

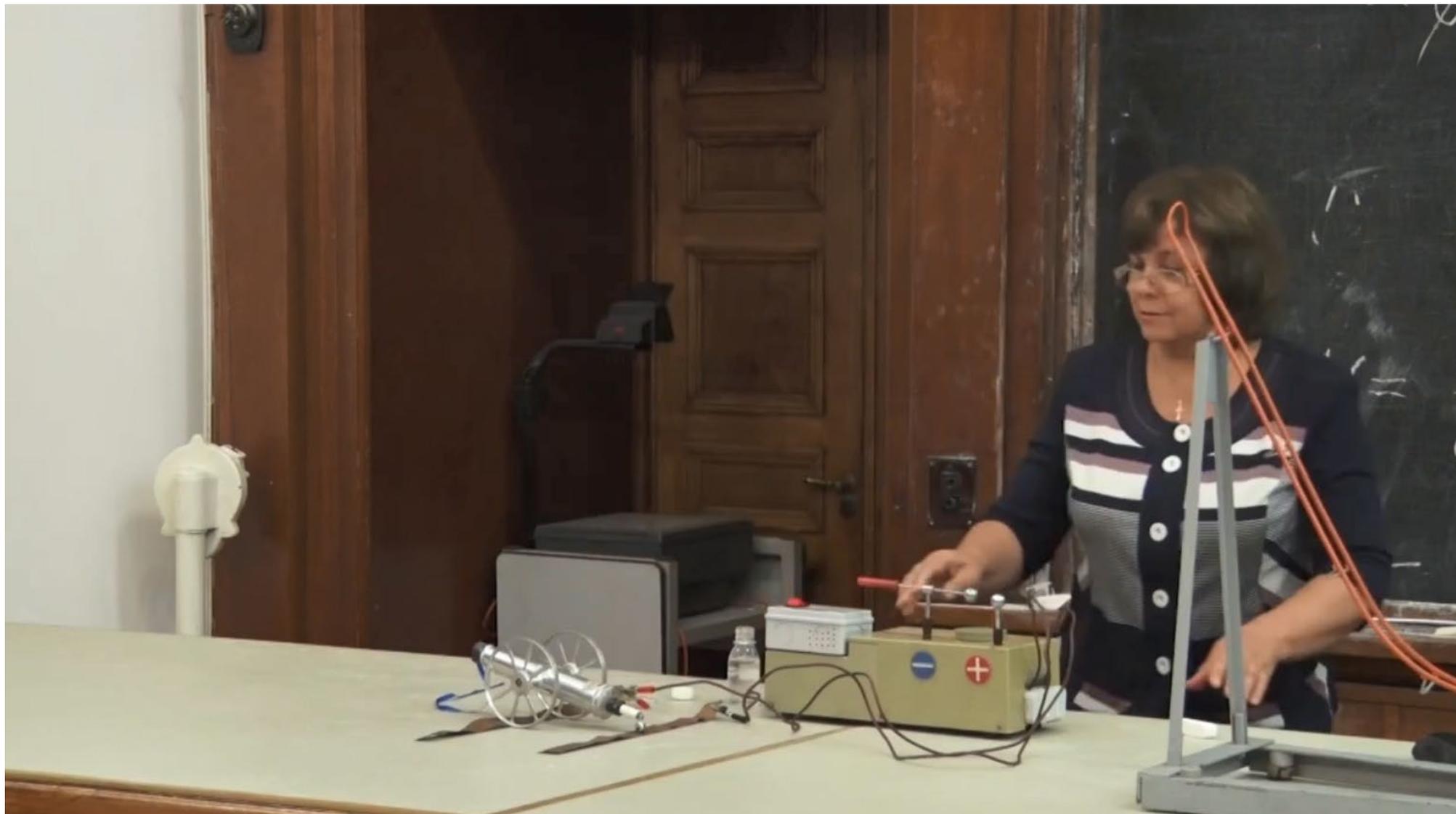
# Механика

---

## Лекция 4



# Выстрел из пушки



# План лекции

- Работа силы. Консервативные силы.
- Кинетическая и потенциальная энергия системы материальных точек.
- Связь консервативных сил с потенциальной энергией.
- Закон сохранения механической энергии.
- Соударения тел. Абсолютно упругий и абсолютно неупругий удары. Законы сохранения при соударениях тел.

# Работа силы

**Работа силы  $\vec{F}$**  при бесконечно малом перемещении  $d\vec{r}$  материальной точки, на которую действует сила (точки приложения силы), равна скалярному произведению силы на это перемещение.

$$\delta A = \vec{F} d\vec{r} = F dr \cos \alpha$$

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r}$$

Аддитивная величина

Измеряется в  $\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2}$

# Мощность

**Мощность силы** – физическая величина, численно равная работе, совершаемой силой за единицу времени.

$$N = \frac{\delta A}{dt} = \vec{F} \vec{v}$$

$$A = \int_t^{t+\Delta t} N dt$$

Измеряется в  $\text{Вт} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$

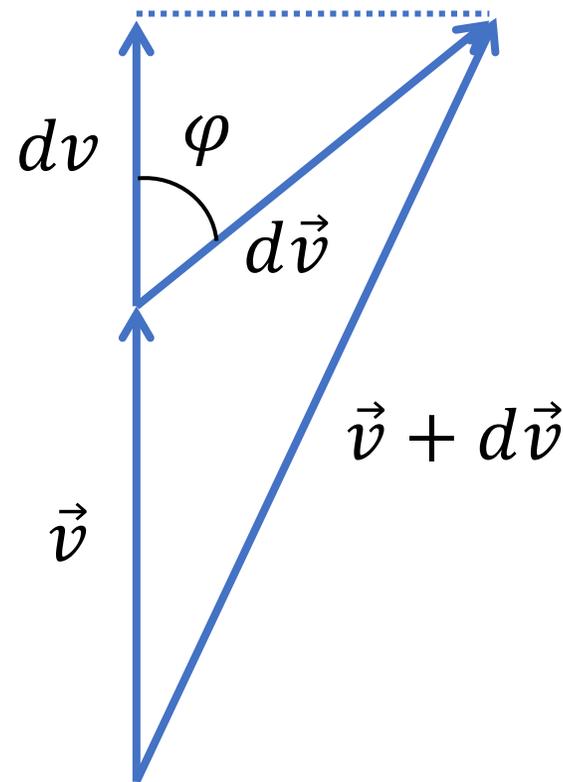
# Кинетическая энергия

**Энергия** – величина, измеряемая той работой, которую эта система тел может совершить.

$$\delta A = \vec{F} d\vec{r} = d\left(\frac{mv^2}{2}\right)$$

$$\vec{v} d\vec{v} = |\vec{v}| |d\vec{v}| \cos \varphi = v dv$$

$$A_{12} = \int_1^2 \vec{F} d\vec{r} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = T_2 - T_1$$



# Теорема о кинетической энергии системы

$$A_{12} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = T_2 - T_1$$

Приращение кинетической энергии материальной точки при некотором перемещении равно суммарной работе всех сил, действующих на неё при перемещении.

# Теорема Кёнига

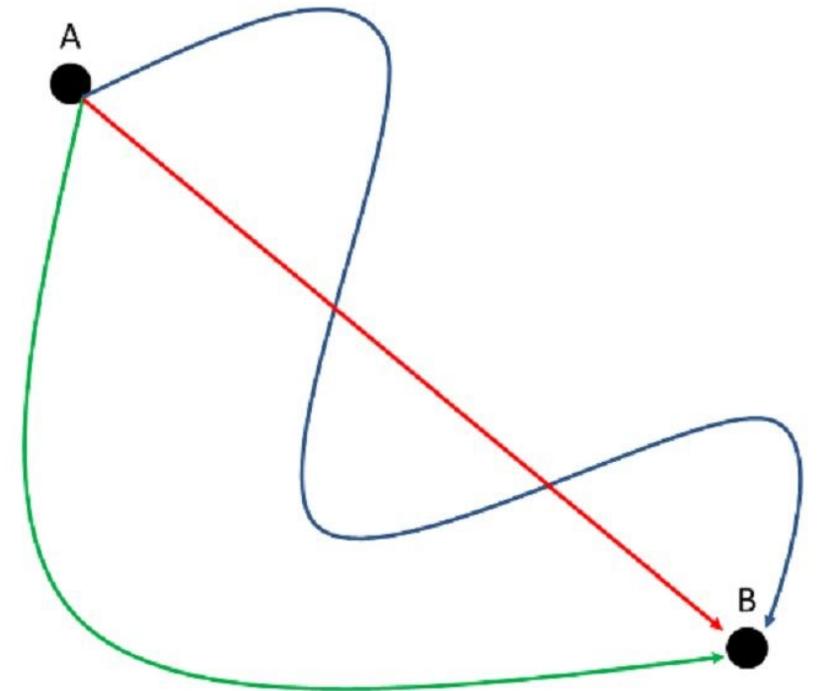
Кинетическая энергия системы материальных точек равна сумме кинетической энергии всей массы системы, мысленно сосредоточенной в её центре масс и движущейся вместе с ним, и кинетической энергии той же системы в её относительном движении по отношению к поступательно движущейся системе координат с началом в центре масс.

В системе центра масс  $v_{\text{ц}} = 0$  и кинетическая энергия – минимальна.

# Неконсервативные силы

**Неконсервативные силы (непотенциальные силы)** – силы, работа которых зависит не только от начального и конечного положений точки приложения силы, но и от вида ее траектории.

Примеры: сила тяги ракеты, сила трения



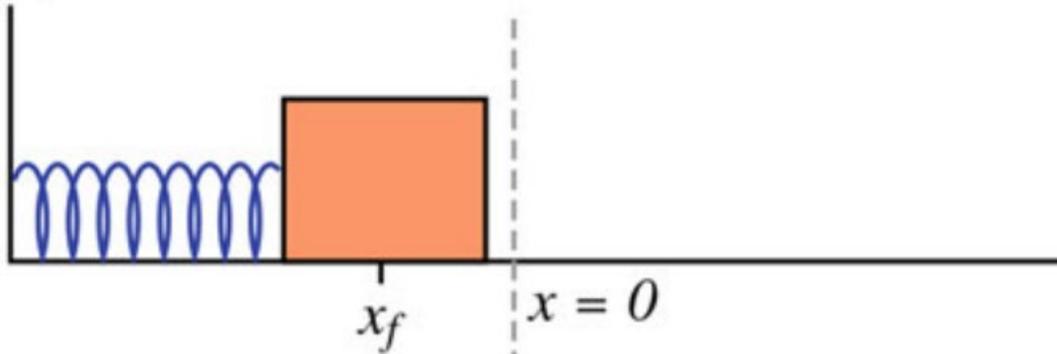
# Консервативные силы

**Консервативные сила (потенциальная сила) – сила,** работа которой не зависит от вида траектории, а только от начального и конечного положений точки приложения силы.

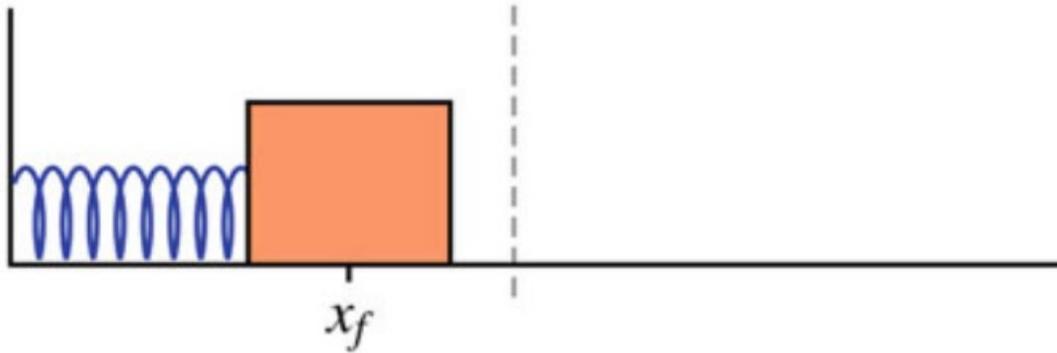
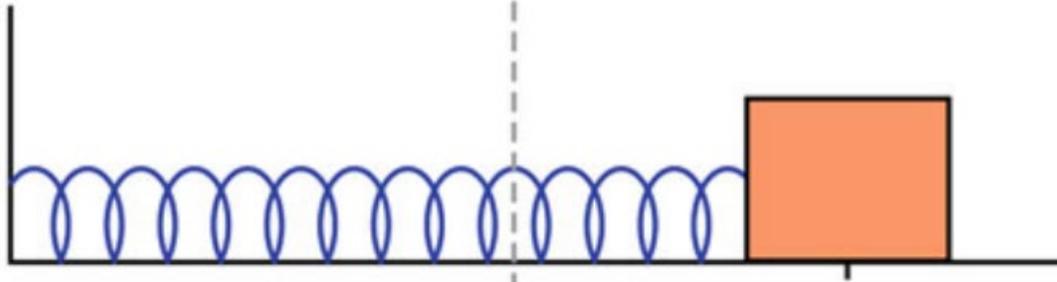
Работа потенциальной силы по замкнутой траектории равна нулю.

$$\oint dA = 0$$

# Работа упругой силы

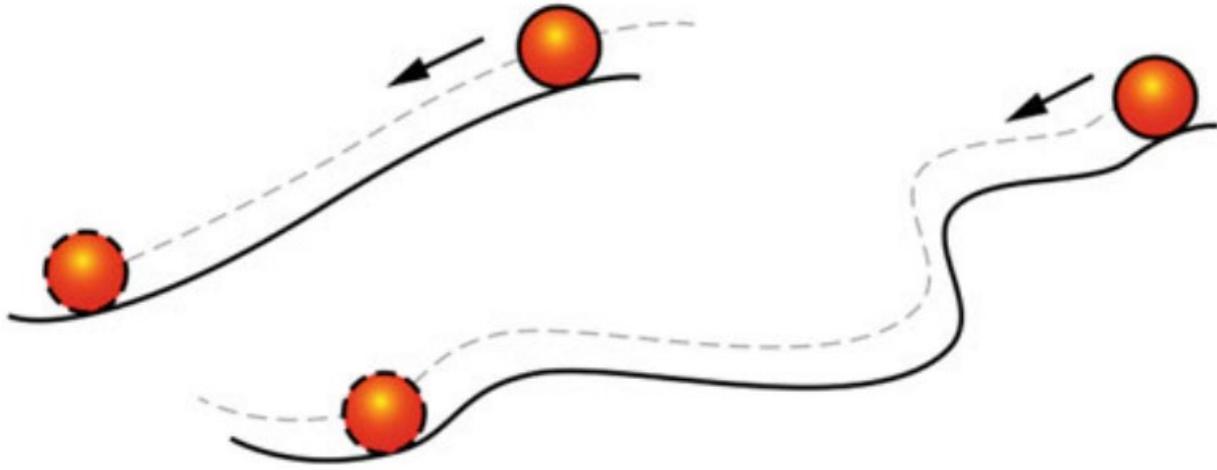


Закон Гука  $F = -kx$



$$A_{12} = \int_1^2 (-kx) dx = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$$

# Работа гравитационной силы



$$\vec{F}(\vec{r}) = -G \frac{Mm \vec{r}}{r^2 r}$$

На небольшой высоте  $h$  над  
поверхностью Земли:

$$A_{12} \approx GMm \frac{h}{R_3} \rightarrow mgh$$

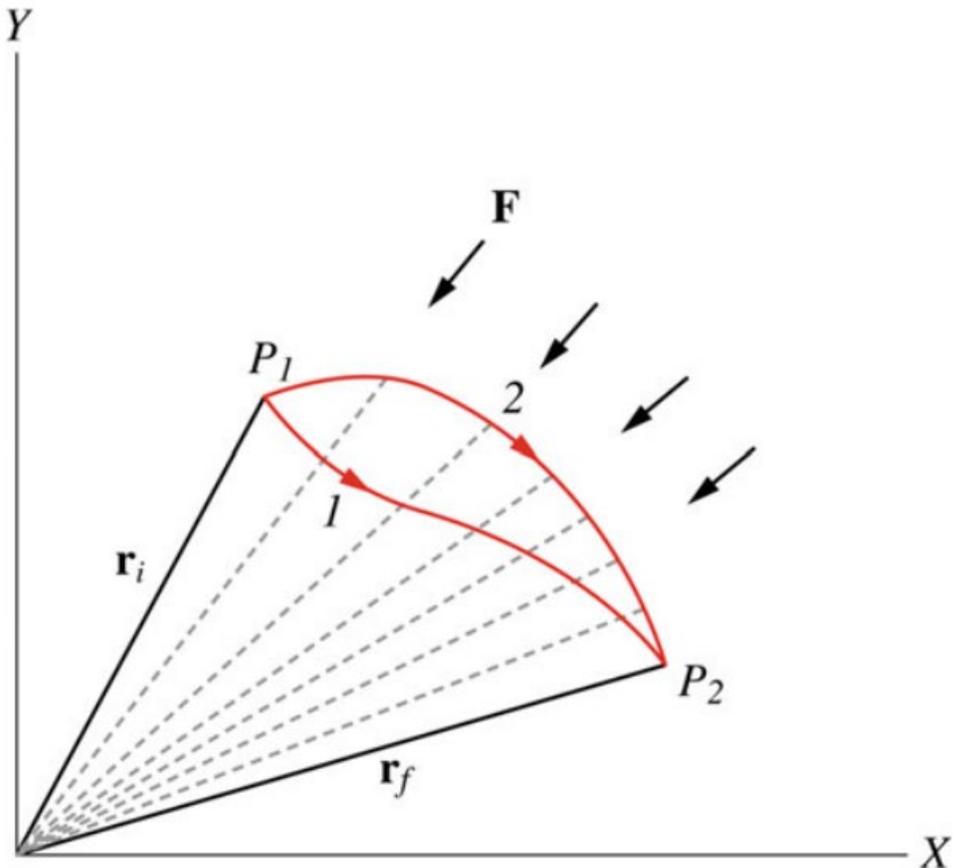
# Поле сил

**Поле сил** – область пространства, где на частицу действуют силы.

**Поле центральных сил** – поле, где сила зависит лишь от расстояния между частицей и силовым центром.

$$\vec{F}(\vec{r}) = F(r) \frac{\vec{r}}{r}$$

Центральные силы консервативны, если стационарны.



# Потенциальная энергия

- **Потенциальная энергия механической системы** – физическая величина, равная сумме работ потенциальных сил, действующих на тела системы, при изменении положения тел системы в пространстве из данного (состояние 1) в любое наперед заданное (состояние 0), называемое нулем отсчета потенциальной энергии
- **Изменение потенциальной энергии материальной точки** равно взятой с обратным знаком работе консервативных (потенциальных) сил при перемещении из одной точки в другую
- **Нормировка потенциальной энергии** – задание величины  $U(r)$  в какой-либо точке

# Связь консервативных сил с потенциальной энергией

$$\vec{F} = - \left( \frac{\partial U}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z} \vec{k} \right)$$

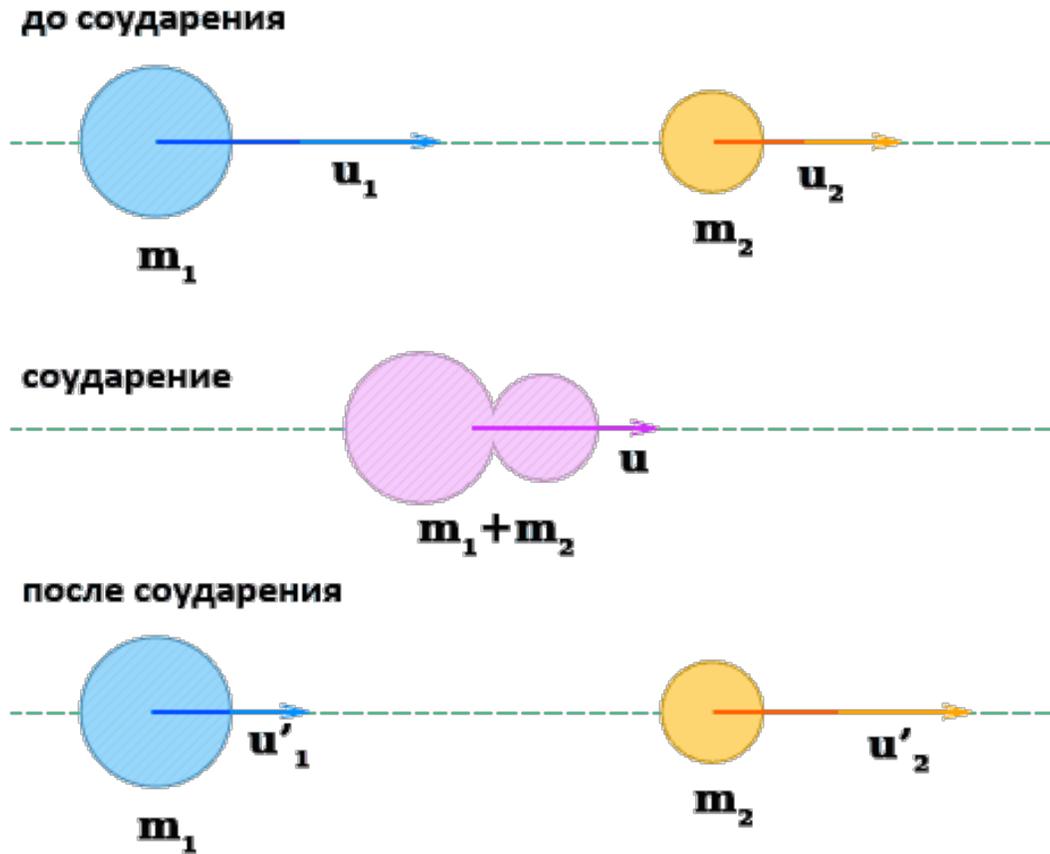
$$\vec{F} = -\text{grad } U = -\vec{\nabla} U$$

**Механическое равновесие** — состояние системы, при котором её положение находится в точке с нулевым градиентом потенциальной энергии.

# Механическая энергия

- **Механическая энергия системы** – сумма кинетической и потенциальной энергий механической системы.
- **Закон изменения механической энергии системы** – изменение механической энергии системы равно работе внешних и внутренних непотенциальных сил.
- **Закон сохранения механической энергии системы** – если работа всех внешних и внутренних непотенциальных сил равна нулю, то механическая энергия системы относительно инерциальной системы отсчета сохраняется.

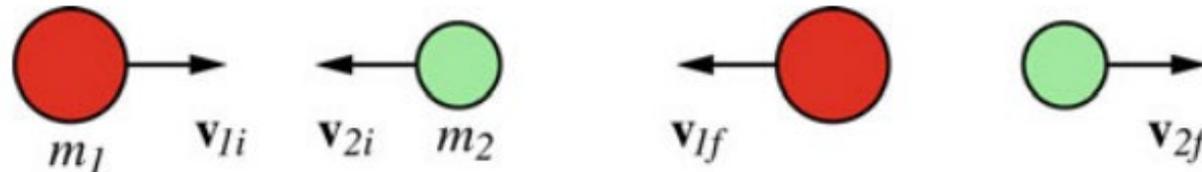
# Соударения тел



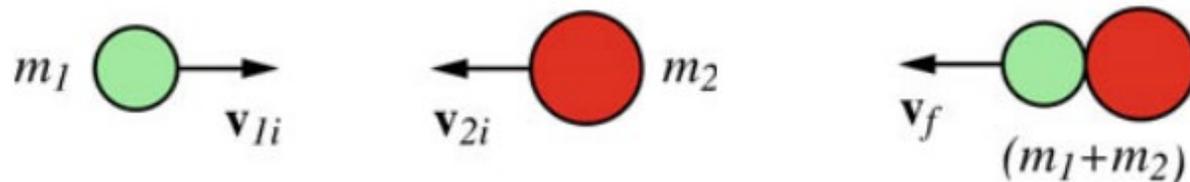
- **Удар (соударение)** – кратковременное взаимодействие тел при непосредственном соприкосновении, при котором изменением положения этих тел в пространстве за время их соударения можно пренебречь.

# Энергетическая классификация ударов

- **Абсолютно упругий удар** – удар, при котором кинетическая энергия тел до соударения равна кинетической энергии тел после соударения.



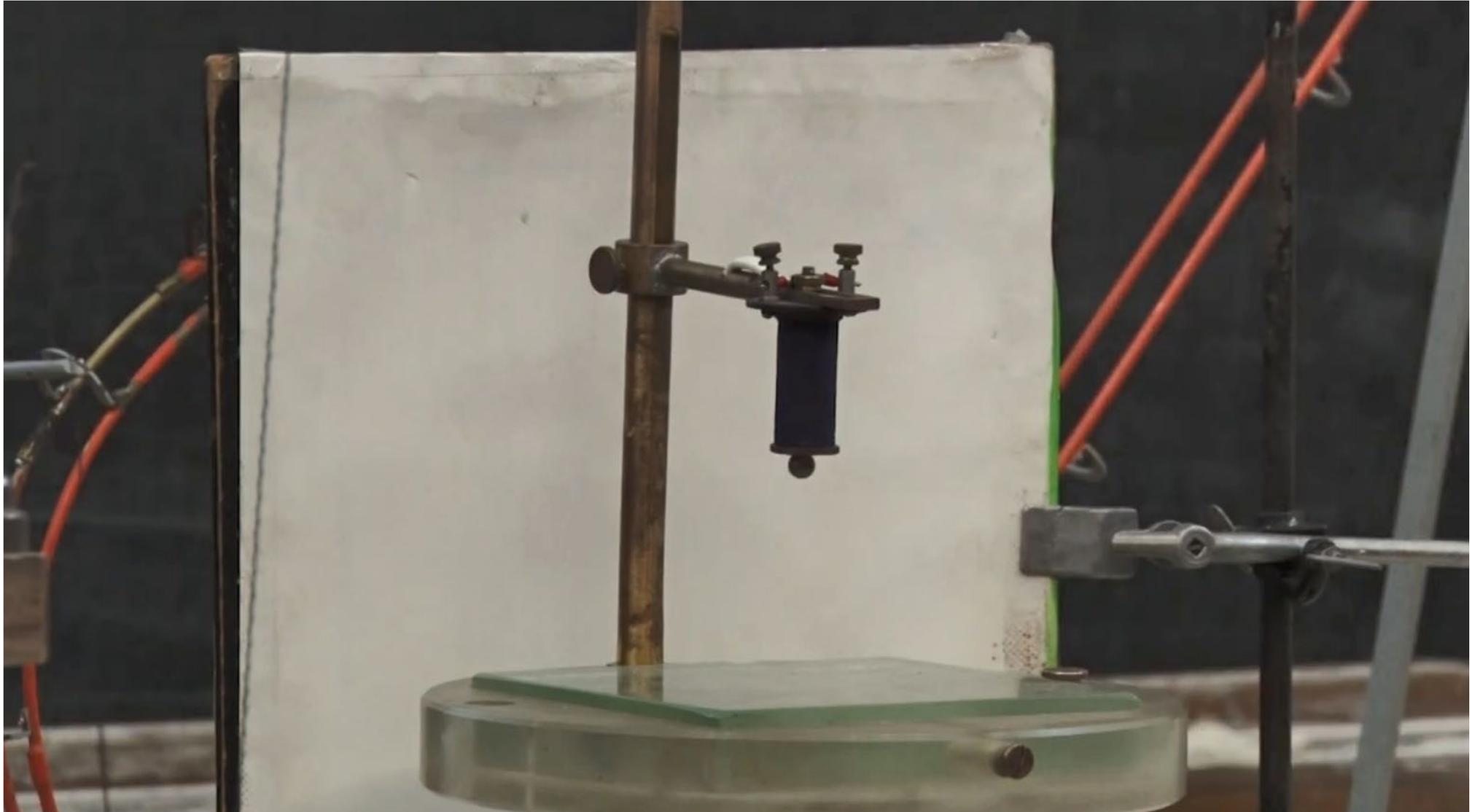
- **Абсолютно неупругий удар** – удар, при котором соударяющиеся тела приобретают одинаковую скорость после соударения.



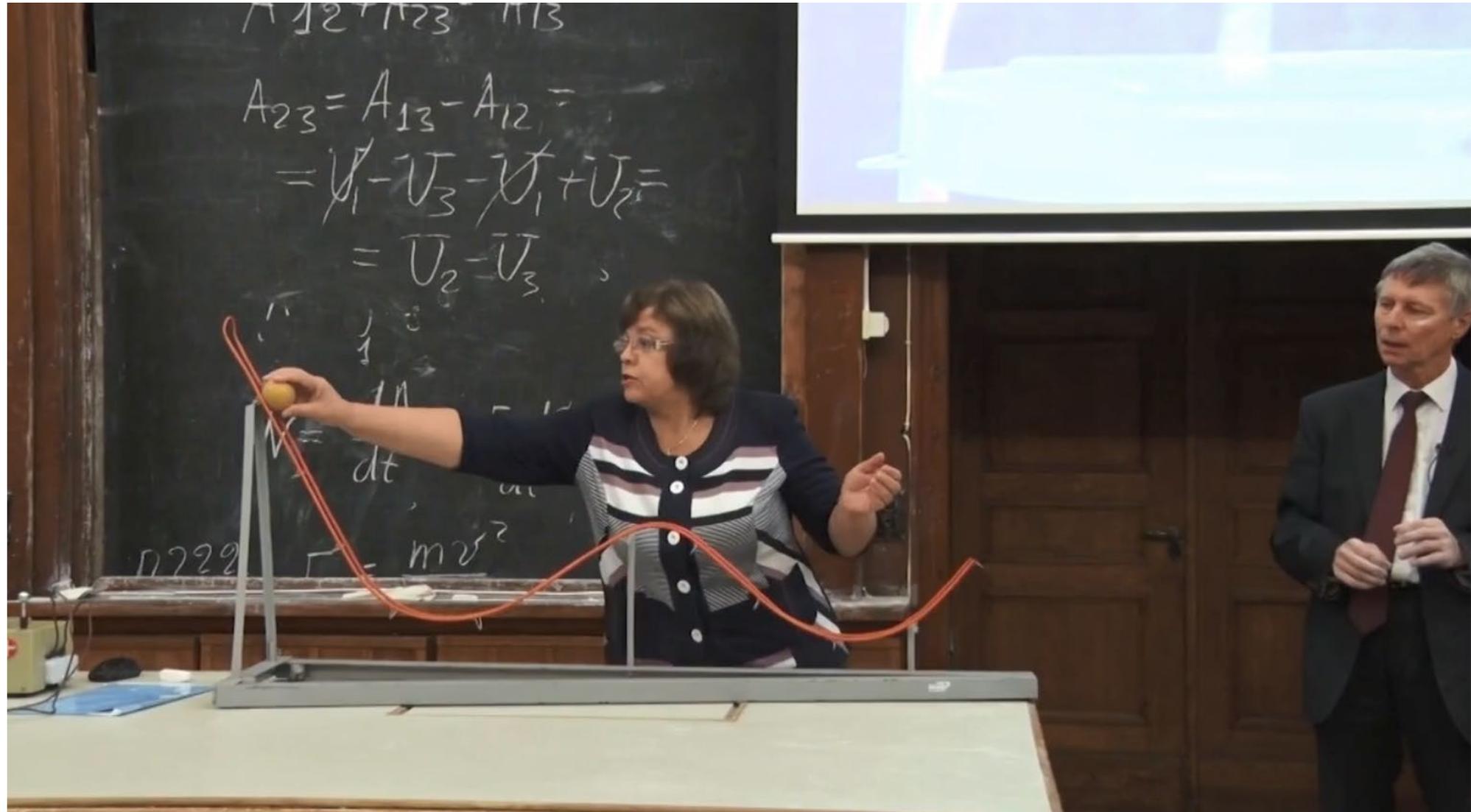
# Геометрическая классификация ударов

- **Центральный удар** – удар, при котором силы упругости, действующие между соударяющимися телами, направлены вдоль прямой, соединяющей центры масс тела.
- **Лобовой удар** – удар, при котором скорости соударяющихся тел лежат на прямой, соединяющей центры масс тела.

# «Прыгающий шарик»



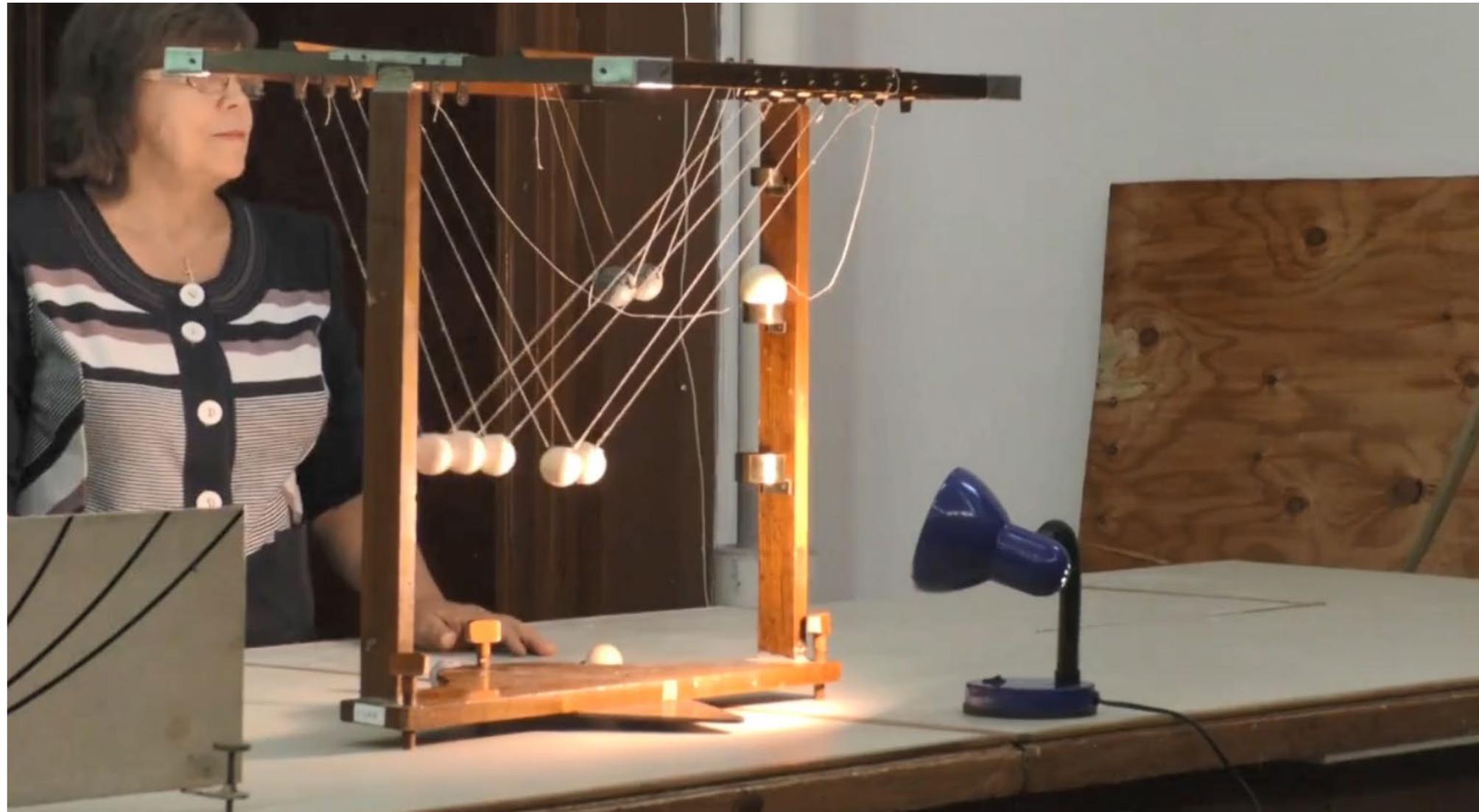
# Горки сложного профиля



# Опыт Тимирязева



# Упругое/неупругое соударение шаров



# Маятник Галилея

