

Механика

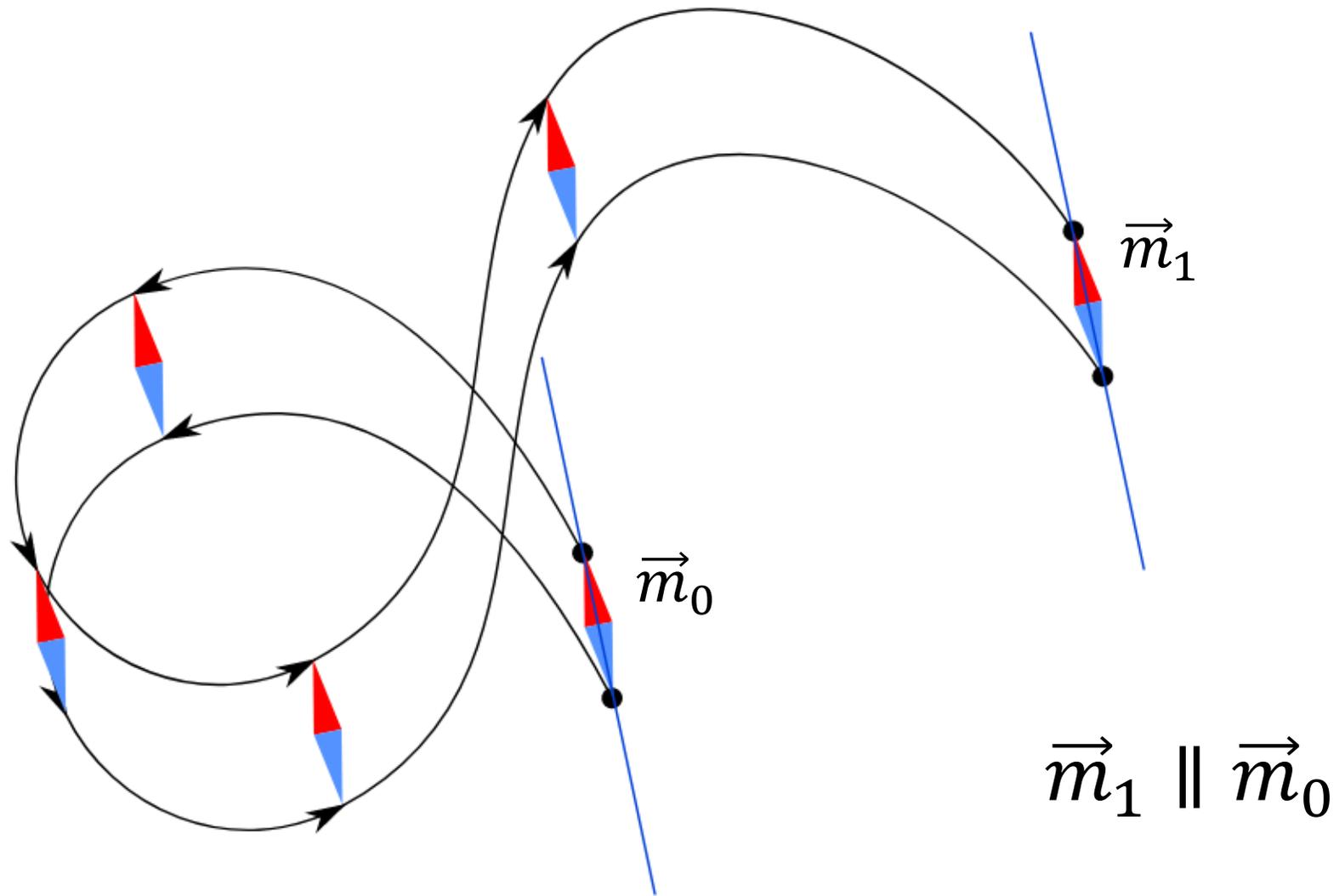
Лекция 2



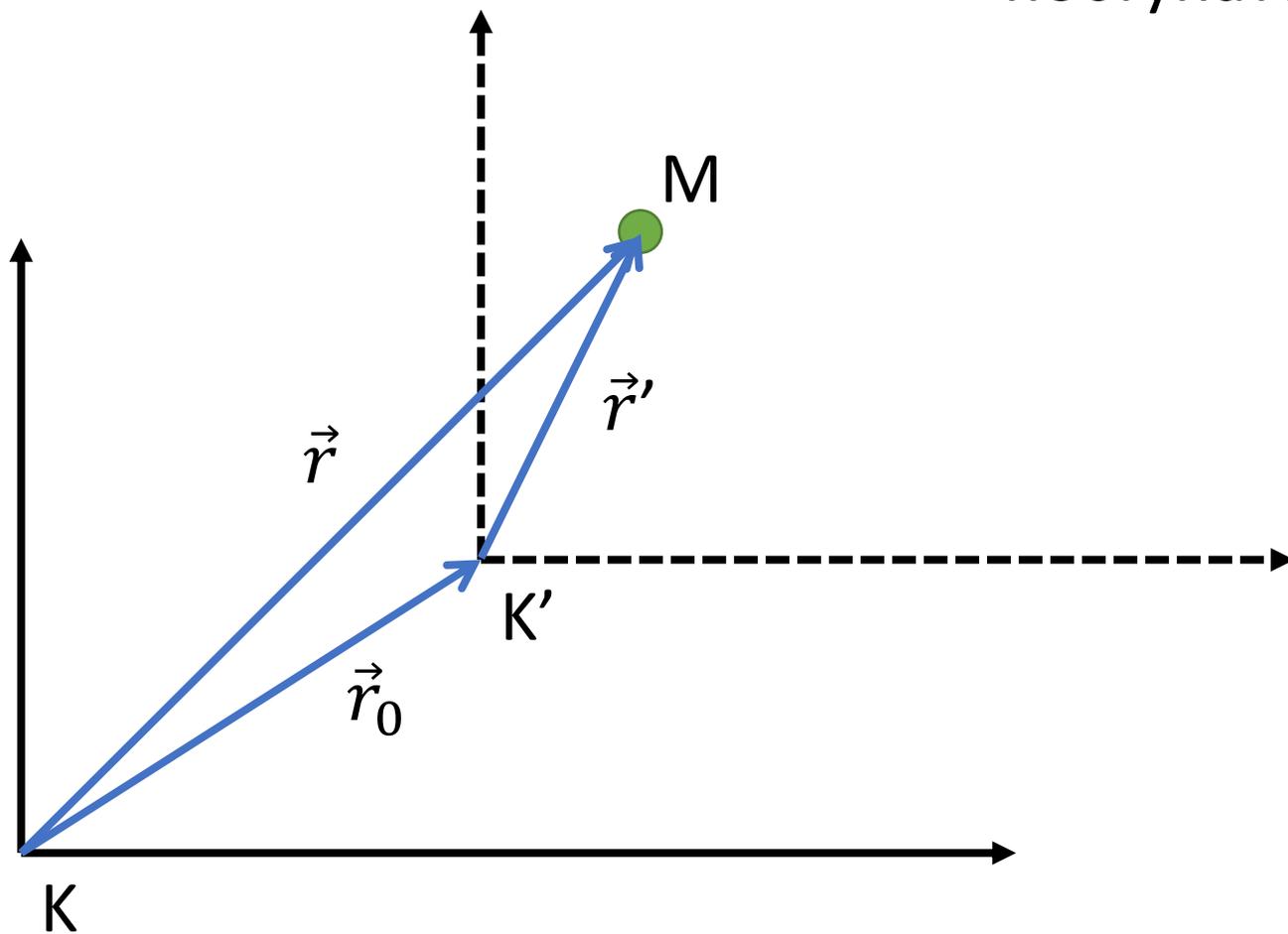
Принцип суперпозиции движений

Принцип суперпозиции движений – в случае поступательного движения системы отсчета K' относительно системы K радиус-вектор (скорость, ускорение) произвольной материальной точки относительно системы K равен сумме радиус-векторов (скоростей, ускорений) начала отсчета O' системы K' и той же материальной точки относительно системы K' .

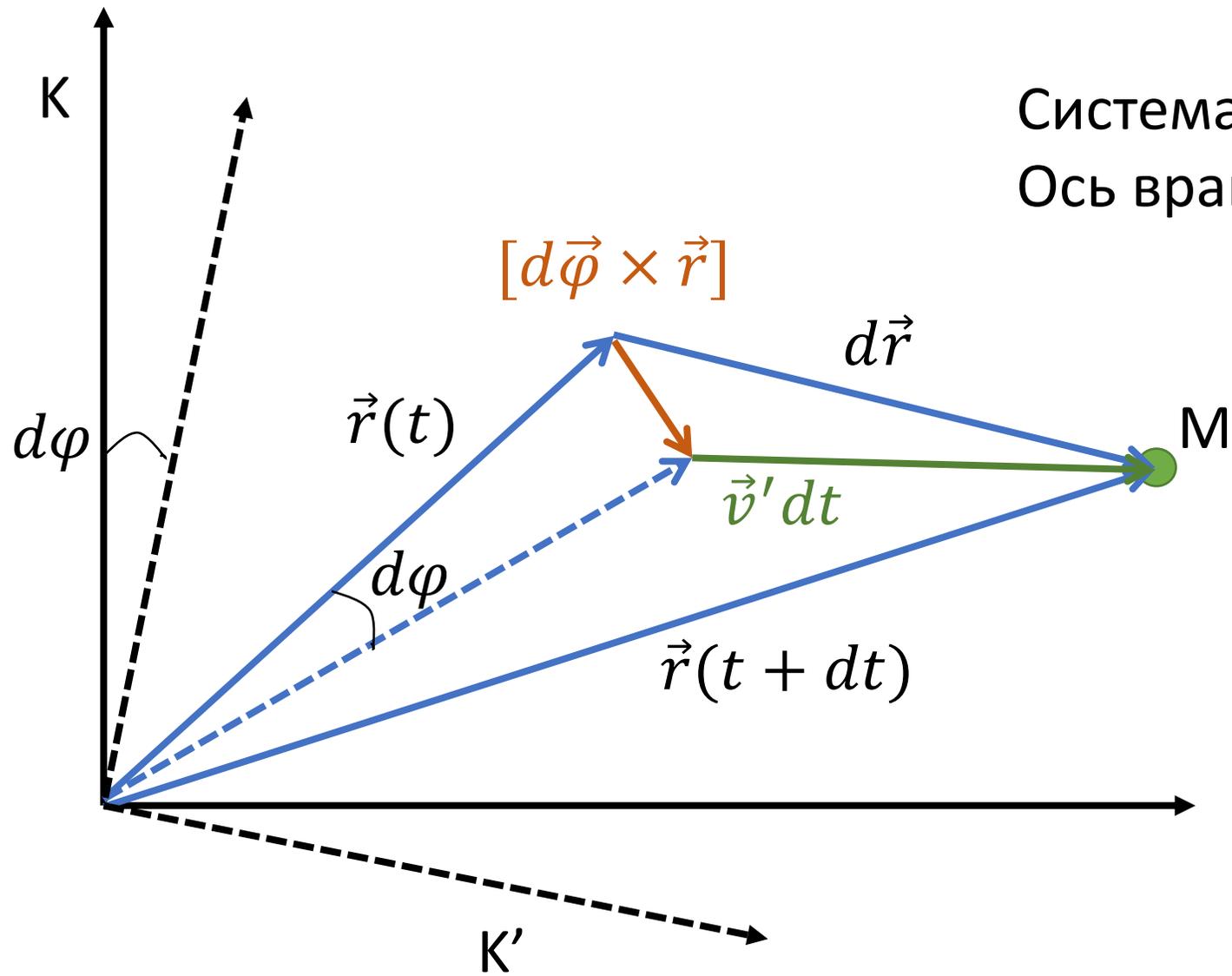
Поступательное движение



Система K' движется
поступательно относительно K



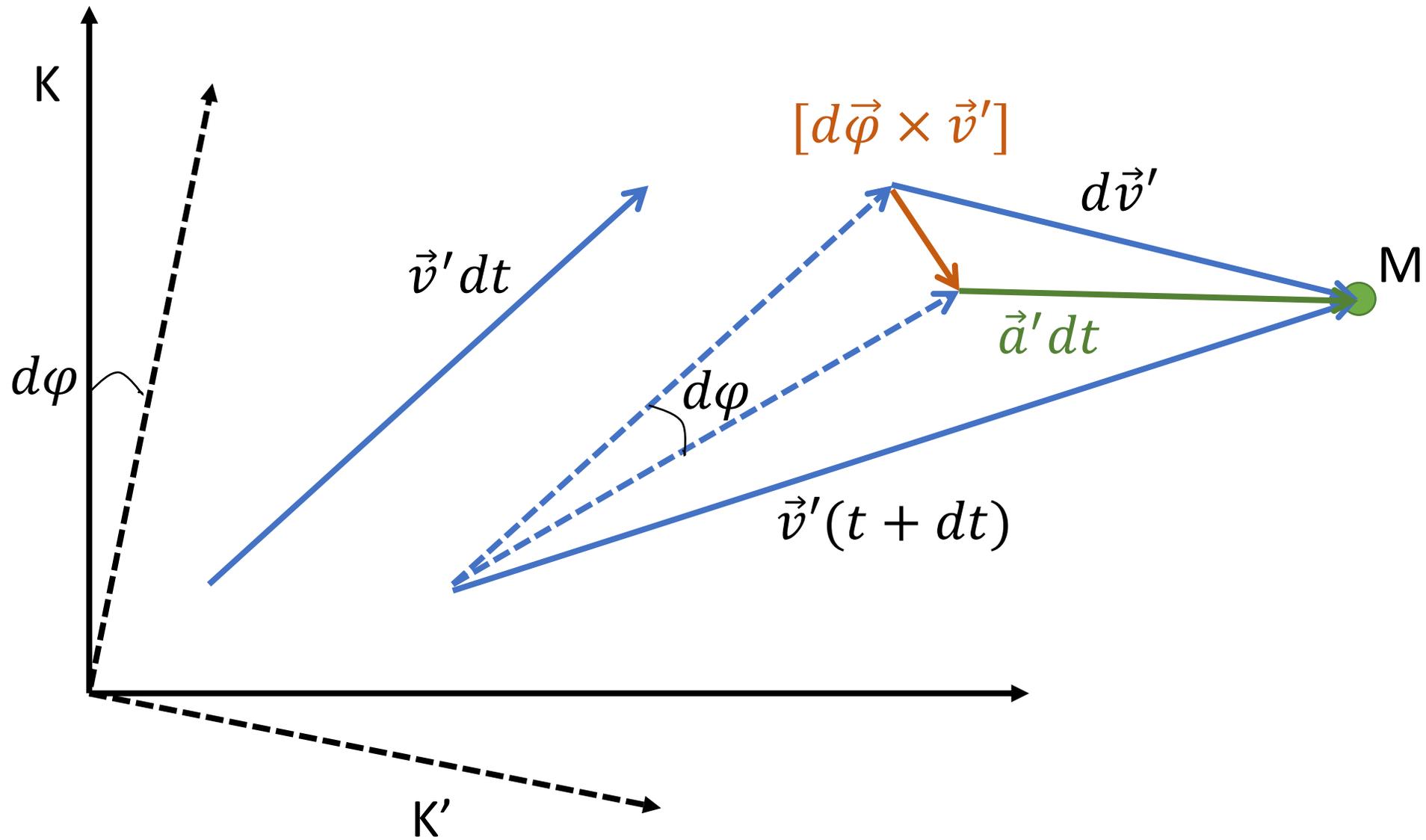
$$\begin{aligned}\vec{r} &= \vec{r}_0 + \vec{r}' \\ \vec{v} &= \vec{v}_0 + \vec{v}' \\ \vec{a} &= \vec{a}_0 + \vec{a}'\end{aligned}$$



Система K' вращается относительно K
 Ось вращения - Oz

$$\vec{r}(t) = \vec{r}'(t)$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}' + [\vec{\omega} \times \vec{r}]$$



$$\vec{a} = \vec{a}' + 2[\vec{\omega} \times \vec{v}'] + [\vec{\beta} \times \vec{r}] + [\vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{r}]]$$

Уравнения кинематической связи

Уравнения кинематической связи – уравнения, связывающие кинематические характеристики различных тел системы.

- Способ 1. Принцип независимых перемещений.
- Способ 2. Постоянство кинематических характеристик связей.

Уравнения кинематической связи

- Способ 1. Принцип независимых перемещений
 - Перемещение какого-либо тела в системе связанных тел складывается из так называемых «независимых» перемещений, каждое из которых обусловлено (вызвано) перемещением соответствующего другого тела системы при покое остальных тел.
- Способ 2. Постоянство кинематических характеристик связей
 - В этом случае записывают величины постоянных кинематических характеристик элементов связей (нитей, штанг и т.д.) через координаты тел системы, используя свойства этих элементов (нерастяжимость, неподвижность, недеформируемость), и дифференцируют эти величины по времени для определения связей между скоростями и ускорениями.

План лекции

- Инерциальные системы отсчета. Преобразования Галилея.
- Понятия массы, импульса и силы в механике Ньютона.
- Законы Ньютона. Уравнение движения. Начальные условия.
- Законы, описывающие индивидуальные свойства сил. Закон всемирного тяготения. Закон Гука. Законы для сил сухого и вязкого трения.
- Явление застоя. Явление заноса.

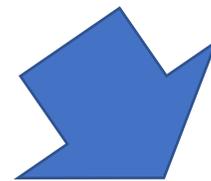
Динамика МТ и ПС

- **Кинемáтика** ([греч.](#) κινεῖν — двигаться) — раздел механики, в котором изучают движения тел и не интересуются причинами, вызывающими эти движения.
- **Динáмика** ([греч.](#) δύναμις — сила, мощь) — раздел механики, в котором изучаются причины возникновения механического движения.

Рассмотрим ускорение некоторого тела относительно произвольной системы отсчета.

Какова же причина этого ускорения?

Опыт показывает, что ускорение возникает вследствие

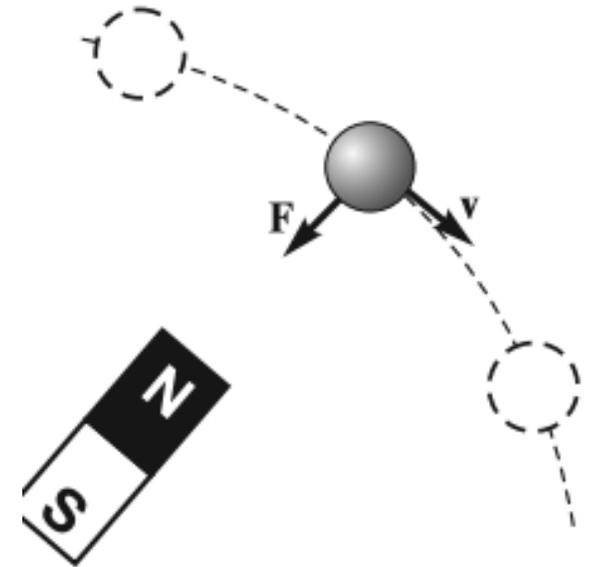
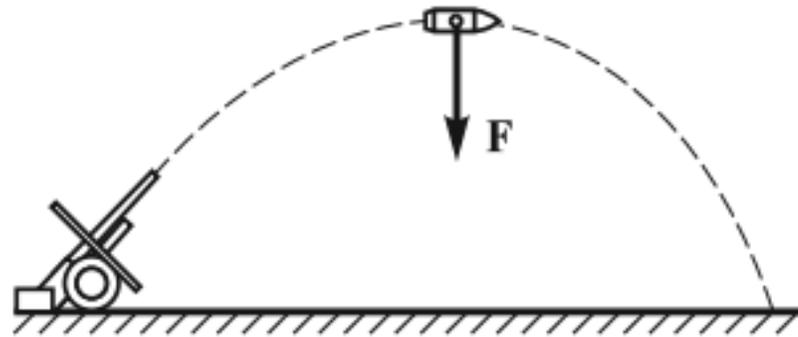
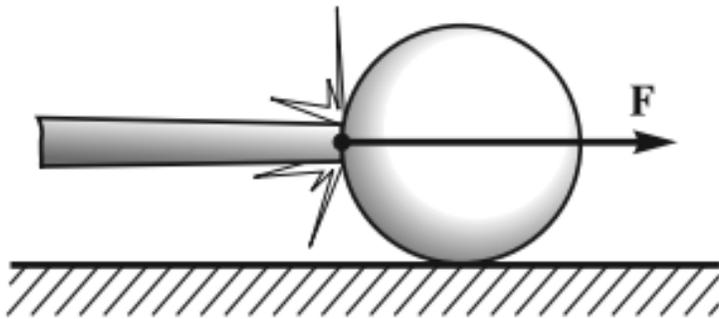


Взаимодействия тела
с другими телами

За счет свойств самой
системы отсчета

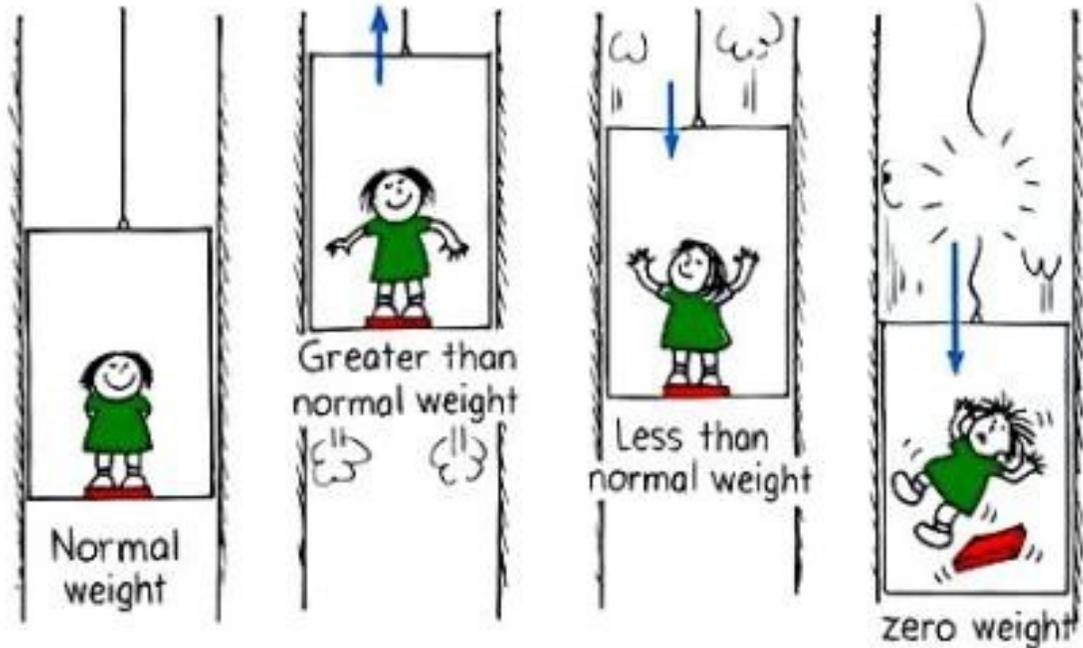
Примеры

В лабораторной системе отсчета, связанной с неподвижной относительно Земли лабораторией, мы приходим к выводу, что их движение вызывается или изменяется в результате взаимодействия с другими телами.



Примеры

В других случаях дело обстоит иначе.



Инерциальные системы отсчета

Первый закон Ньютона. Существуют такие системы отсчета, относительно которых изолированная материальная точка (на которую не действуют силы) движется равномерно и прямолинейно или покоится.

Инерциальная система отсчета - система отсчета, относительно которой изолированная материальная точка движется равномерно и прямолинейно или покоится.

Отнюдь не все СО – инерциальные! Наоборот!

Свойства ИСО

1. Причина появления ускорения – взаимодействие тел.
2. Если относительно ИСО другая СО движется равномерно и прямолинейно, она тоже ИСО.
3. Преобразования Галилея:

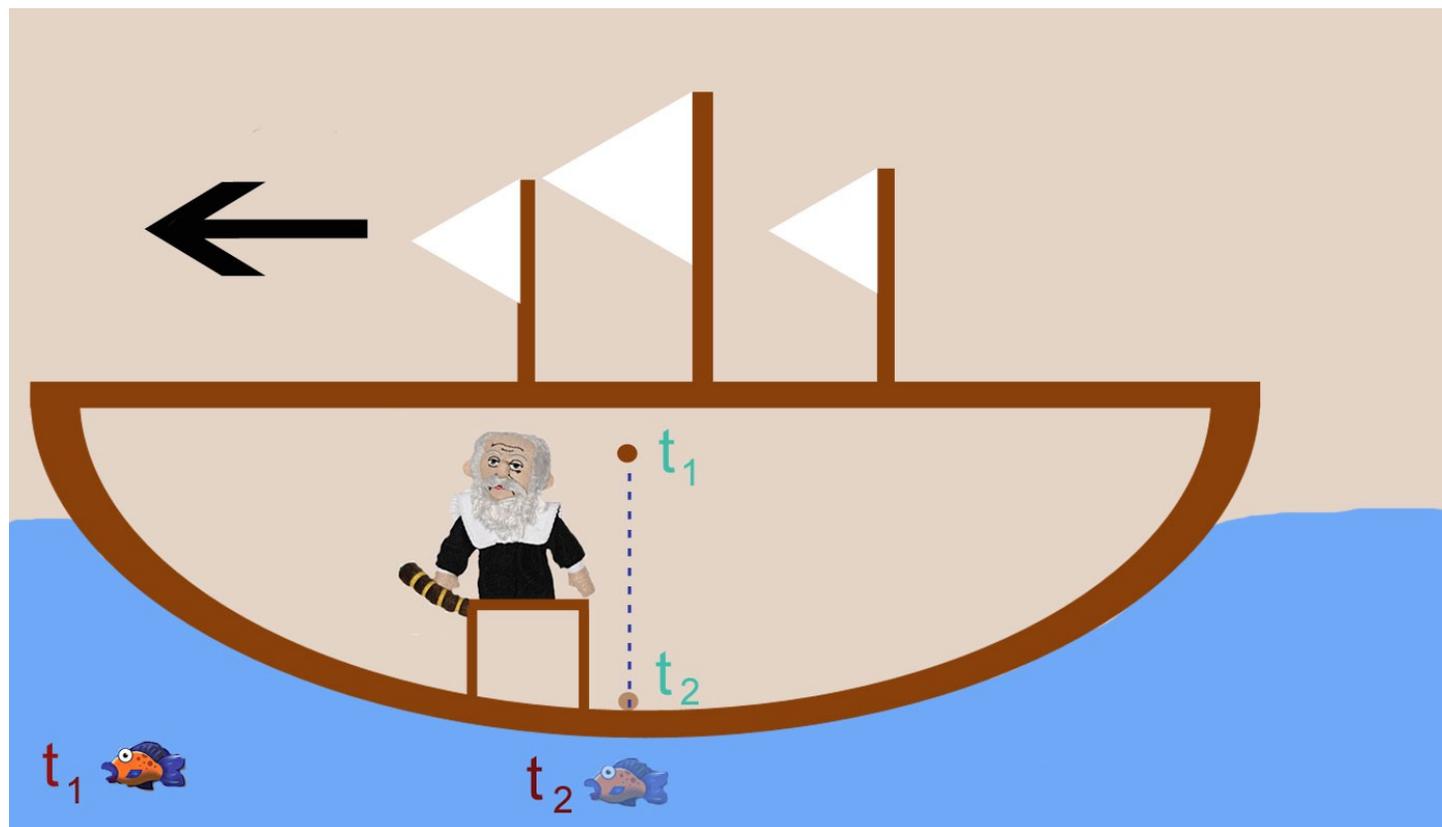
$$\vec{r} = \vec{v}t + \vec{r}' \Leftrightarrow \begin{cases} x = v_x t + x' \\ y = v_y t + y' \\ z = v_z t + z' \\ t = t' \end{cases}$$

Инварианты ПГ: длина, временной интервал, ускорение

Принцип относительности Галилея

Если в двух замкнутых лабораториях, одна из которых равномерно прямолинейно (и поступательно) движется относительно другой, провести одинаковый механический эксперимент, результат будет одинаковым.

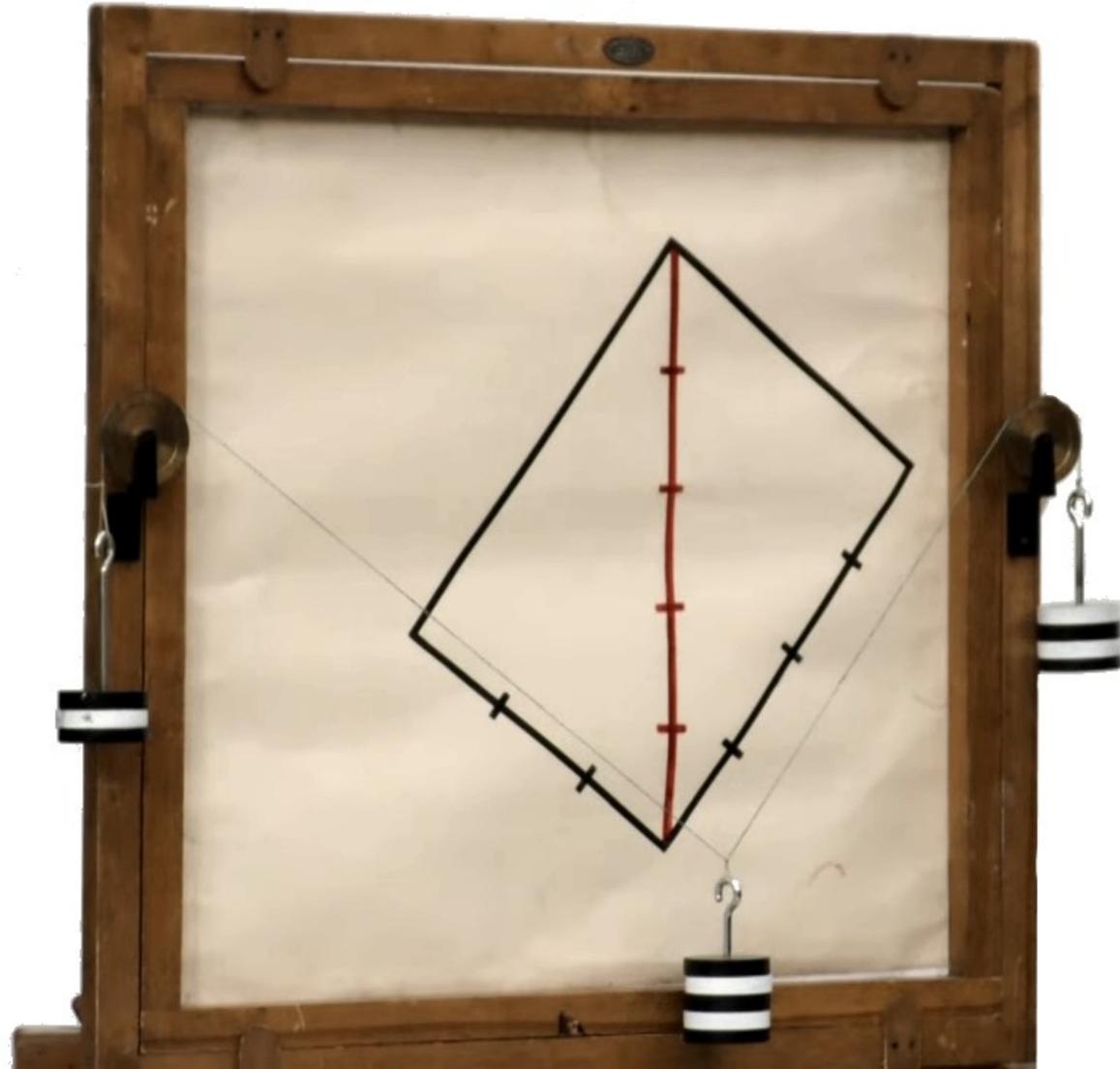
Все механические явления в любых ИСО происходят одинаково – подчиняясь одинаковым законам.



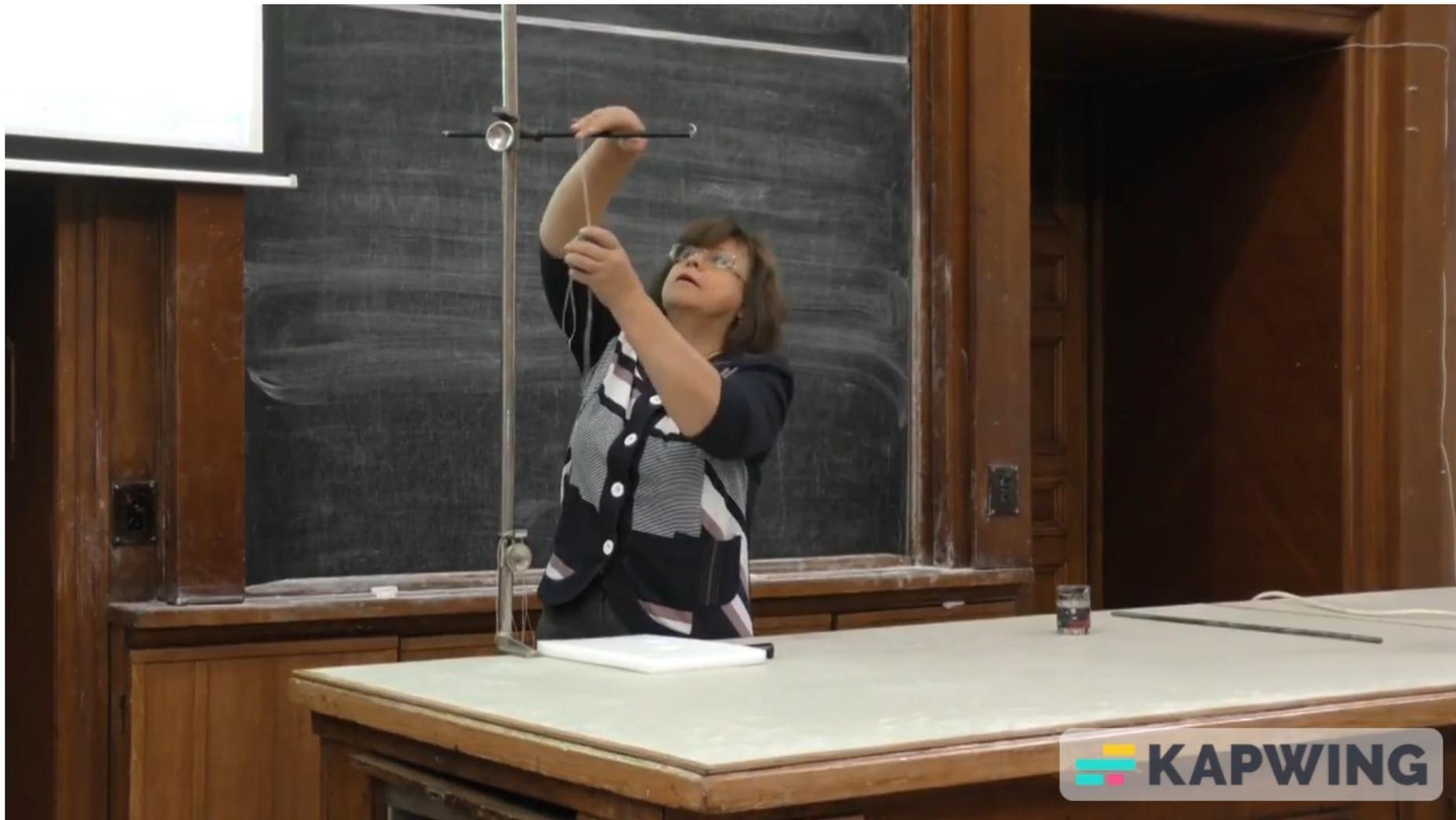
Понятия силы, массы и импульса

- **Сила** – мера взаимодействия тел;
количественная характеристика величины взаимодействия тел;
векторная физическая величина.
- **Масса (инертная масса)** – мера инертности тела при
поступательном движении;
скалярная физическая величина; аддитивная величина.
- **Инертность** – свойство тела сохранять состояние покоя или
равномерного прямолинейного движения и противиться
попыткам изменения этого состояния.
- **Импульс** $\vec{p} = m\vec{v}$ – векторная величина.

Сложение сил (правило параллелограмма)



Инерция висящей гири, дисков в стопке



Второй закон Ньютона

Второй закон Ньютона. В инерциальной системе отсчета произведение массы материальной точки на ее ускорение равно сумме всех сил, действующих на эту материальную точку со стороны других тел

- **Прямая задача динамики** – найти закон движения точки, если известны ее масса и действующая на нее сила F .
- **Обратная задача динамики** – найти действующую на точку силу F , если известны масса и закон движения.

Уравнение движения – второй закон Ньютона, записанный в векторной форме или в проекциях на оси инерциальной системы отсчета.

Третий закон Ньютона

Силы взаимодействия двух материальных точек в инерциальной системе отсчета:

1. равны по модулю,
2. противоположны по направлению,
3. направлены вдоль прямой, соединяющей материальные точки
4. парные и приложены к разным материальным точкам,
5. одной природы.

Законы динамики – это законы Ньютона и законы, описывающие индивидуальные свойства сил.

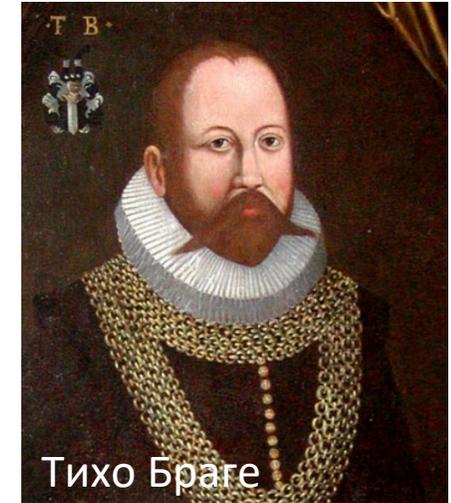
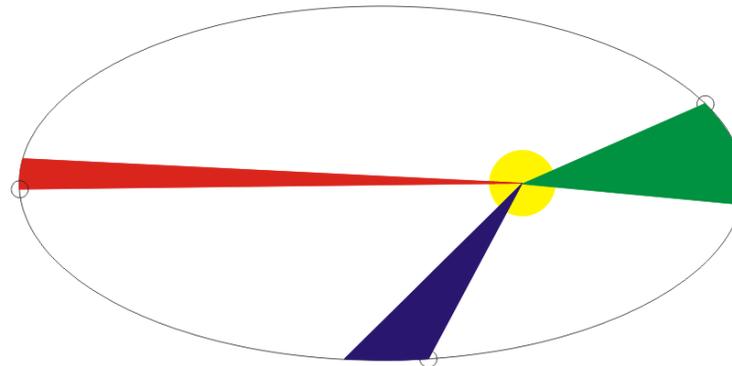
Законы, описывающие индивидуальные силы

- Закон притяжения
- Закон Гука (сила упругости)
- Закон Кулона
- Закон Архимеда
- Закон Амонтона-Кулона (сила трения)

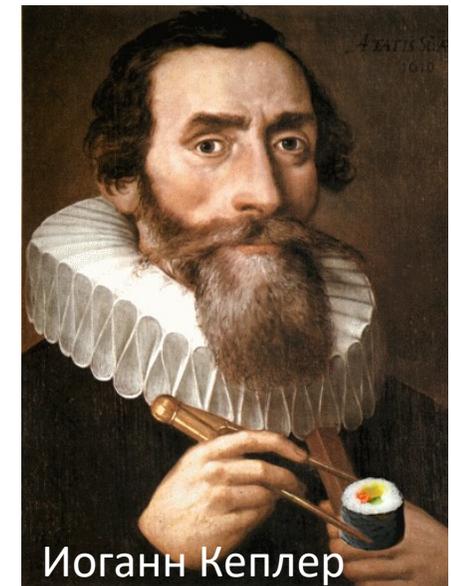
Законы Кеплера (1609-1619)

1. Каждая планета Солнечной системы движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце.
2. Радиус-вектор, соединяющий планету и Солнце, описывает («заметает») в равные промежутки времени равные площади.
3. Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей орбит планет.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3}$$

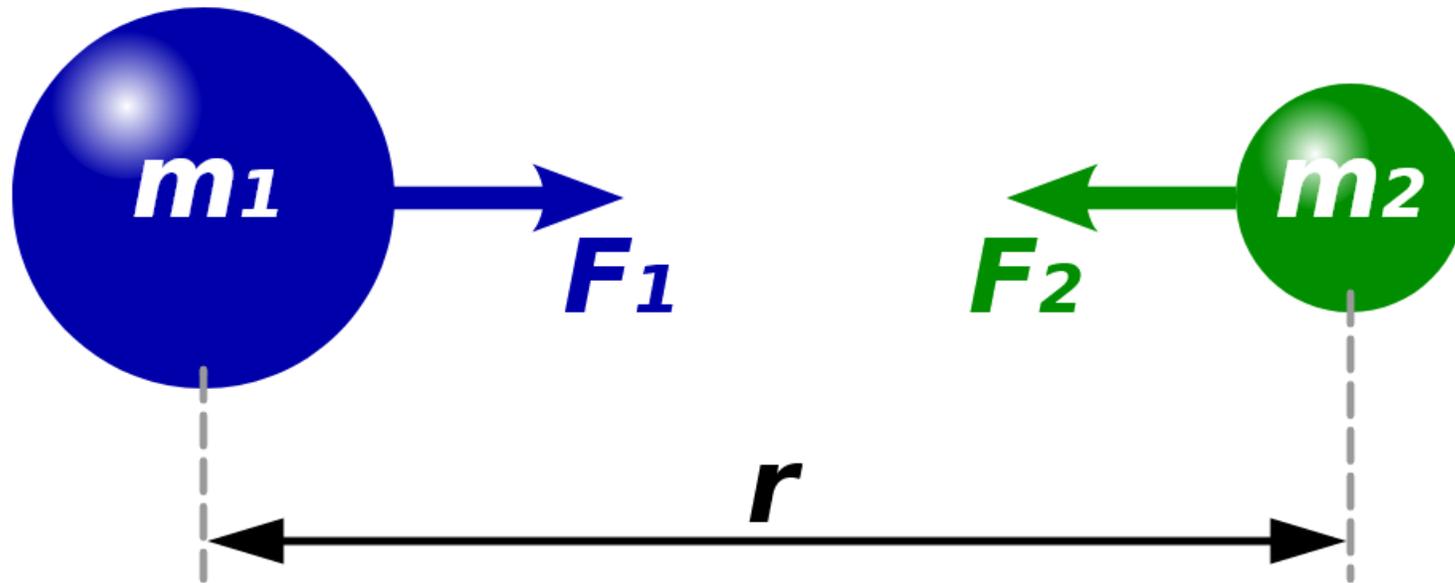


Тихо Браге



Иоганн Кеплер

Закон притяжения

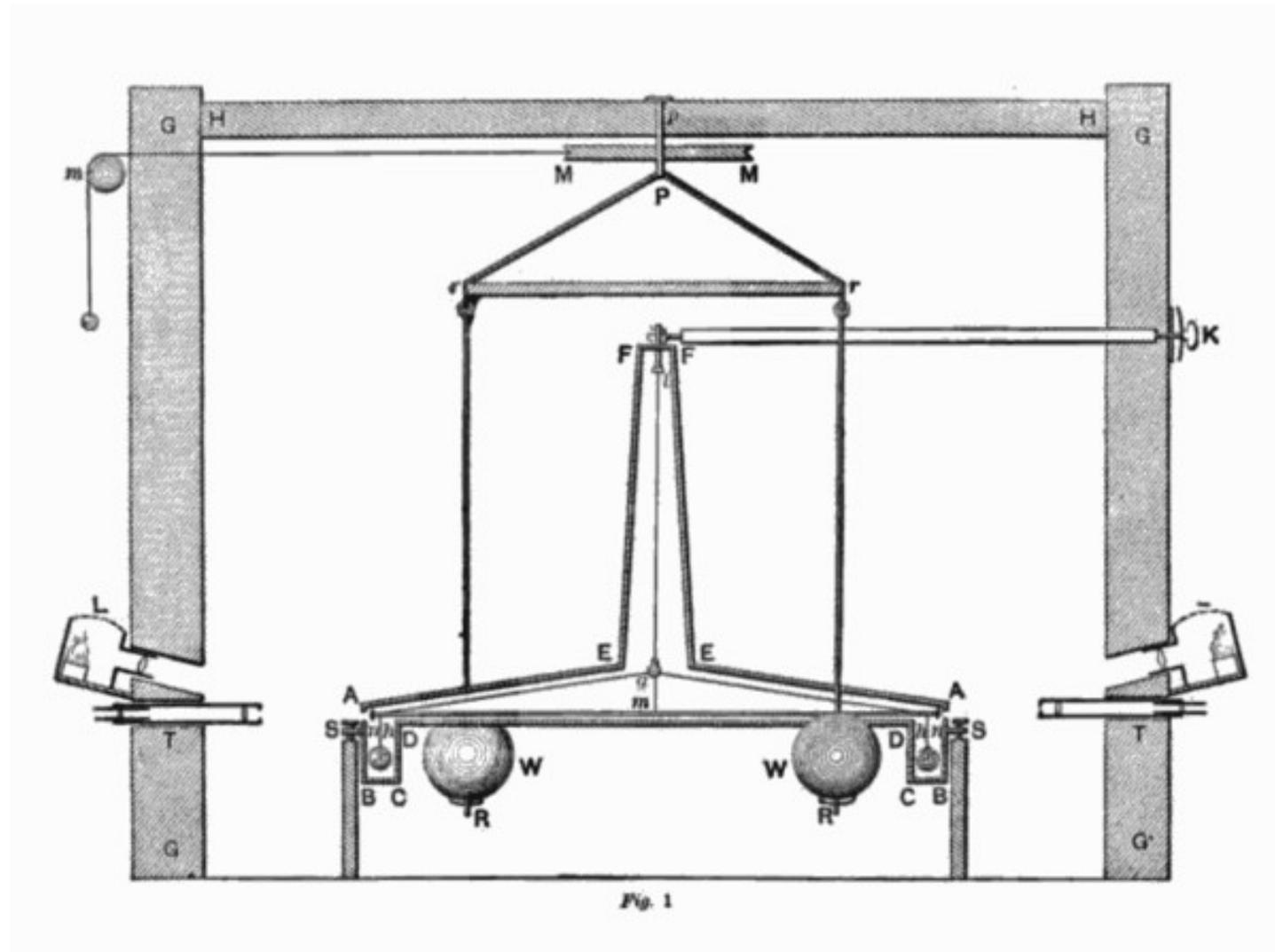
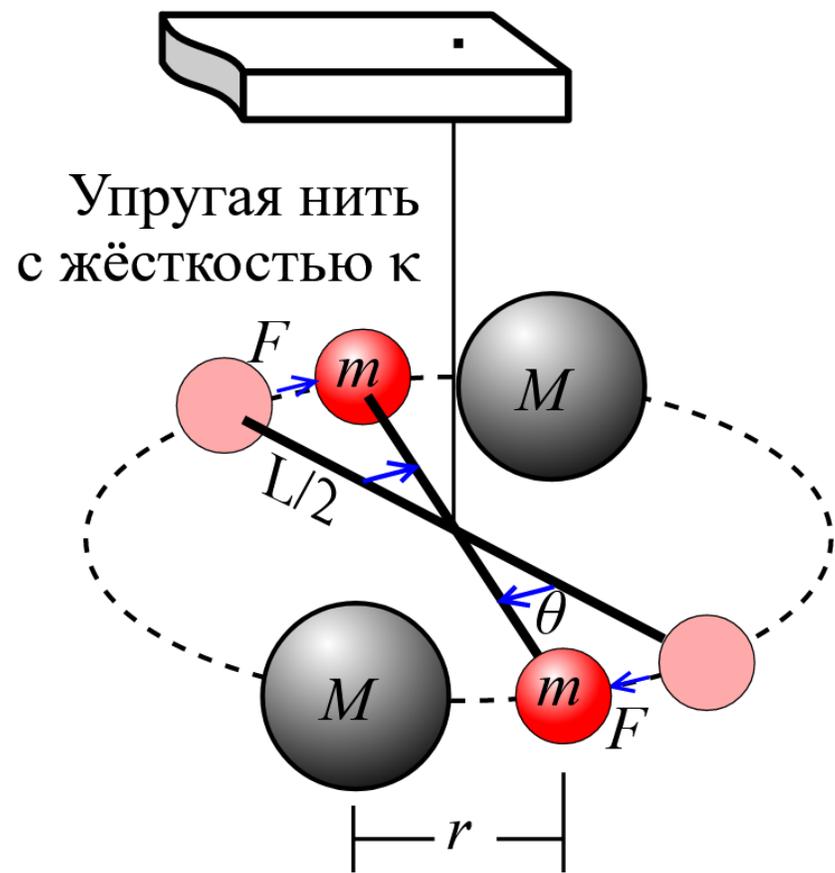


$$\vec{F} = -G \frac{m_1 m_2}{R^2} \cdot \frac{\vec{R}}{R}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{М}^3}{\text{КГ} \cdot \text{С}^2}$$

Сила тяжести: $F_T = mg$, $g = G \frac{M_3}{R_3^2} \approx 9,8154 \frac{\text{М}}{\text{С}^2}$

Опыт Кавендиша



Сила тяжести, действующая на тело

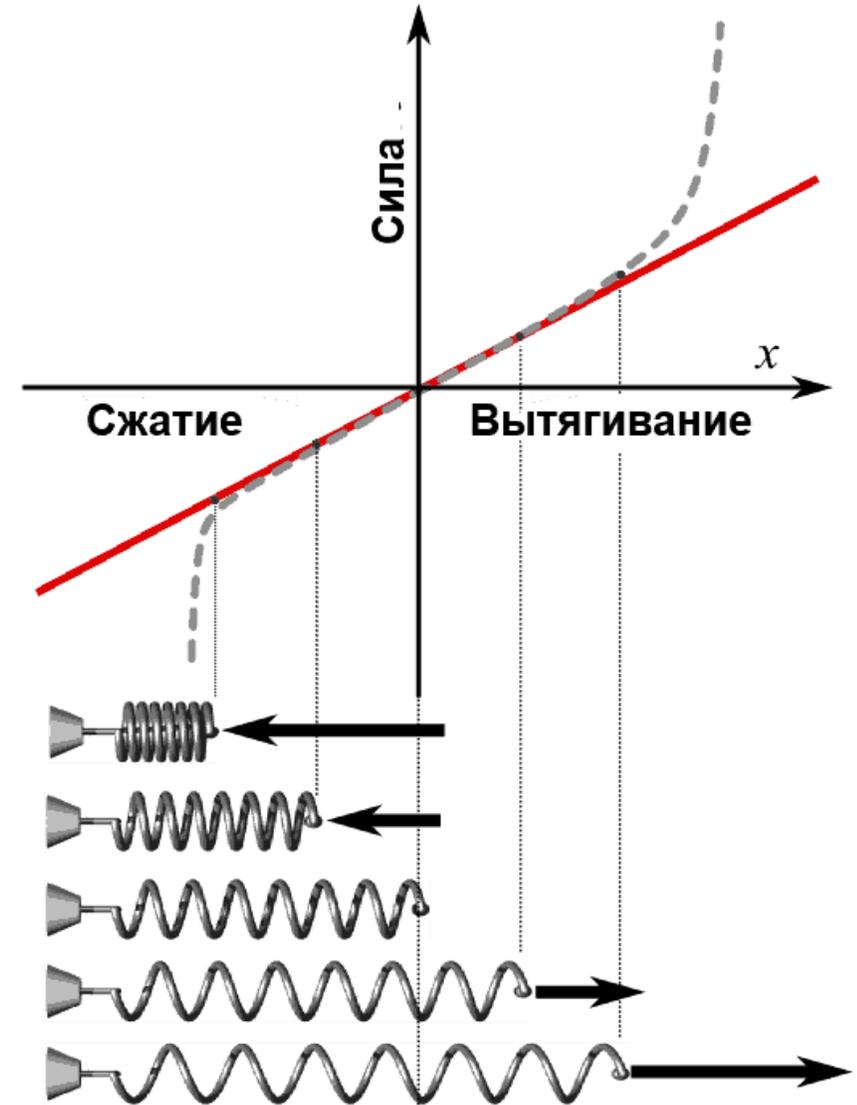
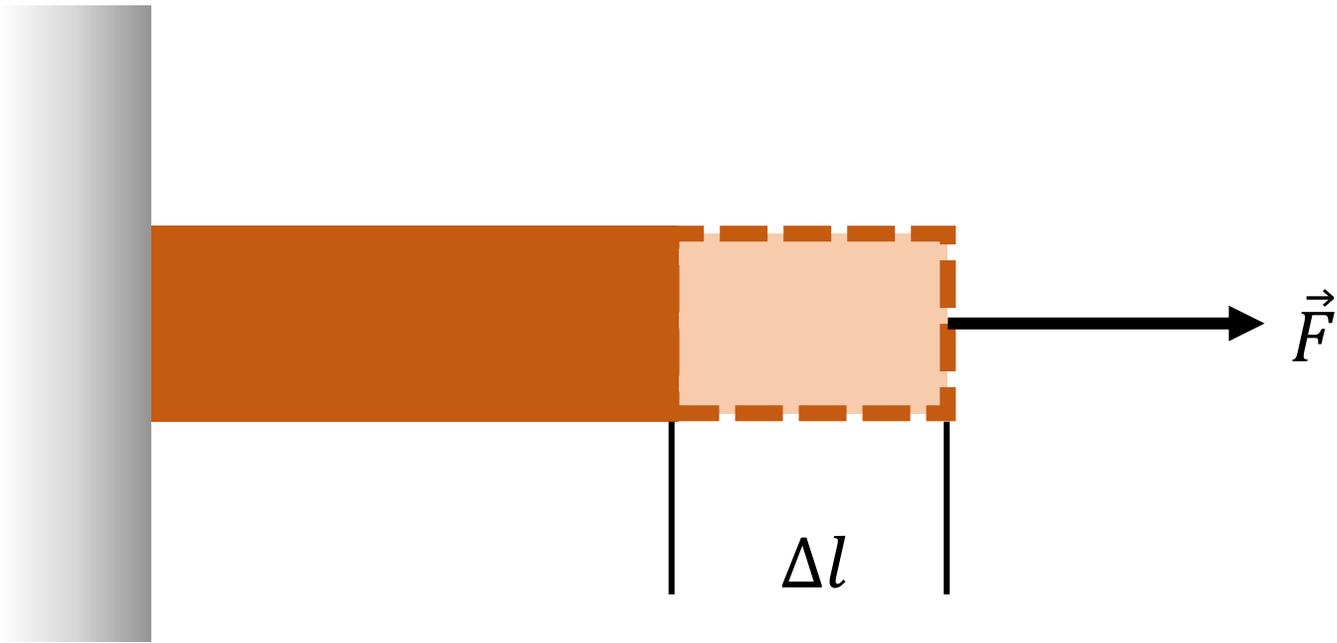
Земля	9,81 м/с ²	1,00 g	Солнце	273,1 м/с ²	27,85 g
Луна	1,62 м/с ²	0,165 g	Меркурий	3,68—3,74 м/с ²	0,375— 0,381 g
Венера	8,88 м/с ²	0,906 g	Марс	3,86 м/с ²	0,394 g
Юпитер	23,95 м/с ²	2,442 g	Сатурн	10,44 м/с ²	1,065 g
Уран	8,86 м/с ²	0,903 g	Нептун	11,09 м/с ²	1,131 g

Вес тела – сила, с которой тело, находящееся в поле сил тяжести, действует на неподвижную относительно него опору или подвес.

Закон Гука

При **малых** упругих деформациях величина деформации пропорциональна величине вызывающей ее силы.

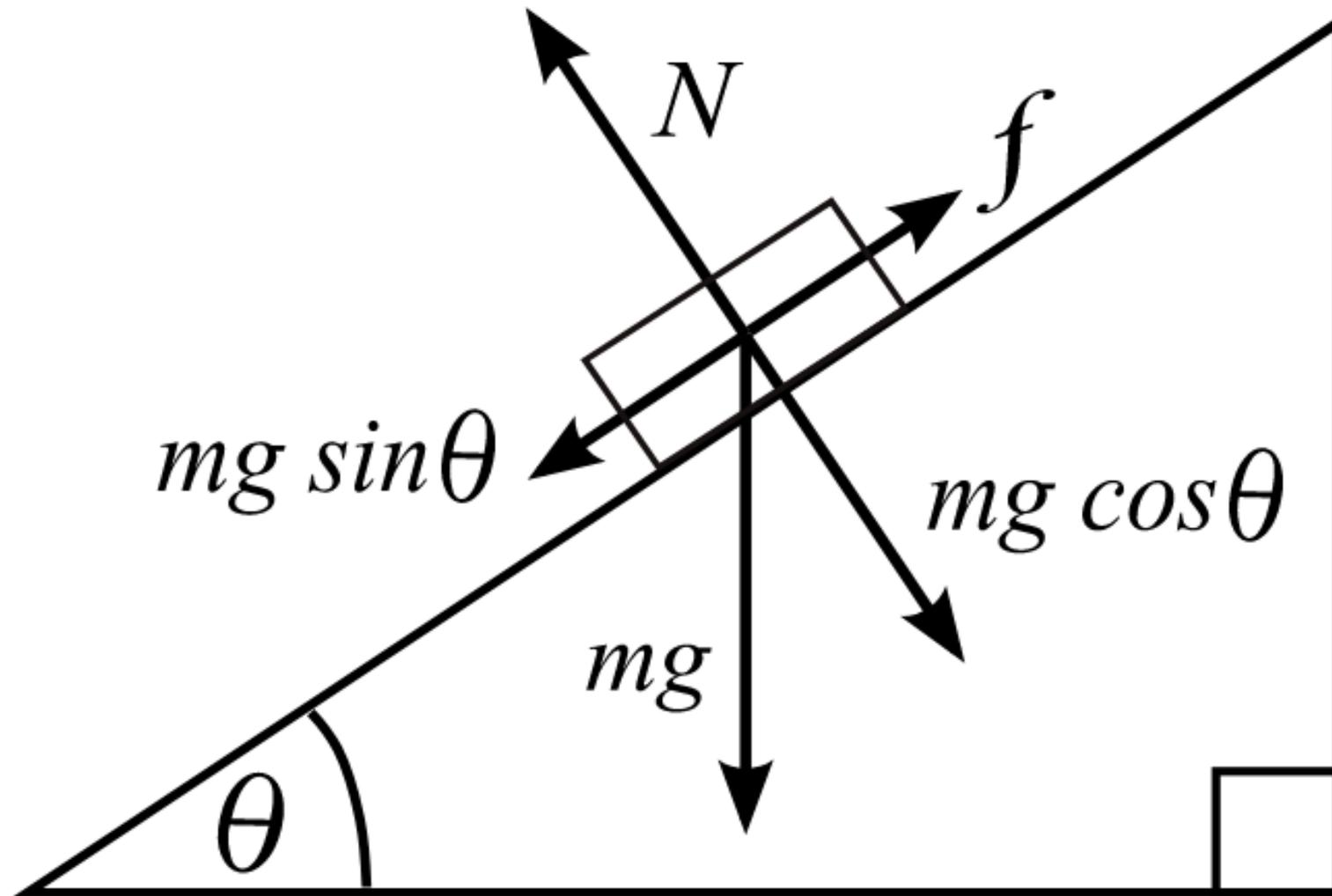
$$F = k \cdot \Delta l$$



Силы трения

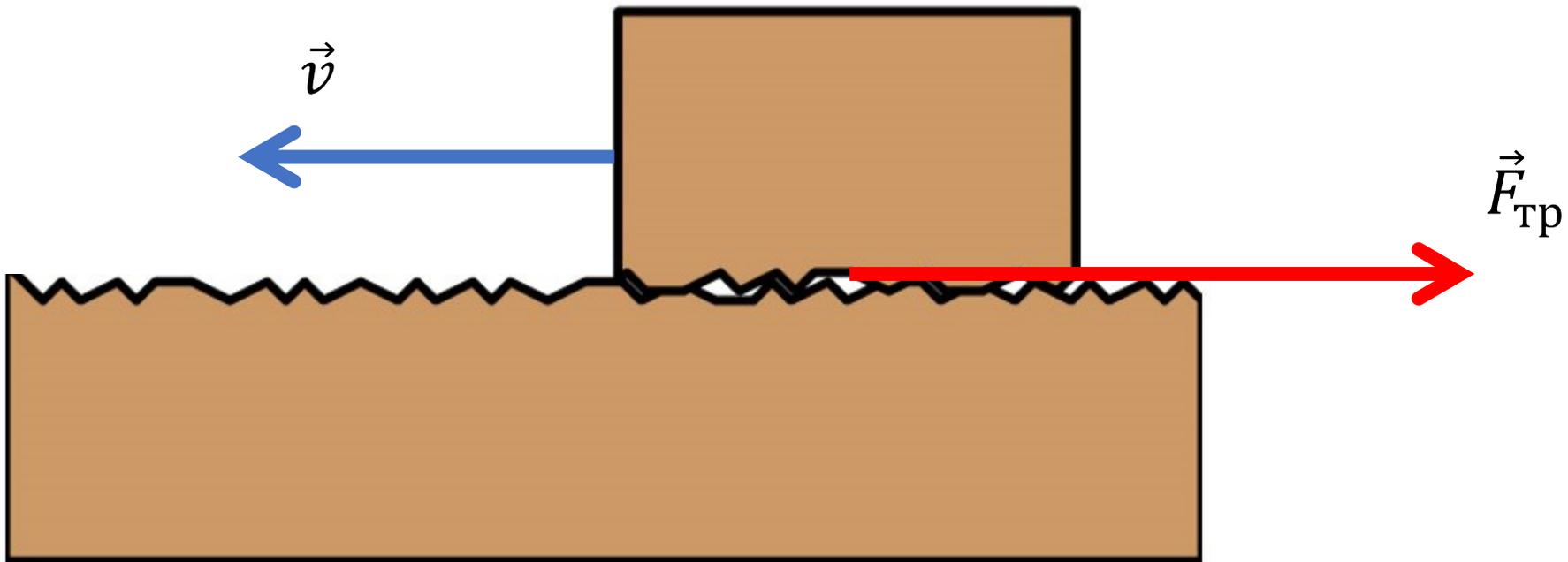
- **Сила трения** – составляющая силы непосредственного взаимодействия тел при соприкосновении вдоль плоскости соприкосновения.
- **Сила нормального давления (реакции опоры)** – составляющая силы взаимодействия тел при непосредственном соприкосновении вдоль направления нормали к плоскости соприкосновения.
- **Силы вязкого (внутреннего) трения** – силы трения, возникающие при движении тела в вязкой (жидкой или газообразной) среде.
- **Силы сухого трения** – силы трения, возникающие при непосредственном соприкосновении твердых тел.

Сила нормальной реакции опоры \vec{N}



Силы трения

- **Силы трения покоя** – силы сухого трения, возникающие в отсутствие относительного движения взаимодействующих тел.
- **Сила трения скольжения** – сила сухого трения, возникающая при относительном движении взаимодействующих тел.



Закон Амонтона-Кулона

1. Модуль силы сухого трения покоя может принимать значения от нуля до некоторого своего максимального значения:

$$0 \leq F_{\text{тр.покоя}} \leq F_{\text{max}};$$

2. Модуль силы сухого трения скольжения равен максимальному значению модуля силы сухого трения покоя:

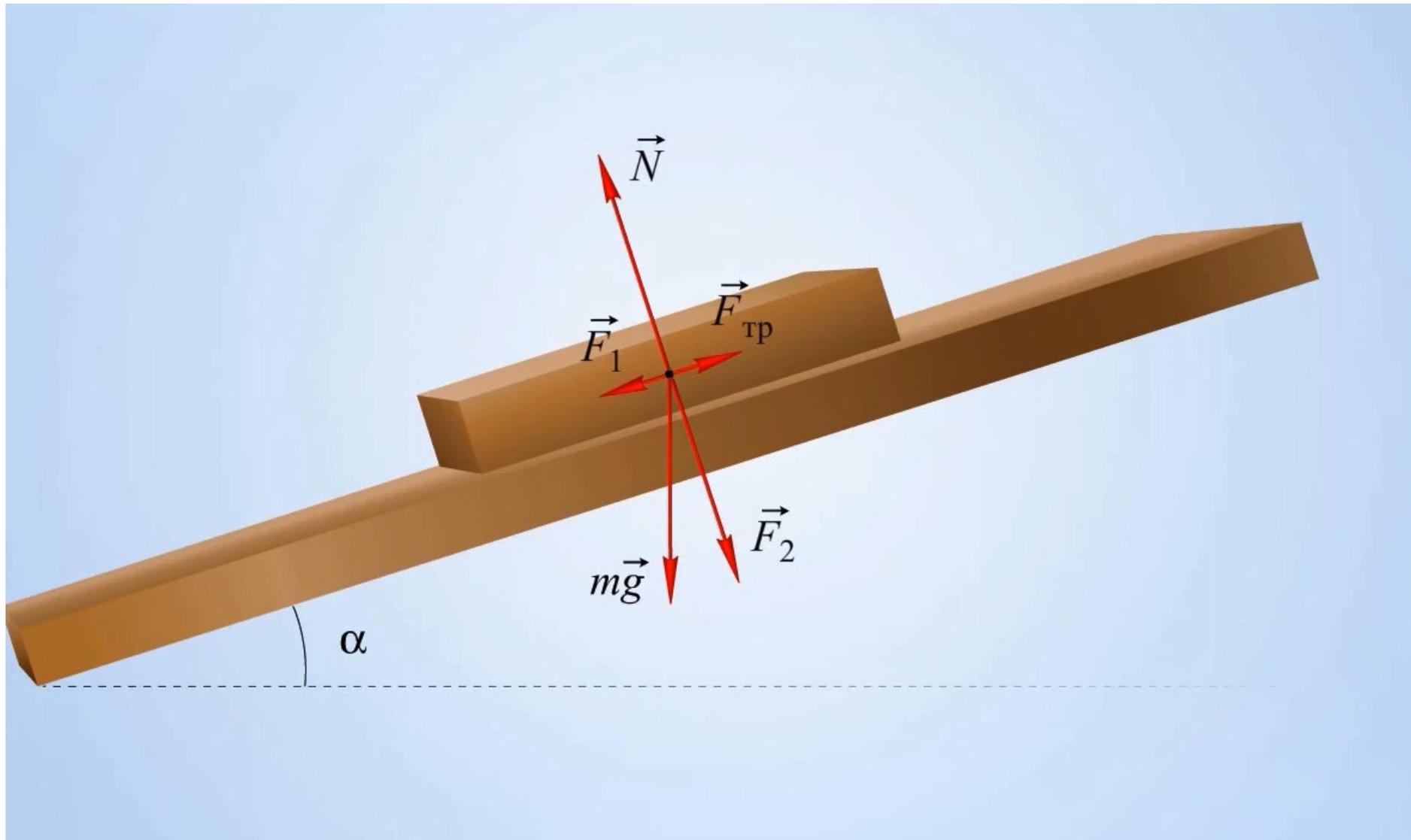
$$F_{\text{тр.скол.}} = F_{\text{max}};$$

3. Модуль силы сухого трения скольжения пропорционален модулю силы нормального давления:

$$F_{\text{тр.скол.}} = \mu N;$$

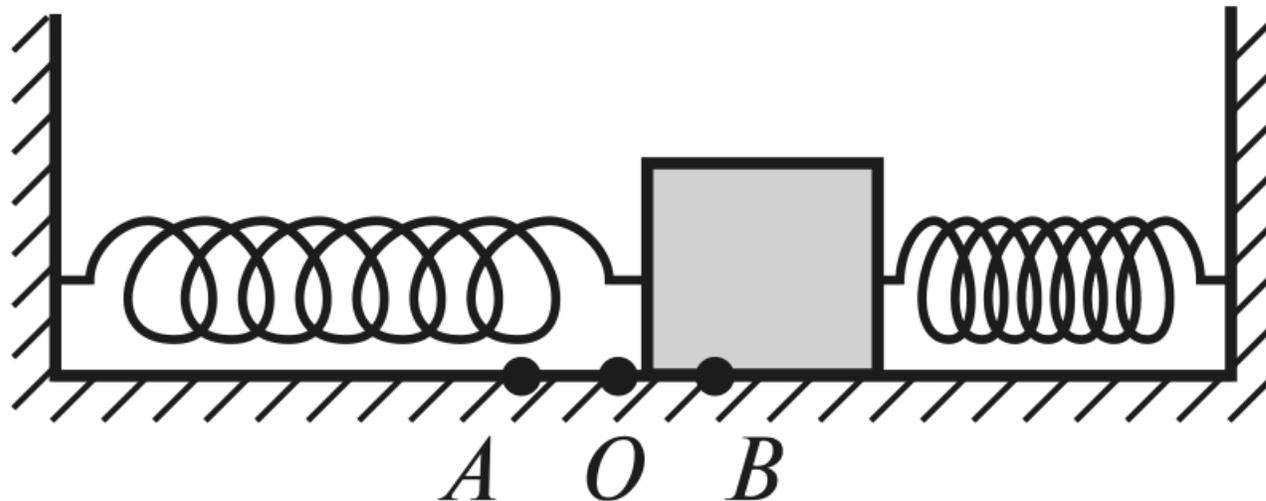
4. Направления силы трения скольжения и скорости тела противоположны: $\vec{F}_{\text{тр.скол.}} \updownarrow \vec{v}$.

Силы при скольжении бруска по доске



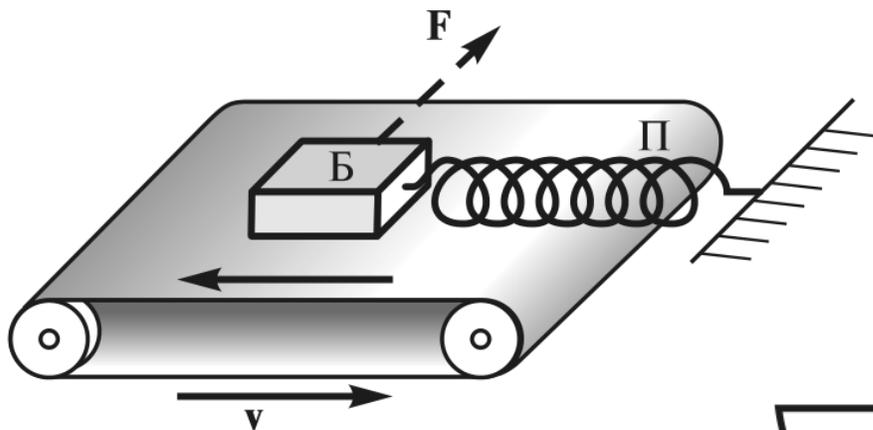
Явление застоя

Явление застоя. Наличие силы трения покоя приводит к тому, что для приведения тела в движение необходимо воздействовать на него силой, большей максимальной силы трения покоя.

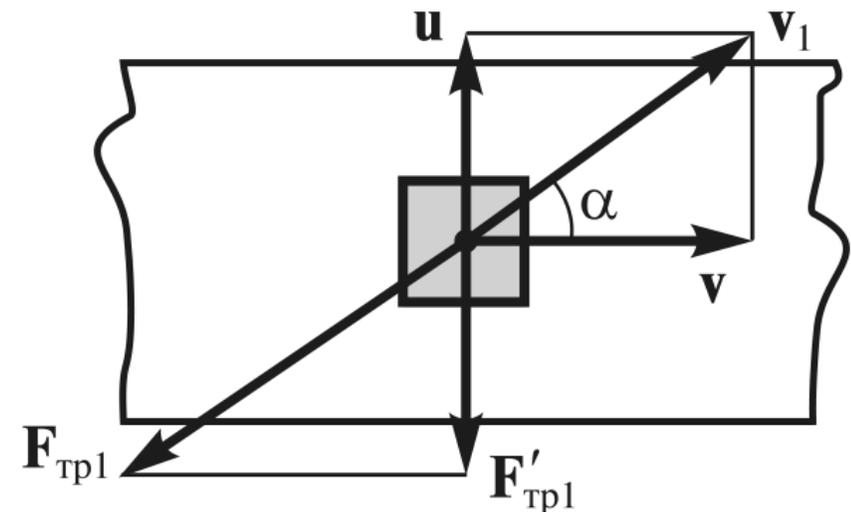
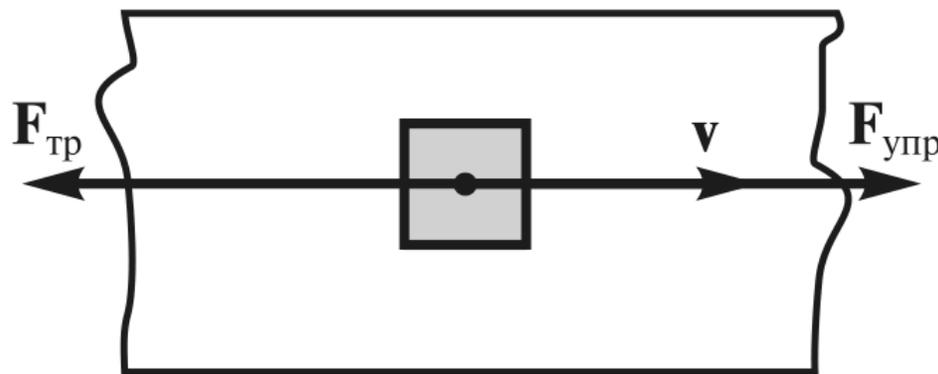


Явление заноса

Явление заноса. Явление заноса состоит в том, что при проскальзывании движение тела становится неустойчивым в поперечном направлении, так как $F'_{\text{тр}1} \ll \mu N$.



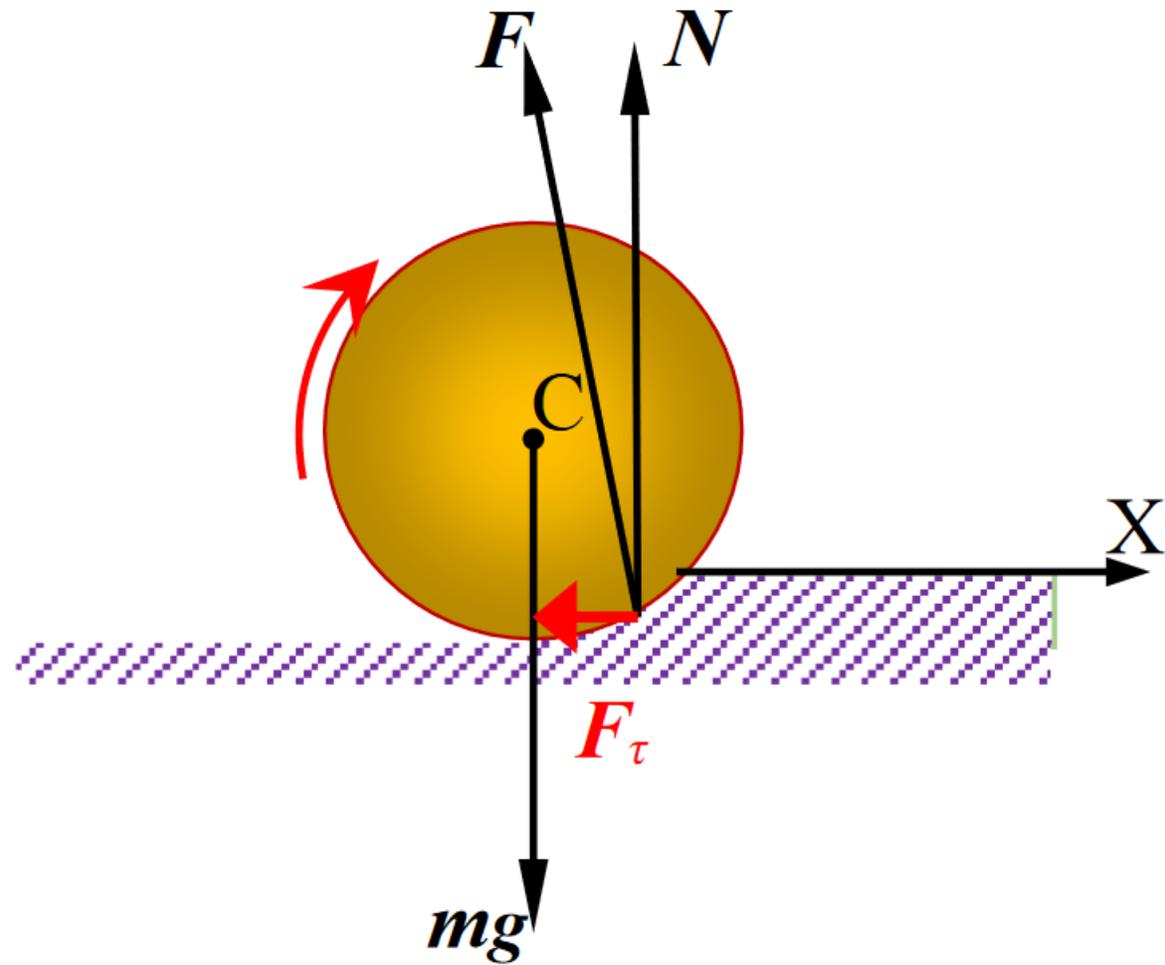
$$F'_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}1} \sin \alpha = \mu N \frac{u}{v_1} = \mu N \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}}$$



Явление заноса



Трение качения



Явление застоя

