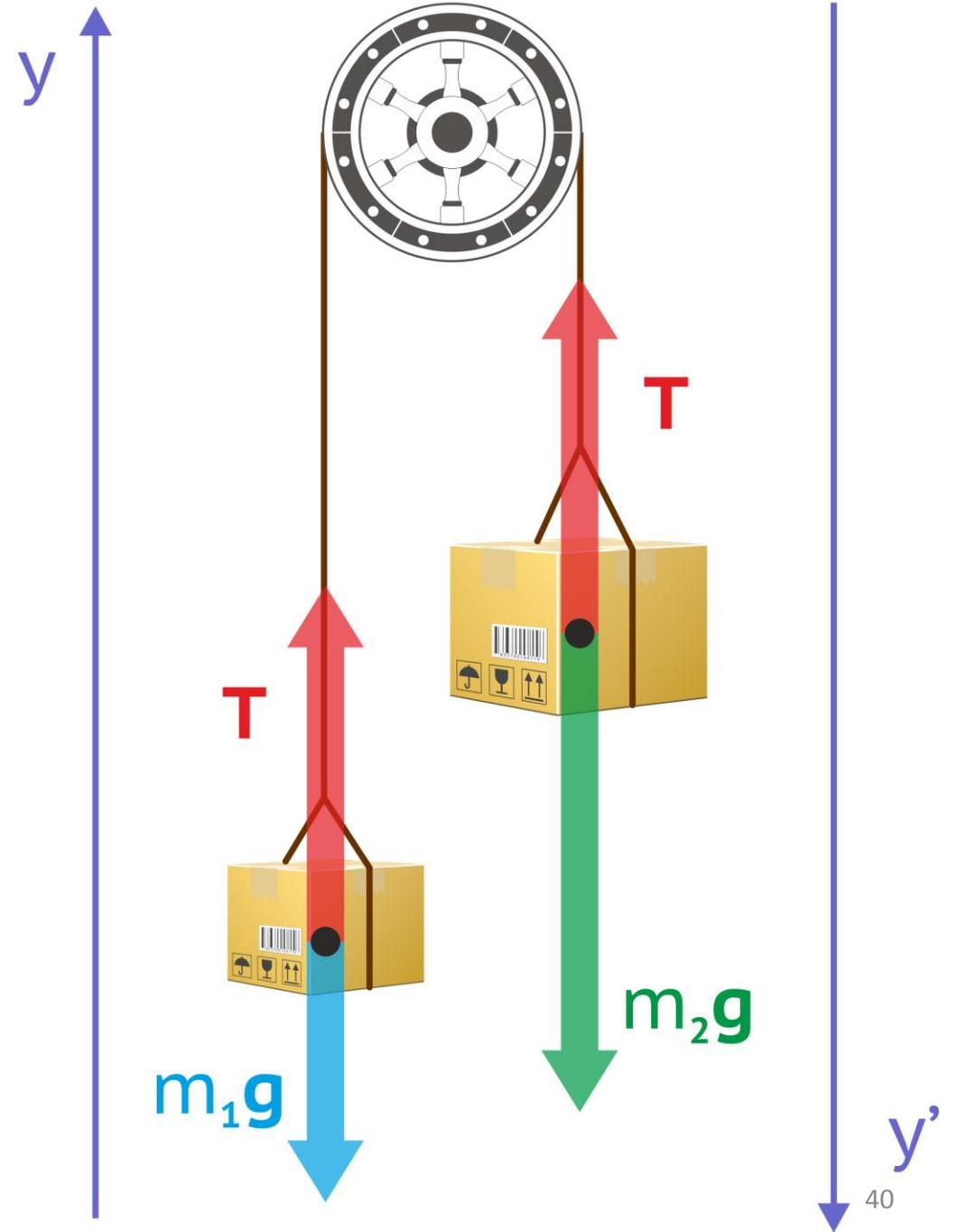
При движении любой системы частиц ее центр инерции движется так, как если бы вся масса системы была сосредоточена в этой точке и к ней были бы приложены все внешние силы, действующие на систему



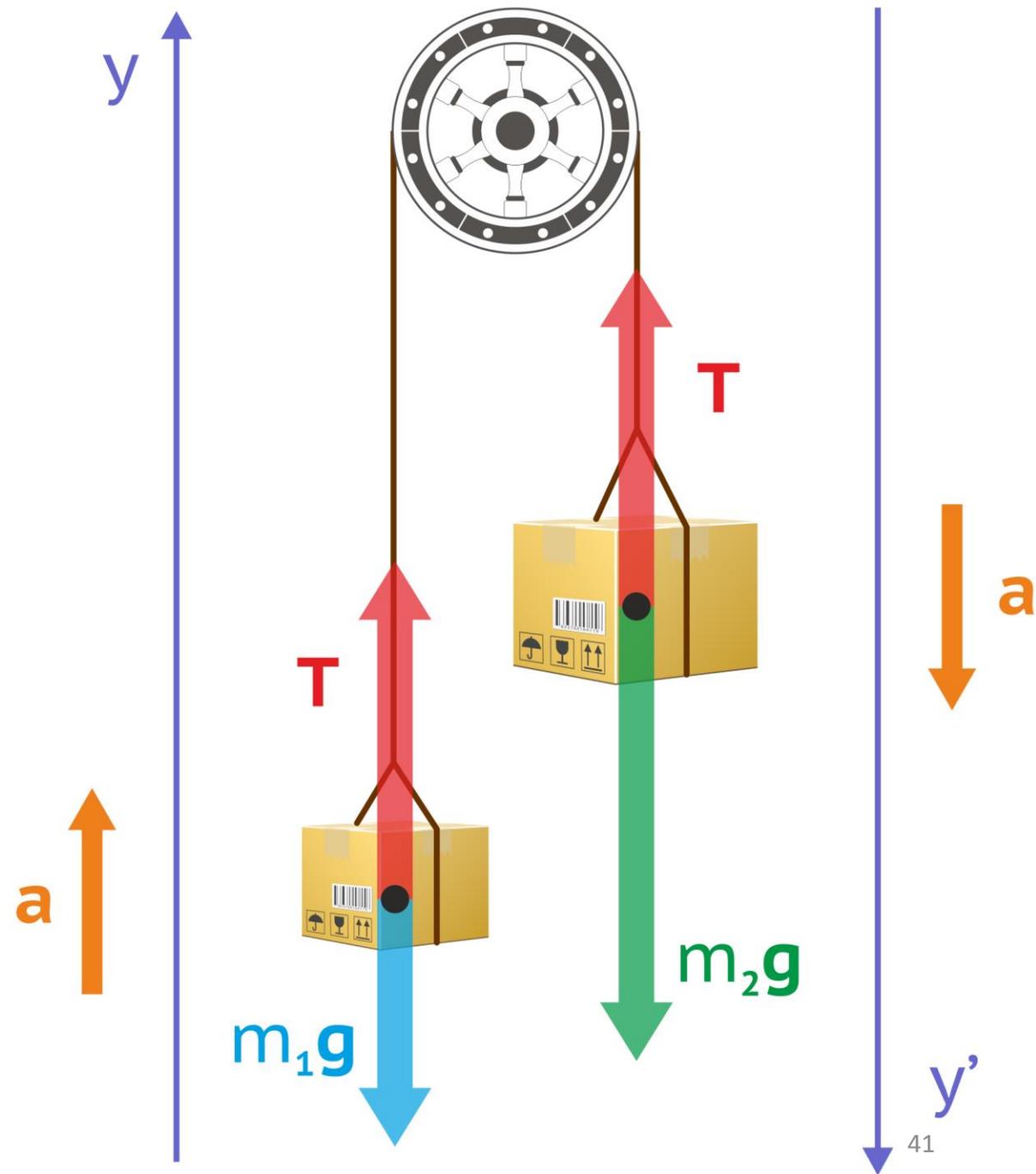
Теорема о движении центра масс







$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$
$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$



$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$

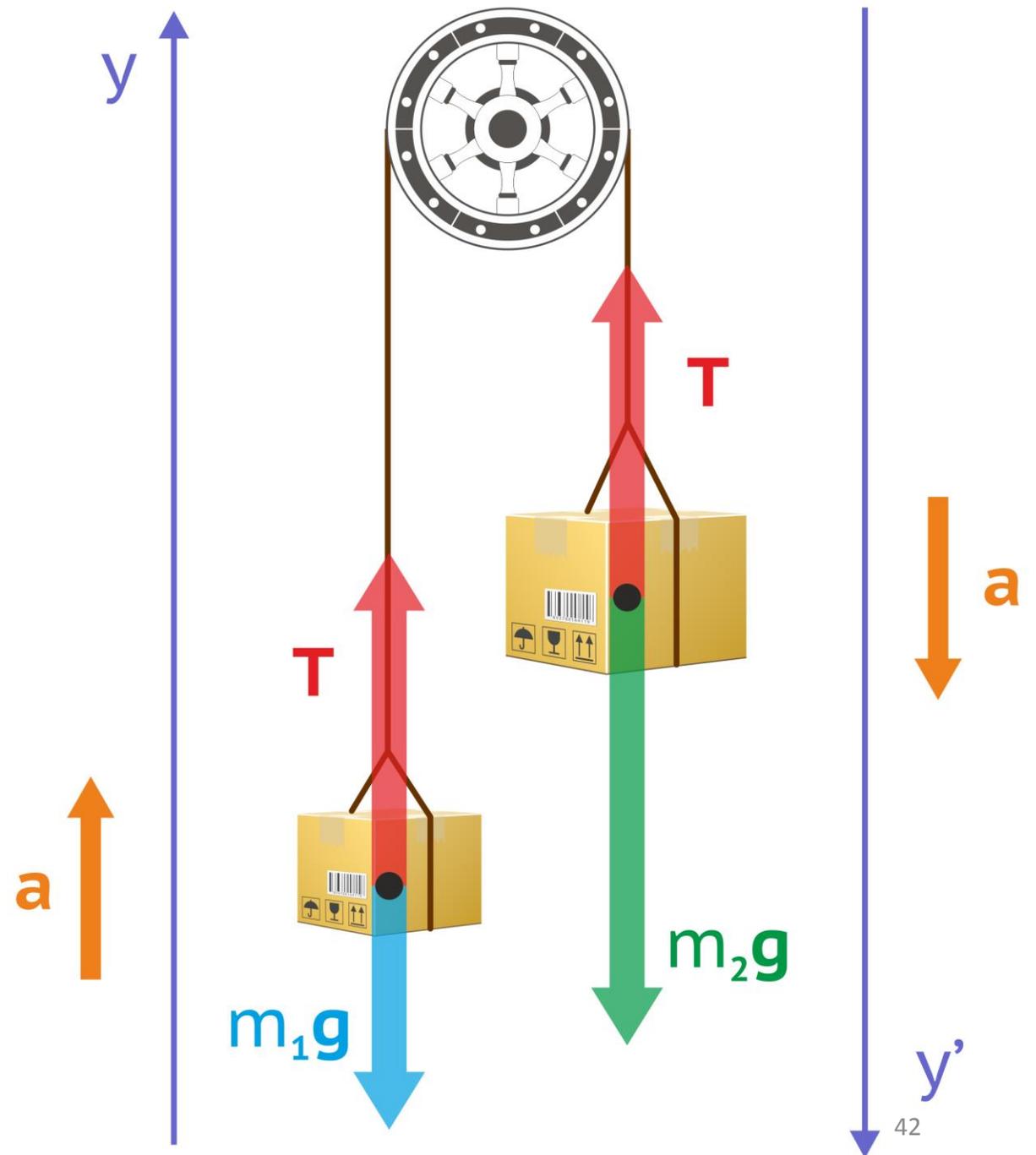
$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$

Ось $0\mathbf{y}$

$$m_1 a = -m_1 g + T$$

Ось $0\mathbf{y}'$

$$m_2 a = m_2 g - T$$



$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$

$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$

Ось $0\mathbf{y}$

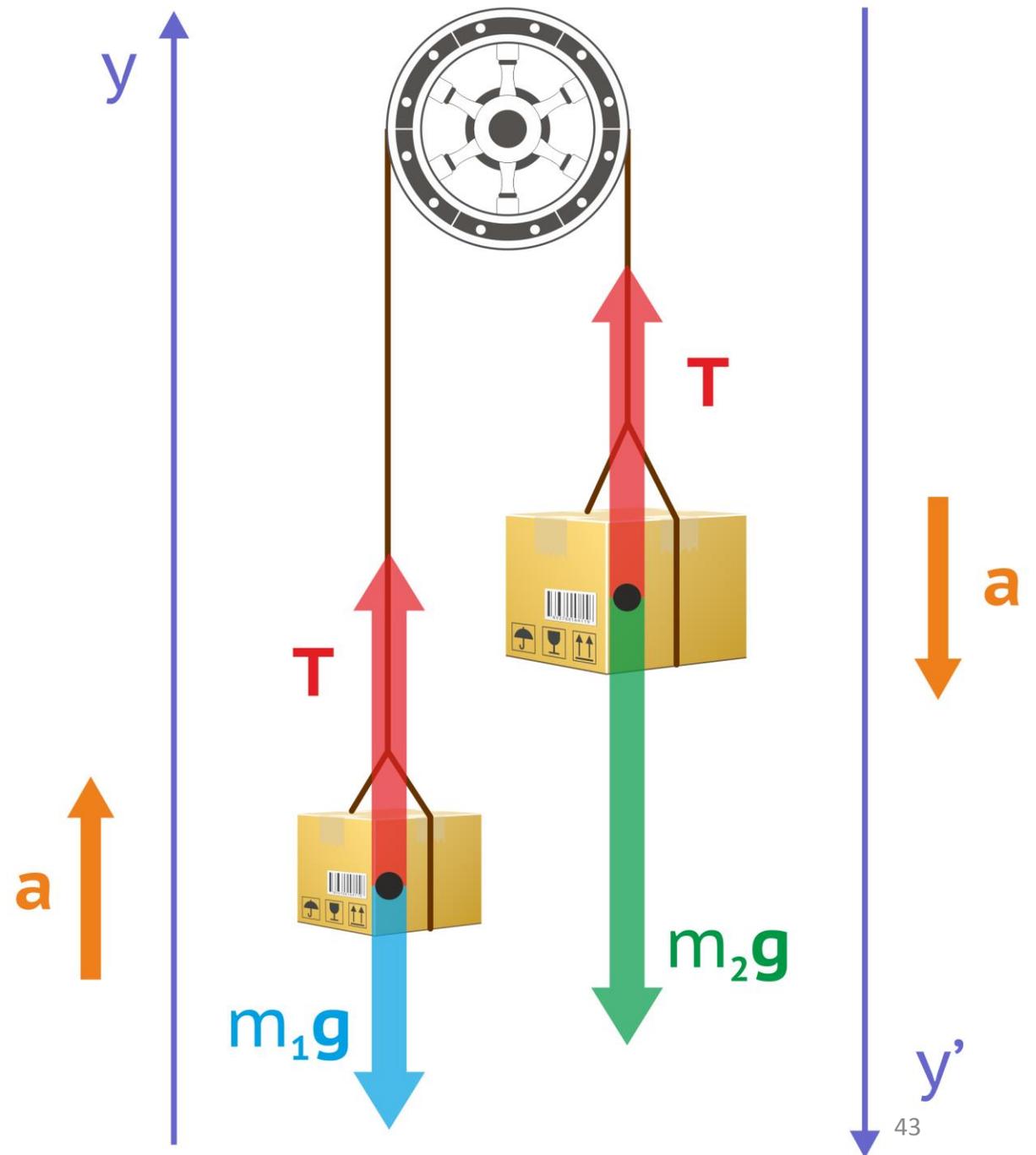
$$m_1 a = -m_1 g + T$$

Ось $0\mathbf{y}'$

$$m_2 a = m_2 g - T$$

$$T = m_1 a + m_1 g$$

$$T = -m_2 a + m_2 g$$



$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$

$$m_1 \mathbf{a} = m_1 \mathbf{g} + \mathbf{T}$$

Ось $0\mathbf{y}$

$$m_1 a = -m_1 g + T$$

Ось $0\mathbf{y}'$

$$m_2 a = m_2 g - T$$

$$T = m_1 a + m_1 g$$

$$T = -m_2 a + m_2 g$$

$$m_1 a + m_1 g = -m_2 a + m_2 g$$

$$a(m_1 + m_2) = g(m_2 - m_1)$$

