



Мастер-класс факультета физики НИУ ВШЭ: "Физика колебаний в лабораторном практикуме"

27.02.2021

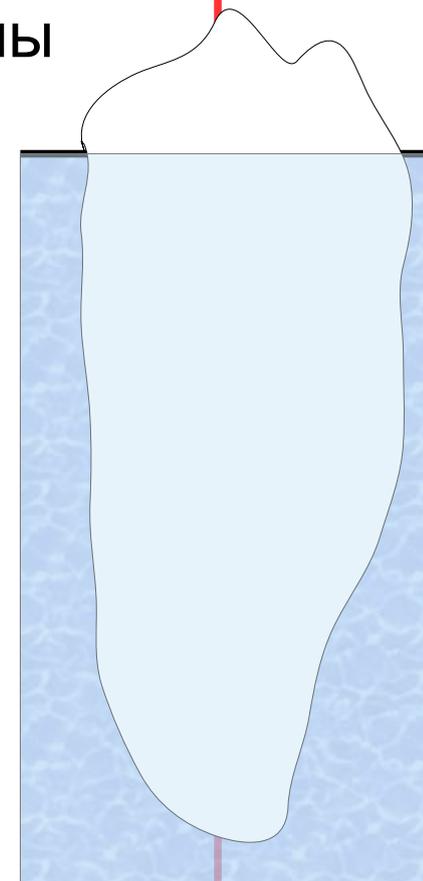
Колебания и волны в физике

- механика:

колебания маятника, струны, мембраны

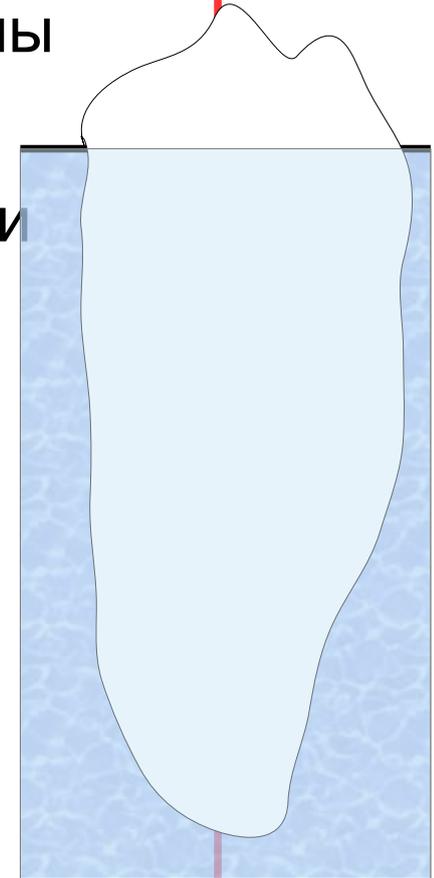
Колебания и волны в физике

- механика:
колебания маятника, струны, мембраны



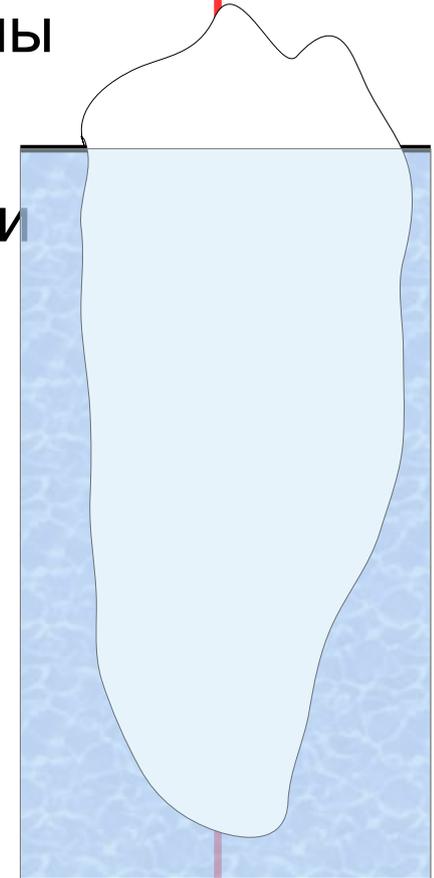
Колебания и волны в физике

- механика:
колебания маятника, струны, мембраны
- гидродинамика:
звуковые волны, волны на поверхности
жидкости



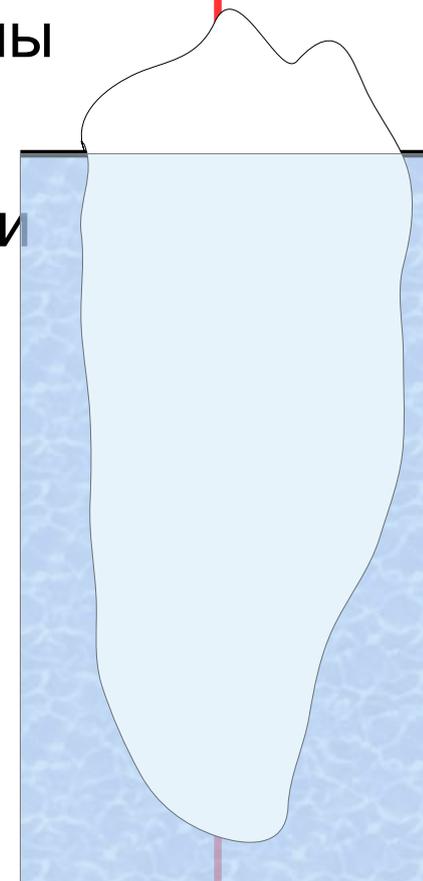
Колебания и волны в физике

- механика:
колебания маятника, струны, мембраны
- гидродинамика:
звуковые волны, волны на поверхности жидкости
- электродинамика:
радиоволны, дифракция и интерференция



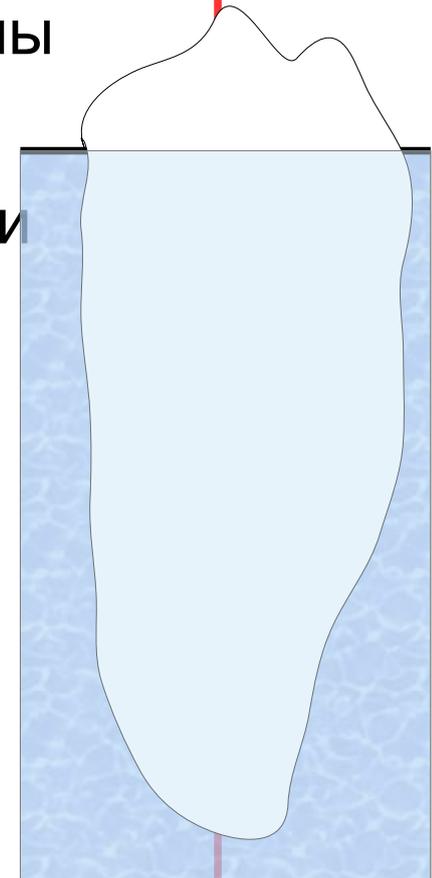
Колебания и волны в физике

- механика:
колебания маятника, струны, мембраны
- гидродинамика:
звуковые волны, волны на поверхности жидкости
- электродинамика:
радиоволны, дифракция и интерференция
- квантовая физика:
волны де Бройля, дифракция частиц, осцилляции нейтрино



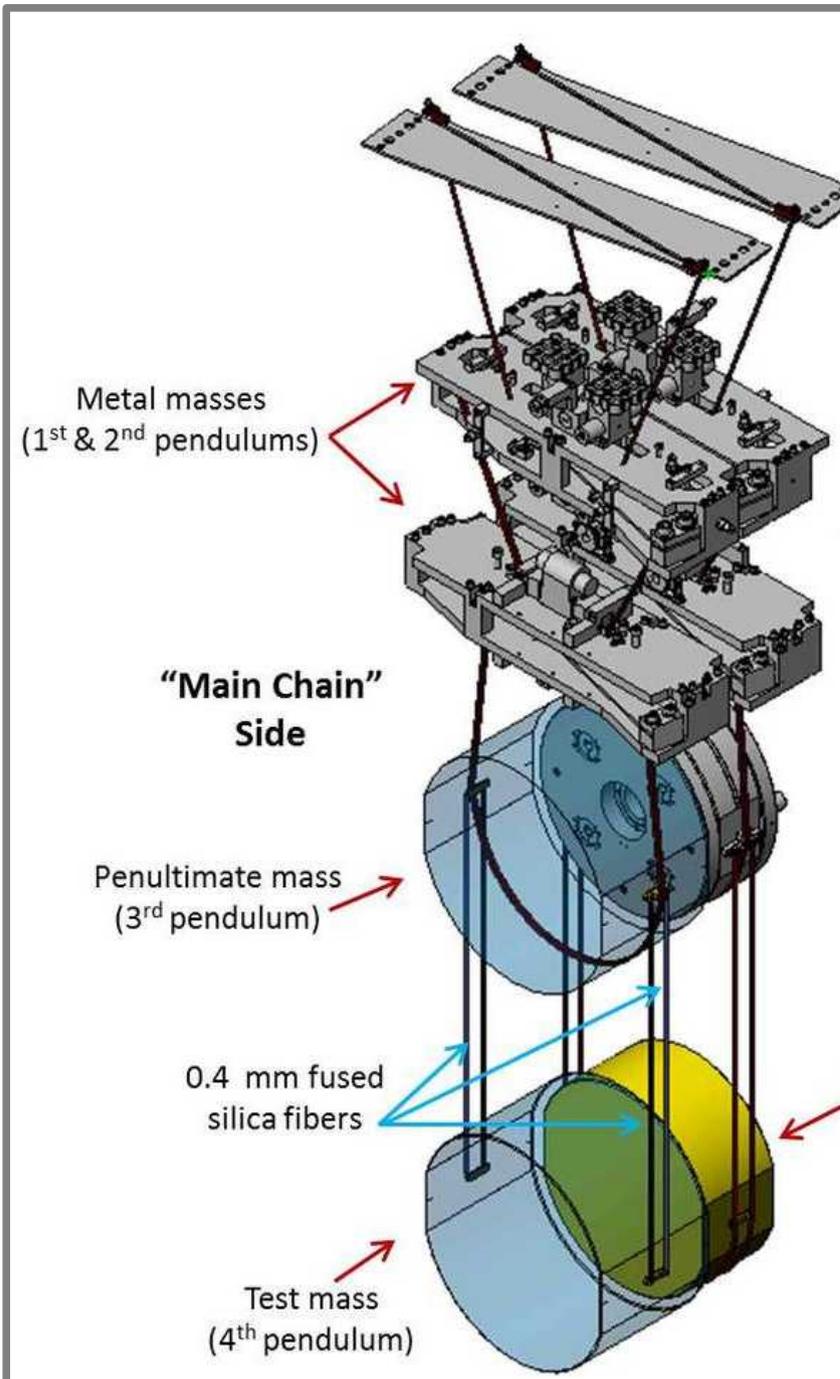
Колебания и волны в физике

- механика:
колебания маятника, струны, мембраны
- гидродинамика:
звуковые волны, волны на поверхности жидкости
- электродинамика:
радиоволны, дифракция и интерференция
- квантовая физика:
волны де Бройля, дифракция частиц, осцилляции нейтрино
- астрофизика и космология:
приливные волны, гравитационные волны



Маятник

Маятник



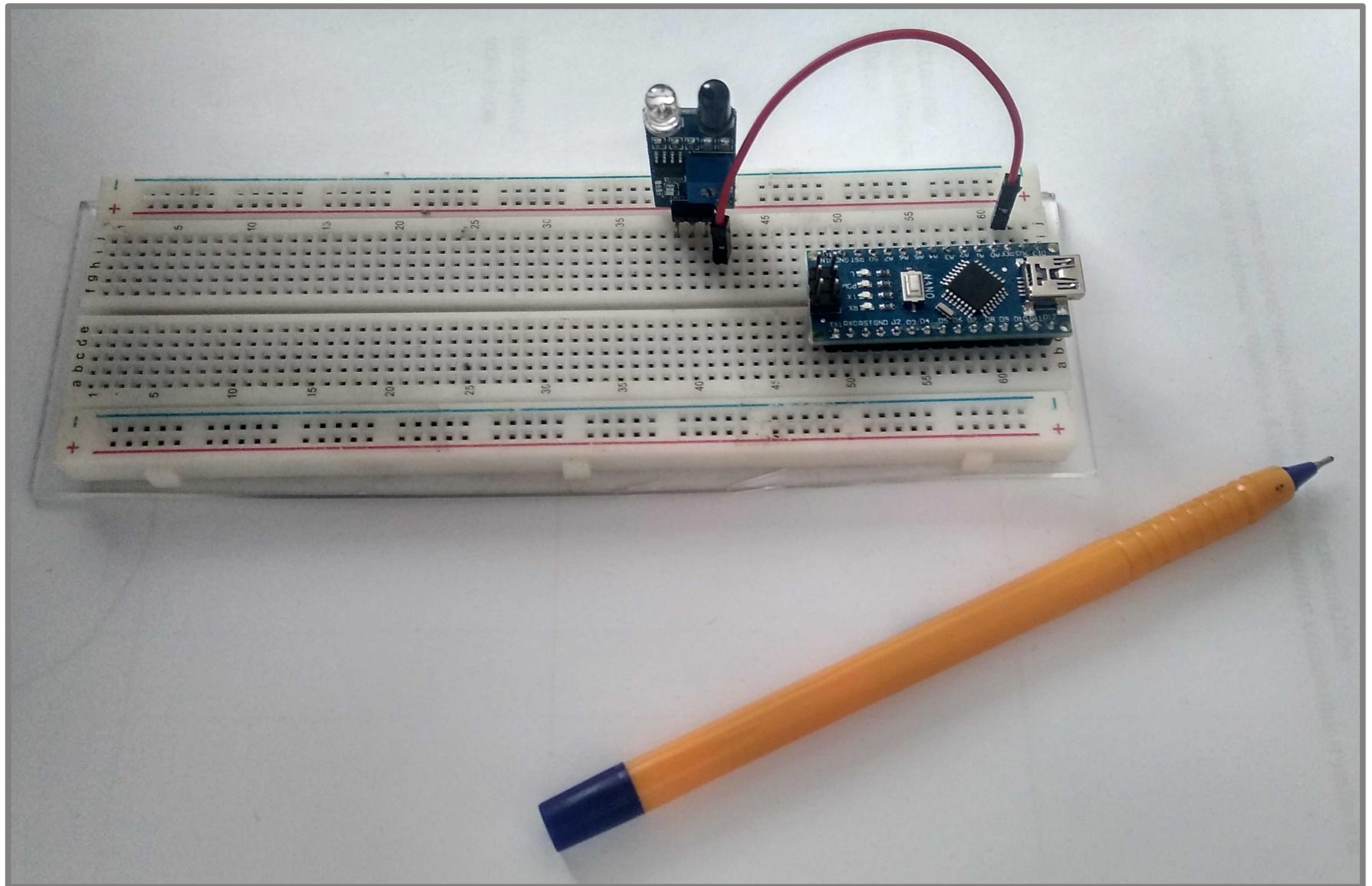
Маятник, используемый в детекторе
гравитационных волн LIGO

<https://www.ligo.caltech.edu/page/vibration-isolation>

Стенд для изучения колебаний



Микроконтроллер Arduino для фиксации колебаний



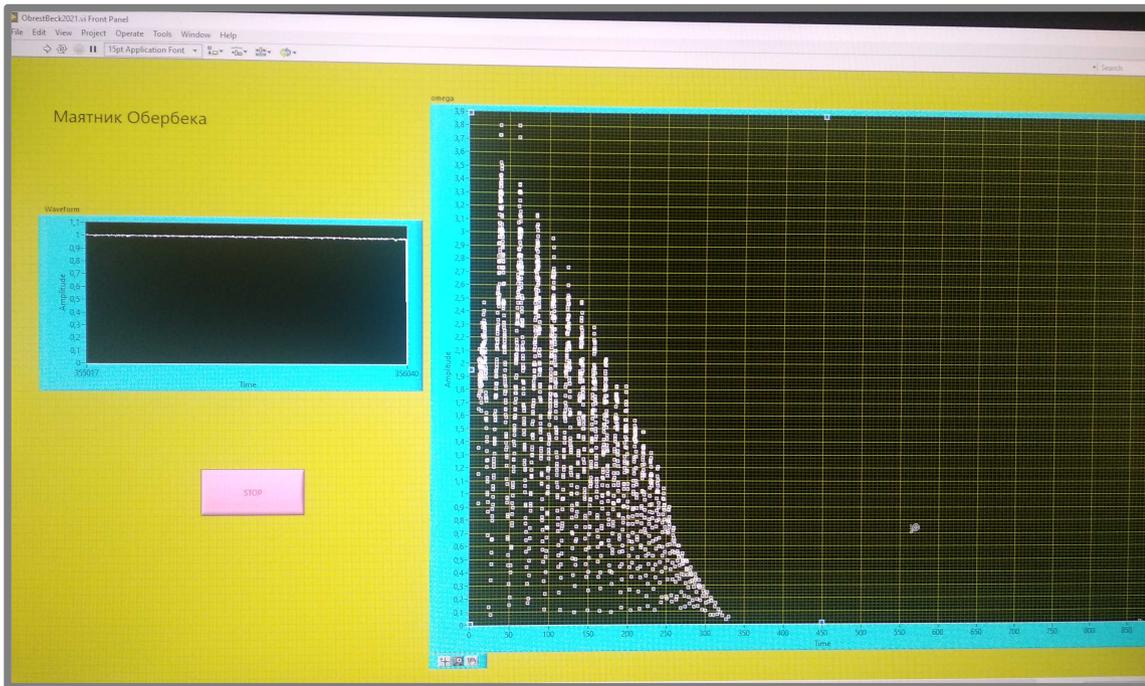
Микроконтроллер Arduino для фиксации колебаний



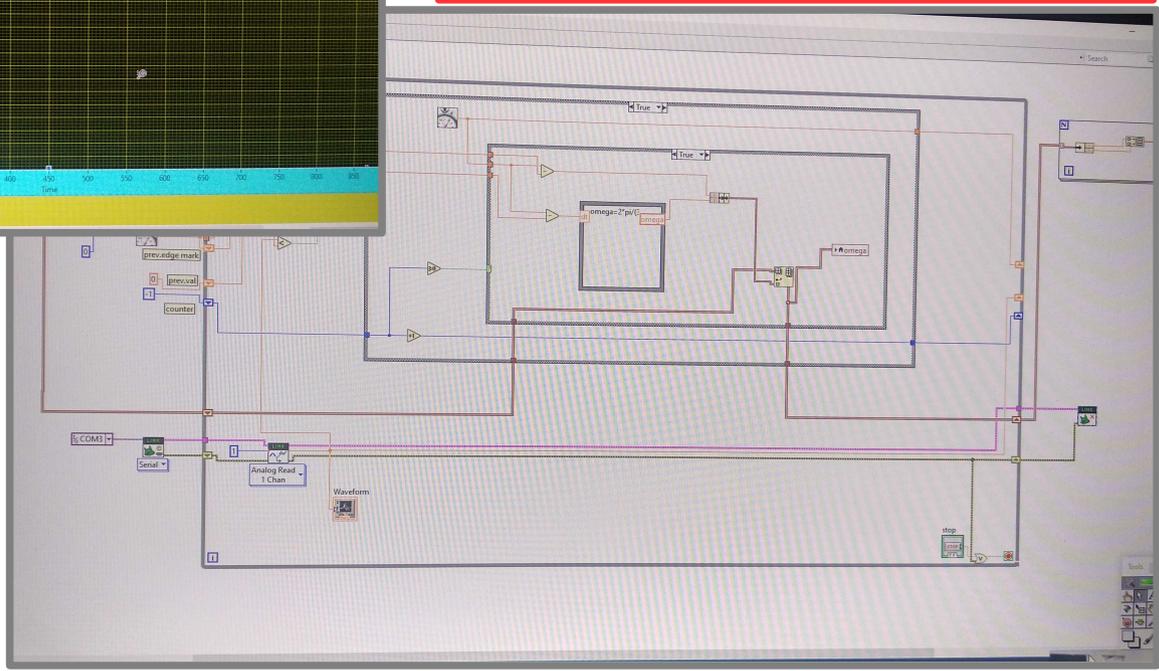
модуль Arduino NANO:

- 8 аналоговых входов
- 14 цифровых входов/выходов
- разнообразие дополнительных модулей

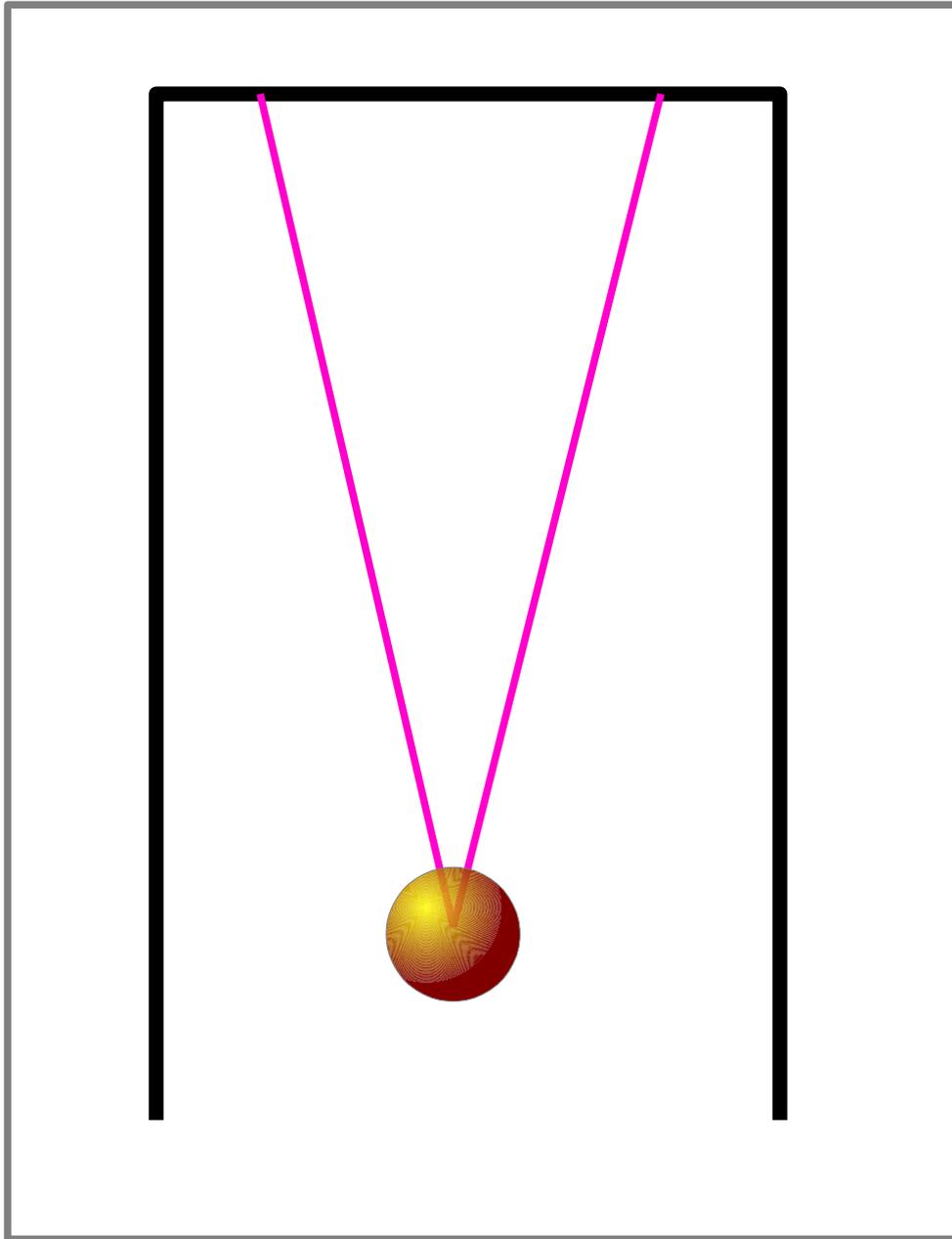
Компьютеризованный сбор данных и их первичная обработка



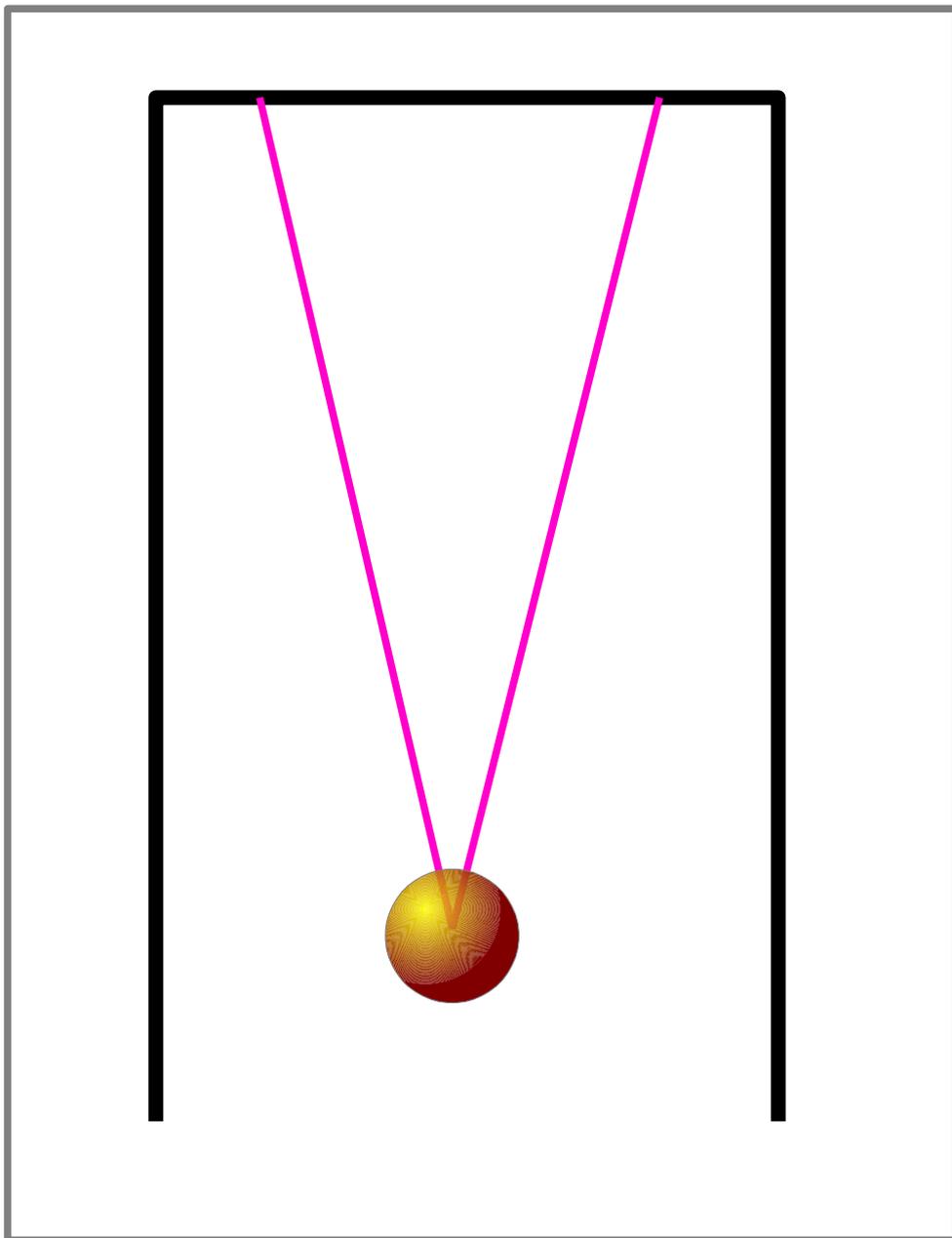
Мы используем среду LabView.
Возможно использование любых языков программирования



Опыт 1: математический маятник



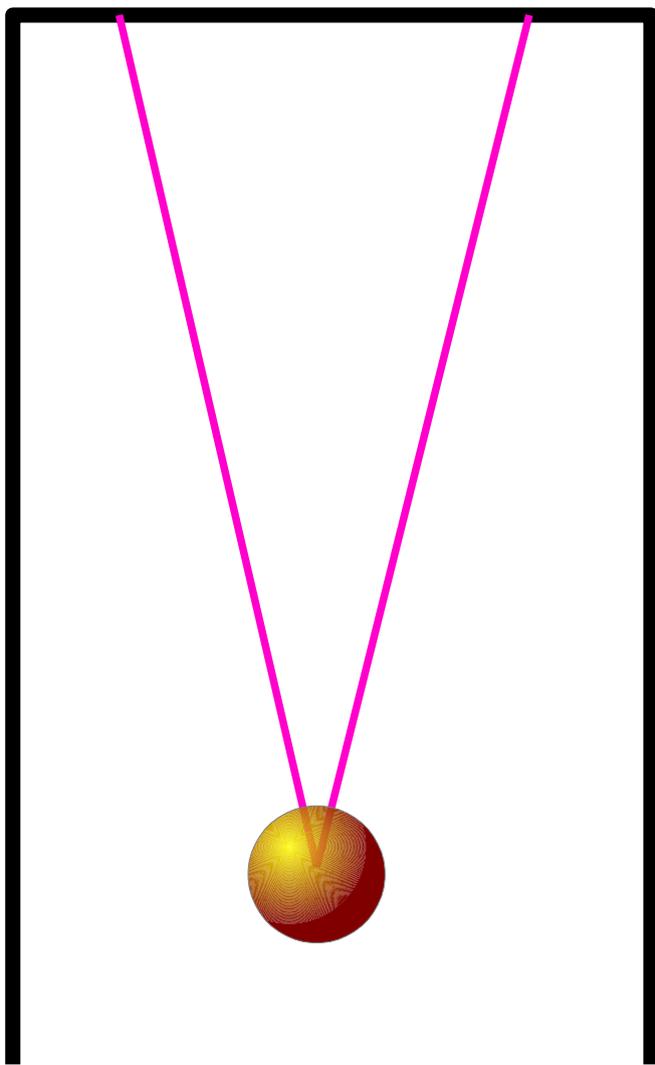
Опыт 1: математический маятник



Несколько технических
нюансов:

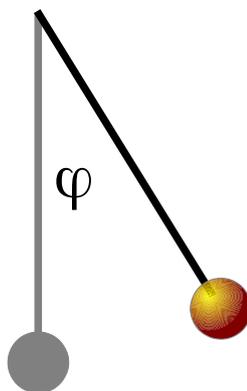
- V-образный скользящий подвес
- длину подвеса измерять не удобно
- возможны также колебания груза относительно точки подвеса

Опыт 1: математический маятник



Несколько технических

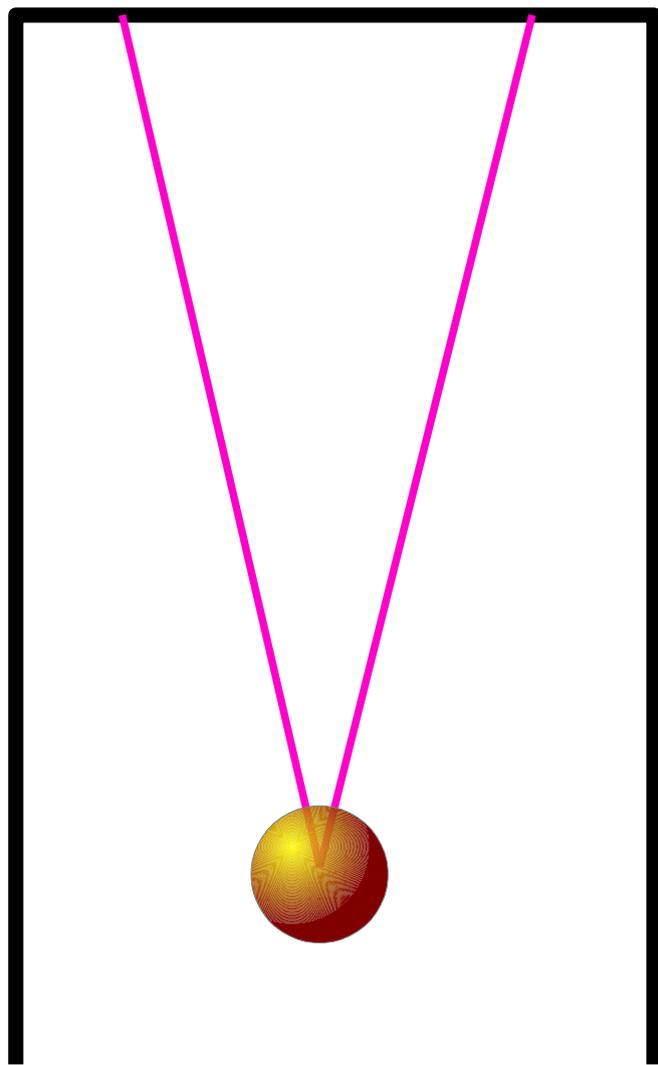
Маятник без затухания:



$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m V^2}{2} = const$$

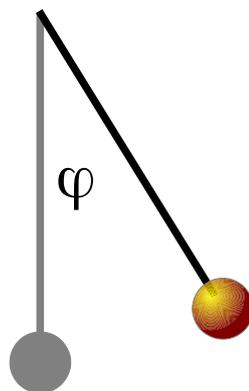
$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m l^2 \omega^2}{2} = const$$

Опыт 1: математический маятник



Несколько технических

Маятник без затухания:

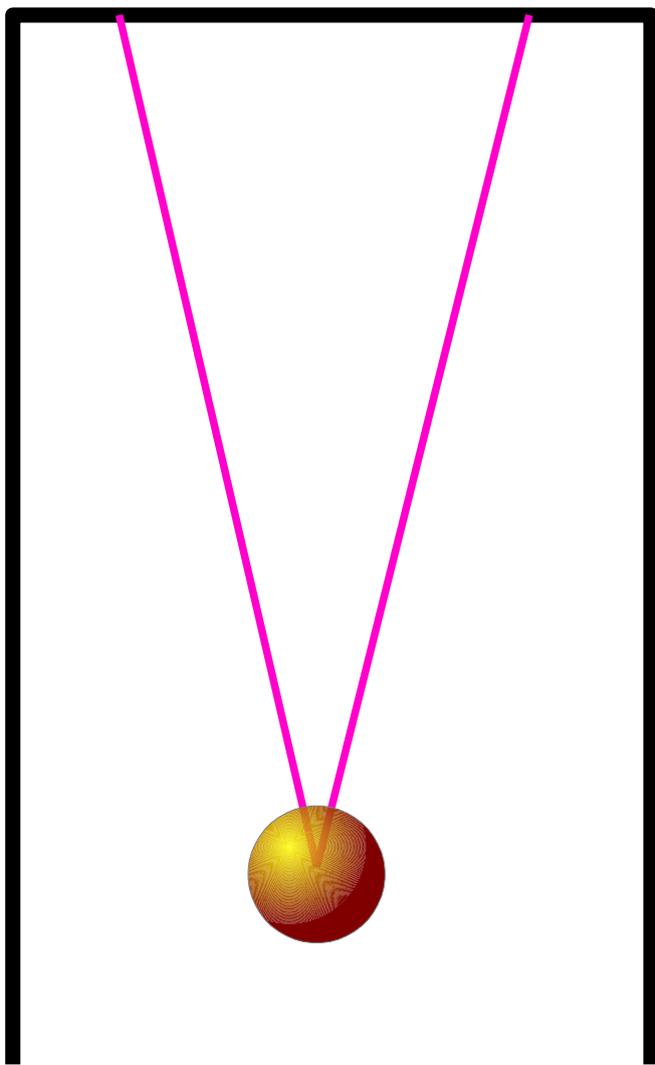


$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m V^2}{2} = const$$

$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m l^2 \omega^2}{2} = const$$

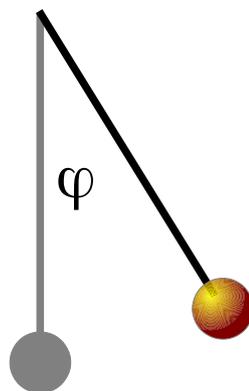
$$\frac{m g l}{2} \varphi^2 + \frac{m l^2}{2} (\dot{\varphi})^2 = const$$

Опыт 1: математический маятник



Несколько технических

Маятник без затухания:



$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m V^2}{2} = const$$

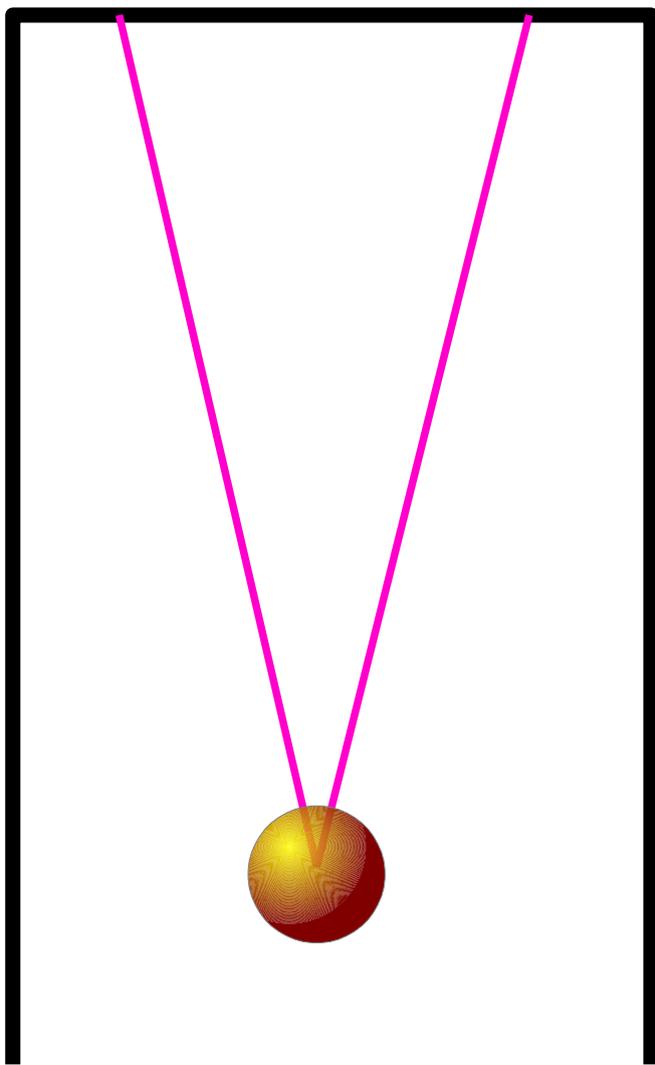
$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m l^2 \omega^2}{2} = const$$

$$\frac{m g l}{2} \varphi^2 + \frac{m l^2}{2} (\dot{\varphi})^2 = const$$

$$g \varphi \dot{\varphi} + l \dot{\varphi} \ddot{\varphi} = 0$$

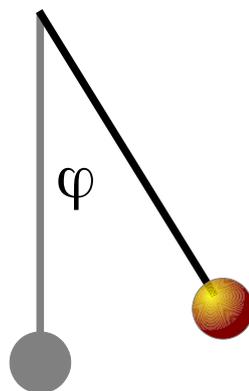
$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0$$

Опыт 1: математический маятник



Несколько технических

Маятник без затухания:



$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m V^2}{2} = const$$

$$m g l (1 - \cos \varphi) + \frac{m l^2 \omega^2}{2} = const$$

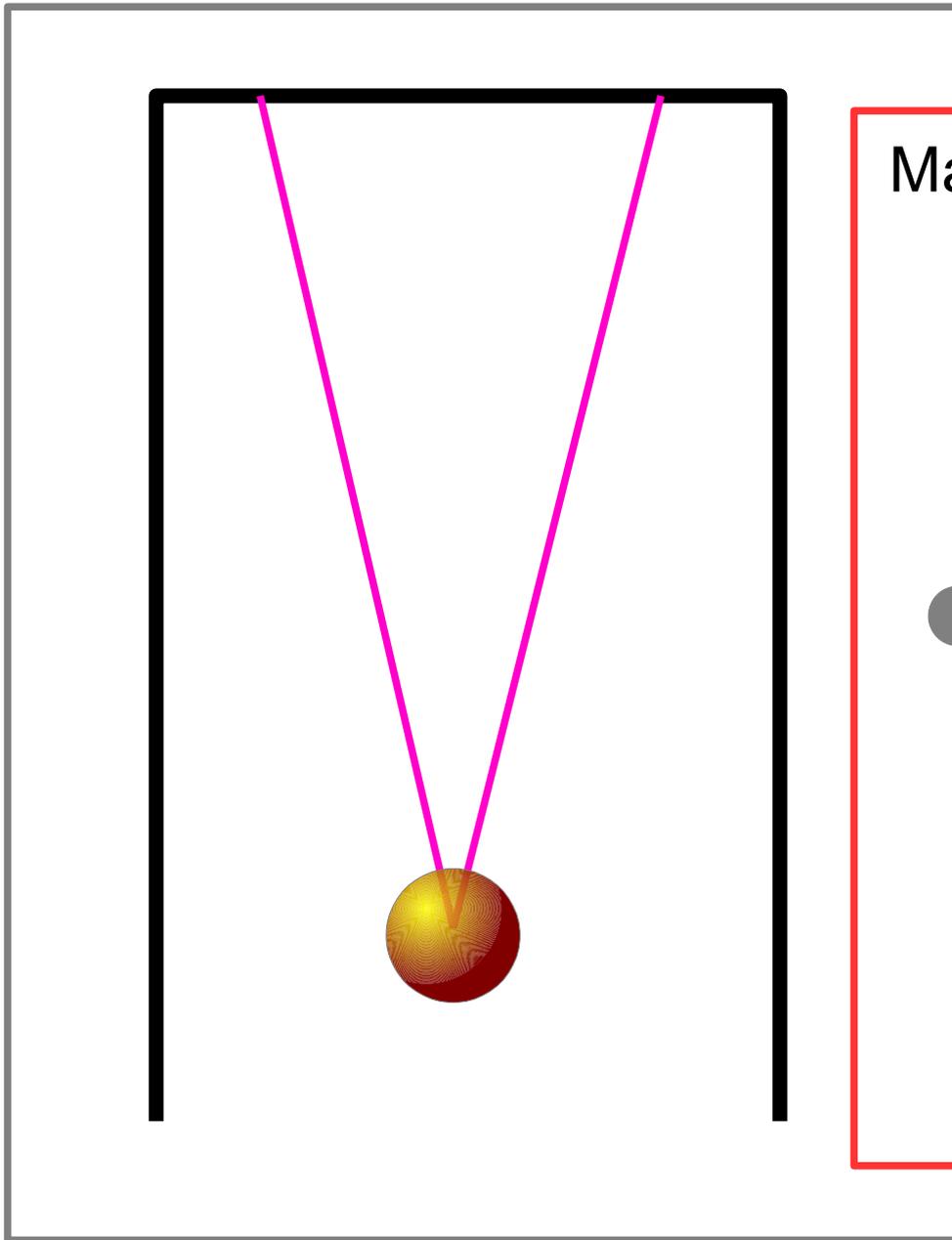
$$\frac{m g l}{2} \varphi^2 + \frac{m l^2}{2} (\dot{\varphi})^2 = const$$

$$g \varphi \dot{\varphi} + l \dot{\varphi} \ddot{\varphi} = 0$$

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0$$

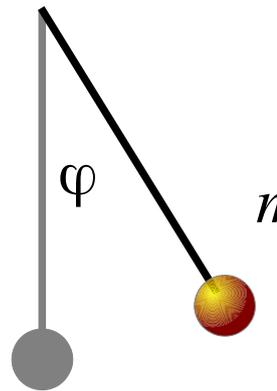
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Опыт 1: математический маятник



Несколько

Маятник б



Затухающие колебания

$$m l \ddot{\varphi} = -\xi l \dot{\varphi} - m g \sin \varphi$$

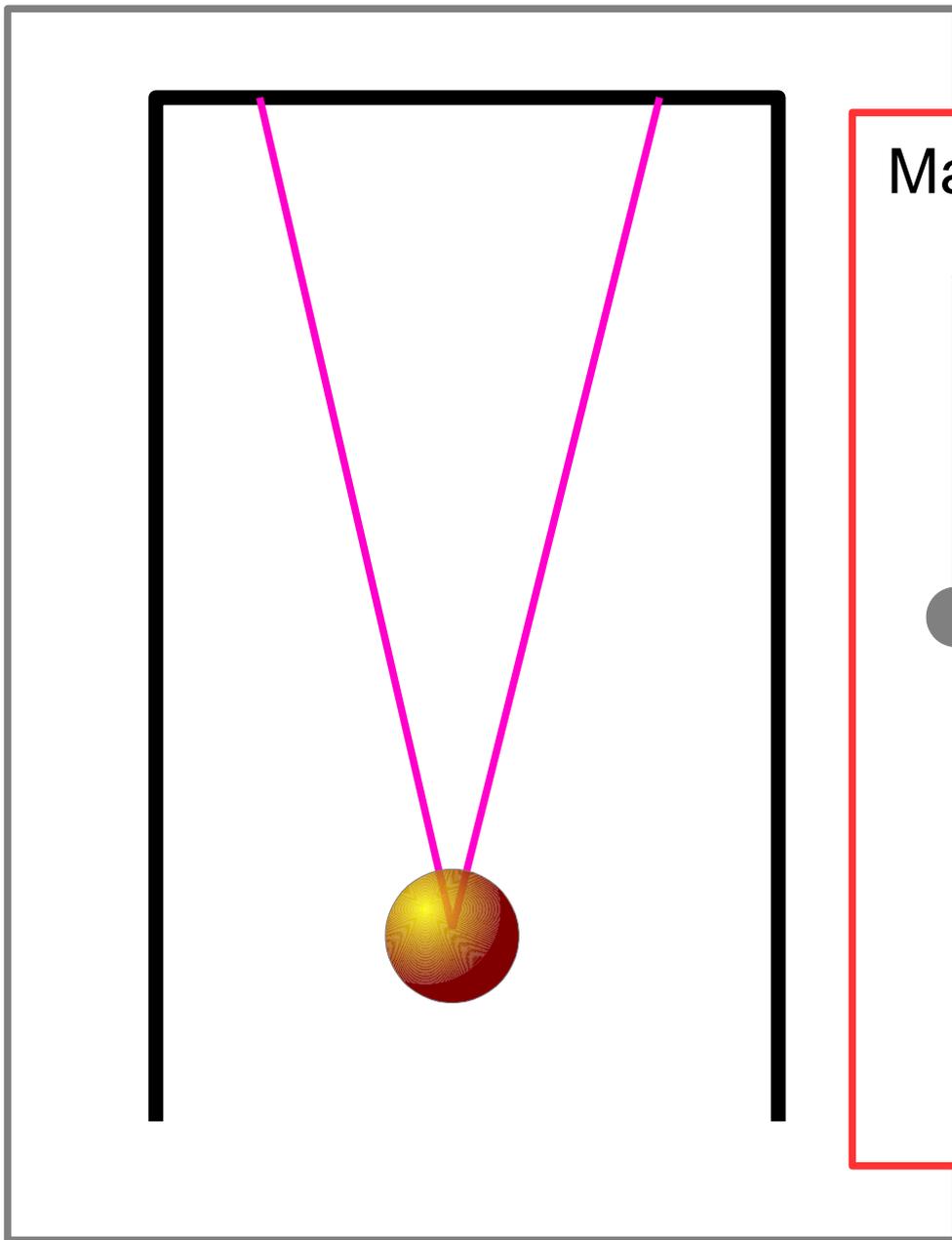
$$\ddot{\varphi} + 2\gamma \dot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0$$

$$\gamma = \frac{\xi}{2m}$$

$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0$$

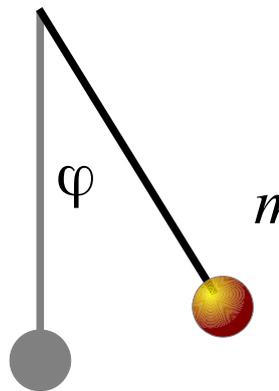
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Опыт 1: математический маятник



Неско

Маятник б



Затухающие колебания

$$m l \ddot{\varphi} = -\xi l \dot{\varphi} - m g \sin \varphi$$

$$\ddot{\varphi} + 2\gamma \dot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0$$

$$\gamma = \frac{\xi}{2m}$$

для $\omega_0 \gg \gamma$

$$\varphi(t) = A e^{-\gamma t} \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

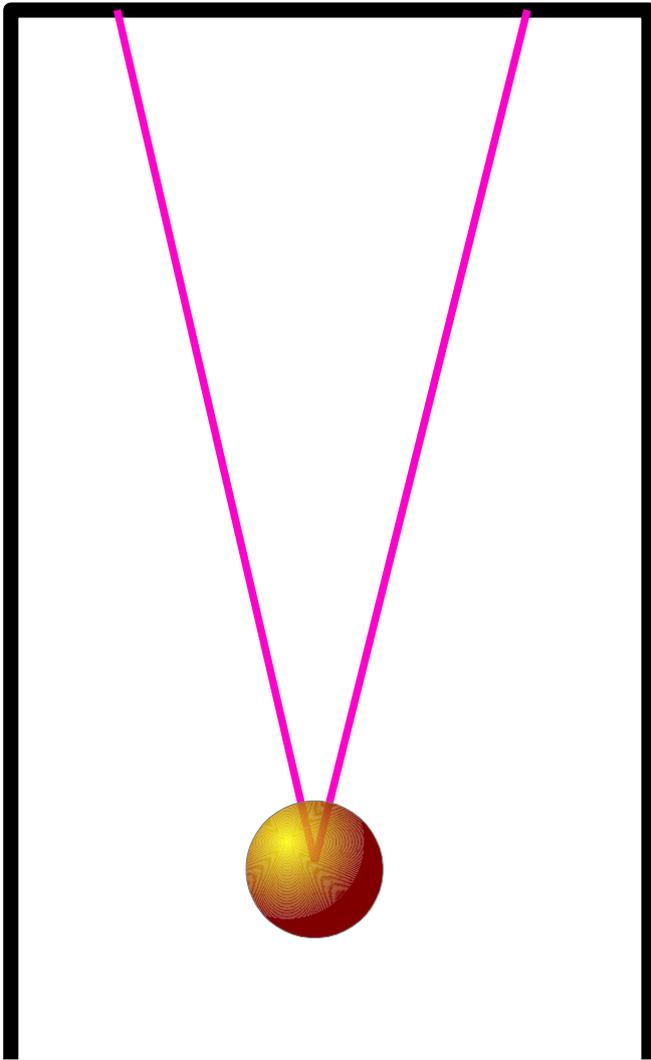
$$\ddot{\varphi} + \frac{g}{l} \varphi = 0$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Организация опыта

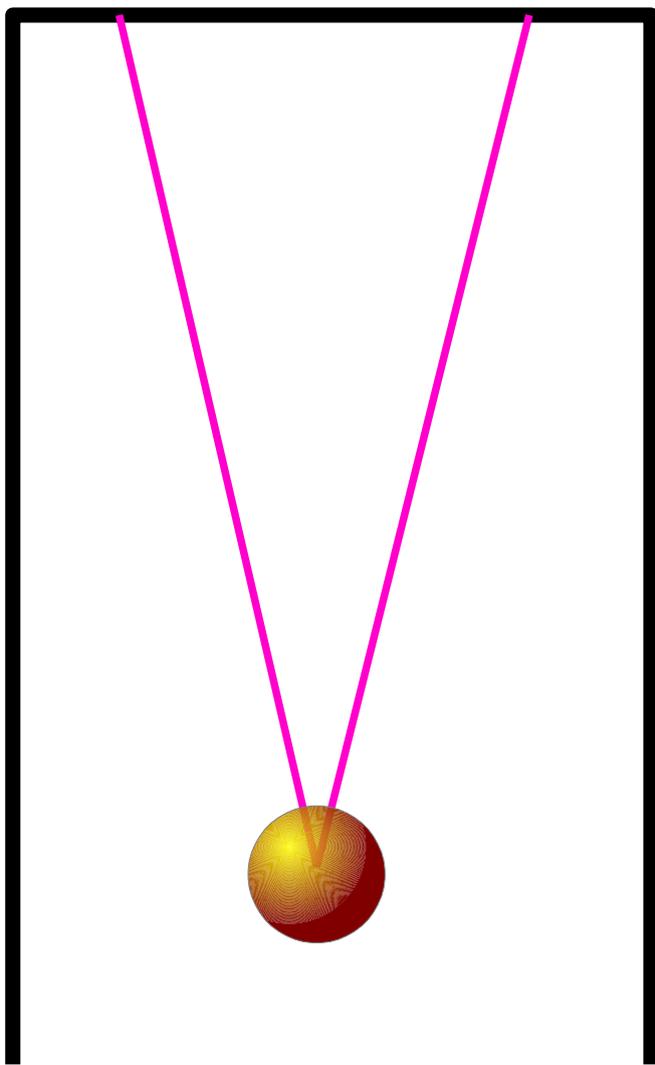
Опыт 1: математический маятник

Определяем g ...



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Опыт 1: математический маятник



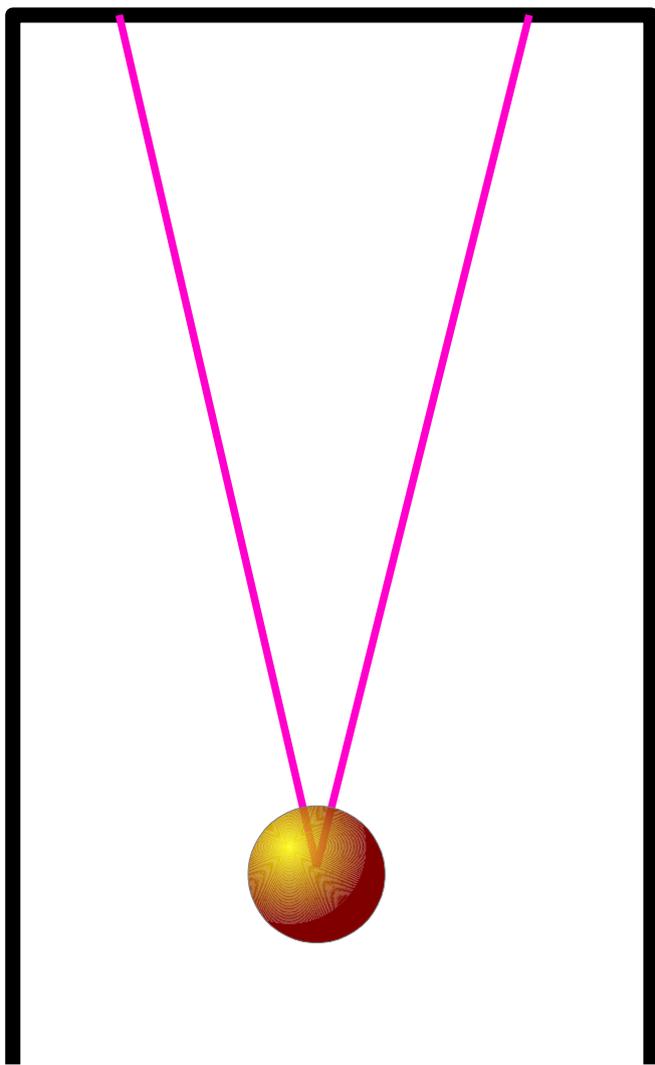
Определяем g ...

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

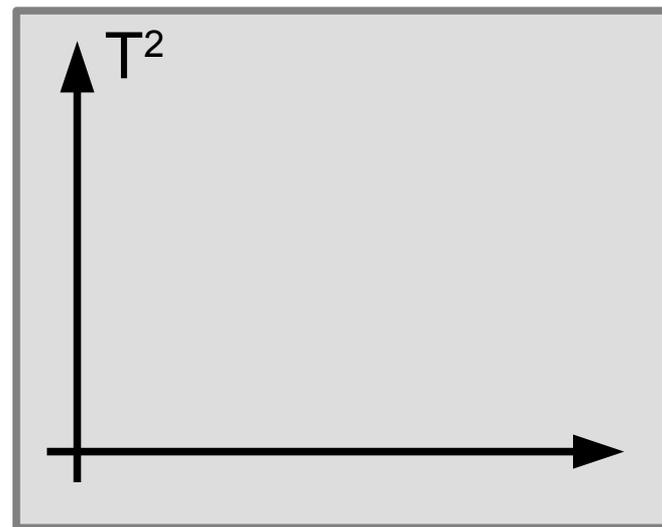
Опыт 1: математический маятник



Определяем g ...

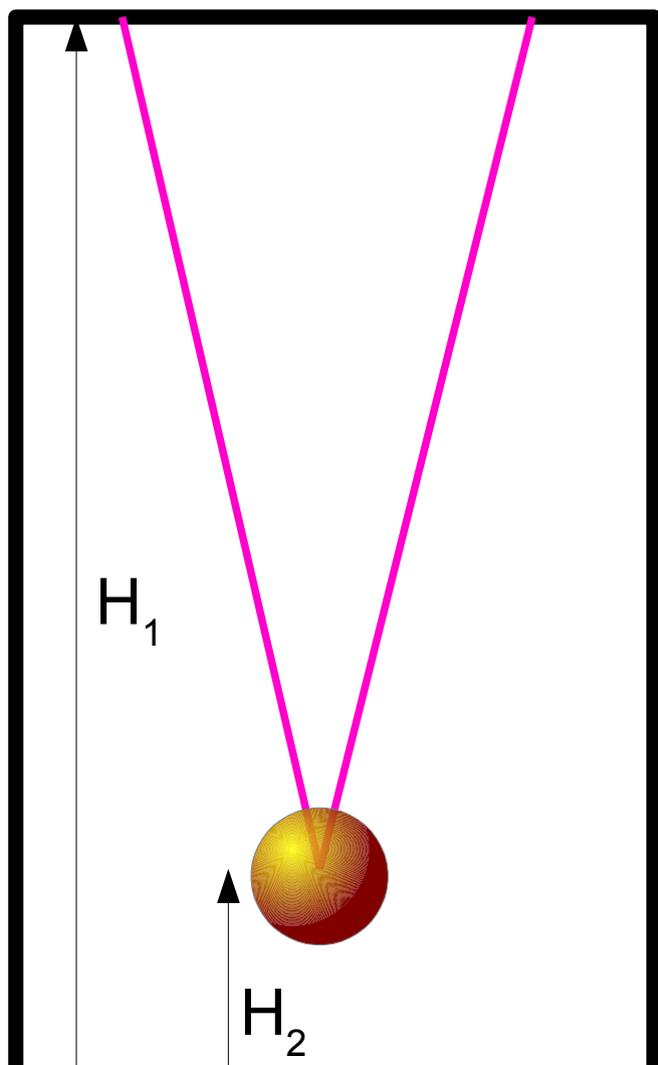
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}l$$



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

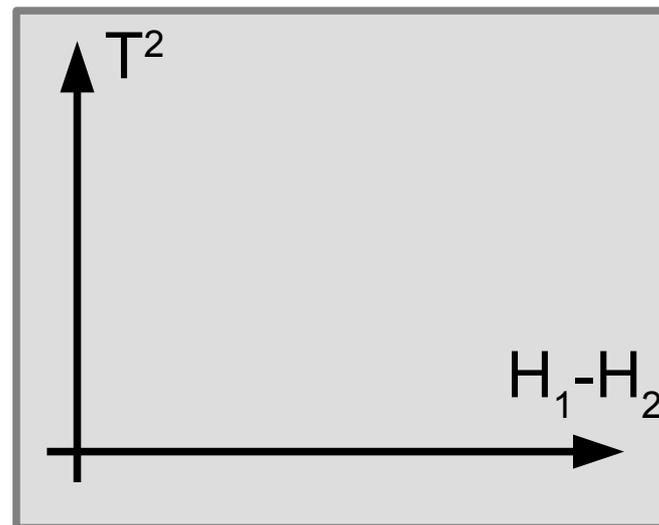
Опыт 1: математический маятник



Определяем g ...

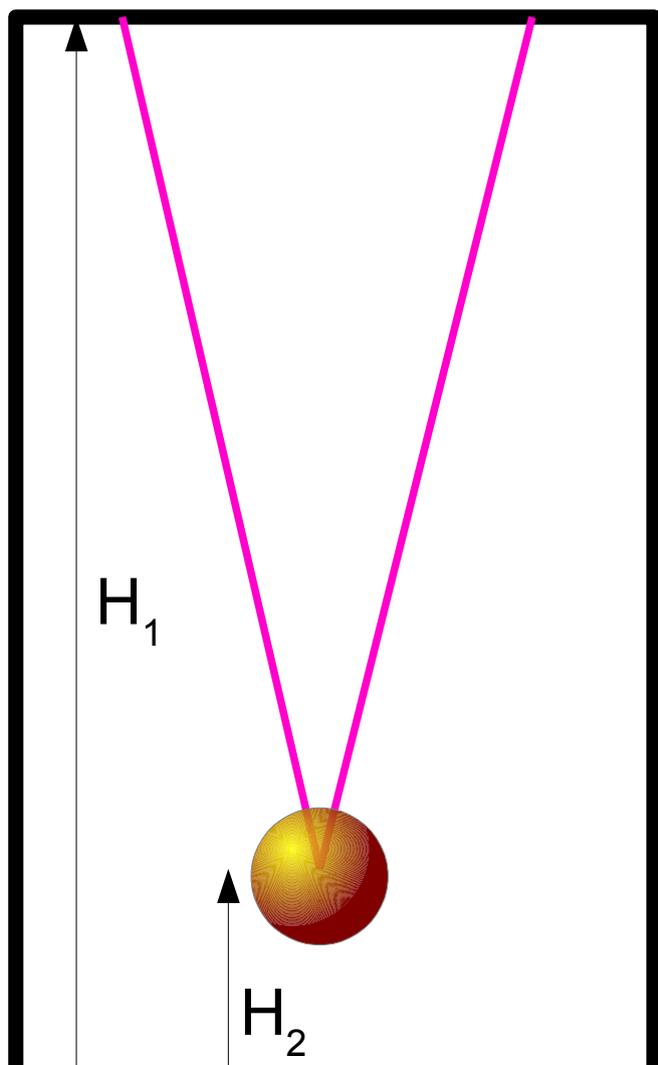
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l$$



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

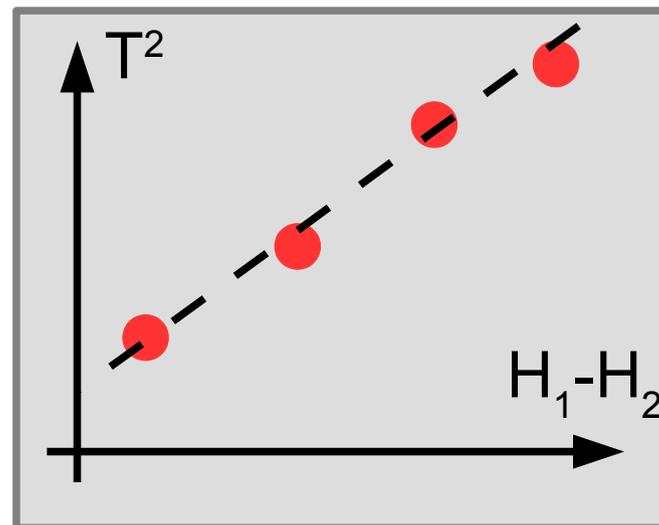
Опыт 1: математический маятник



Определяем g ...

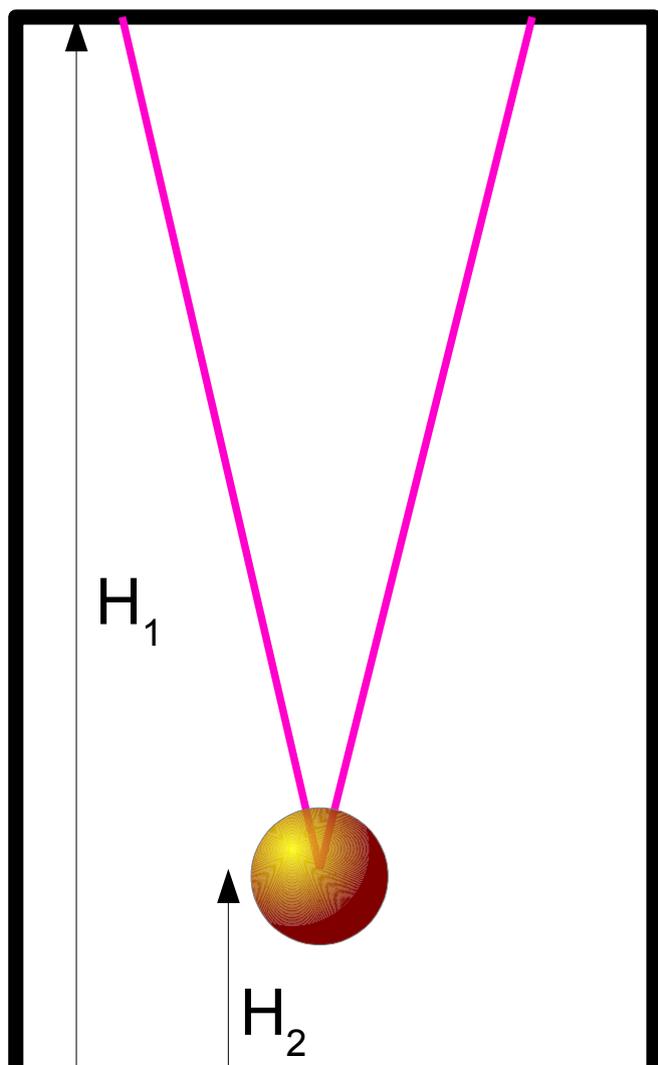
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} l$$



$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

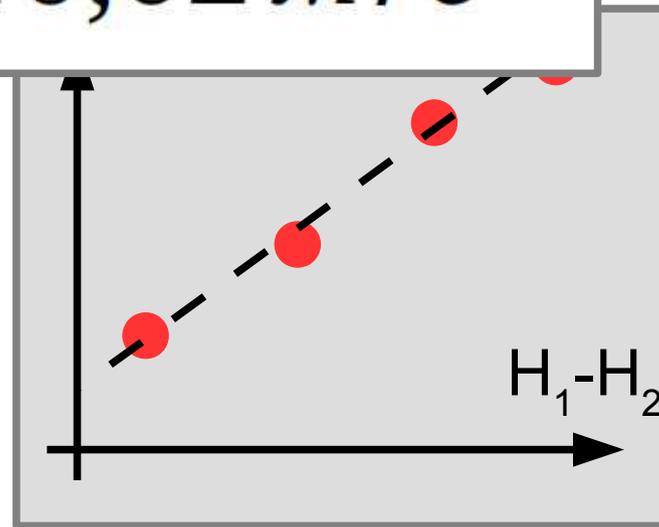
Опыт 1: математический маятник



Определяем g ...

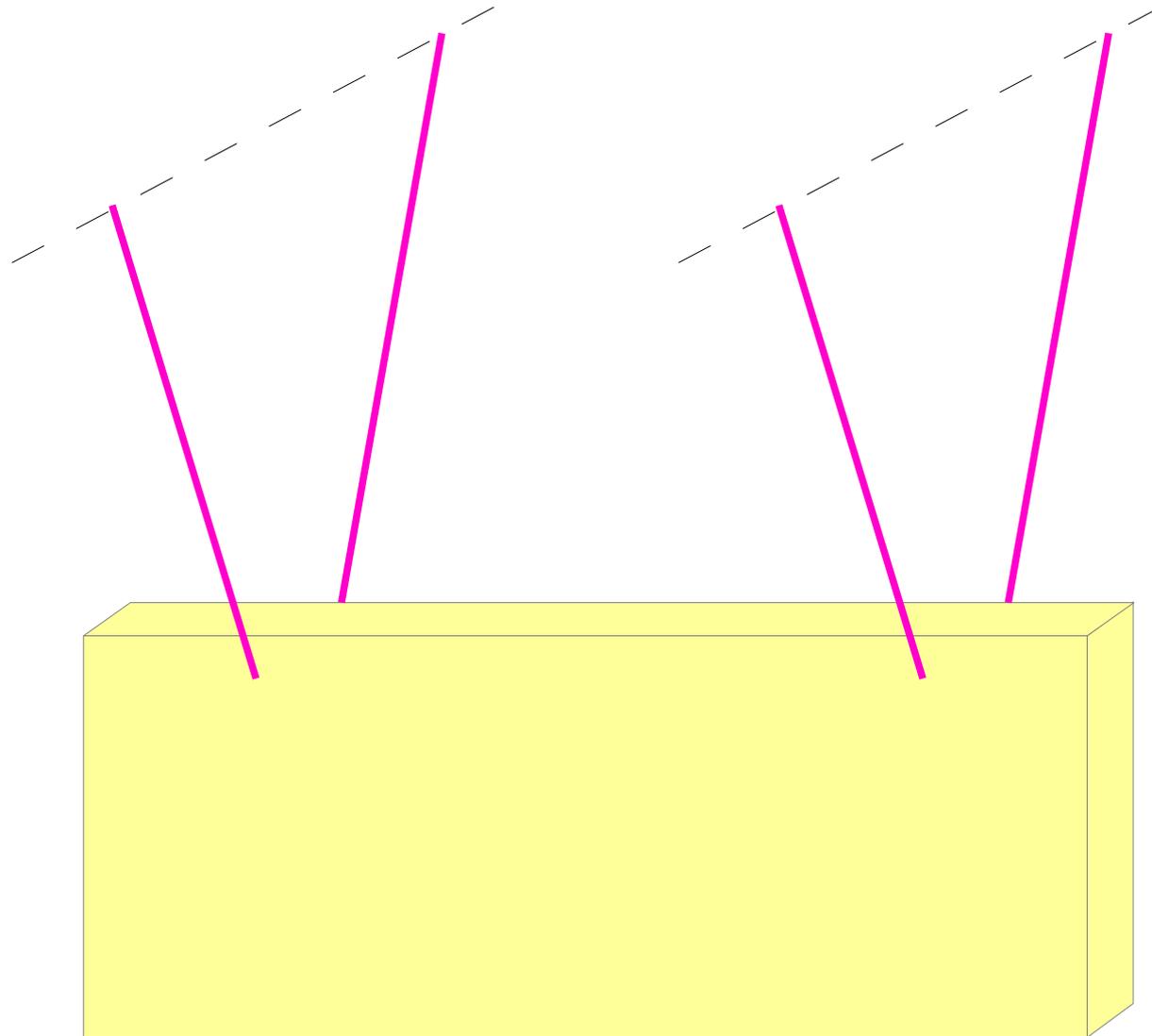
$$9,83 \pm 0,02 \text{ м/с}^2$$

g



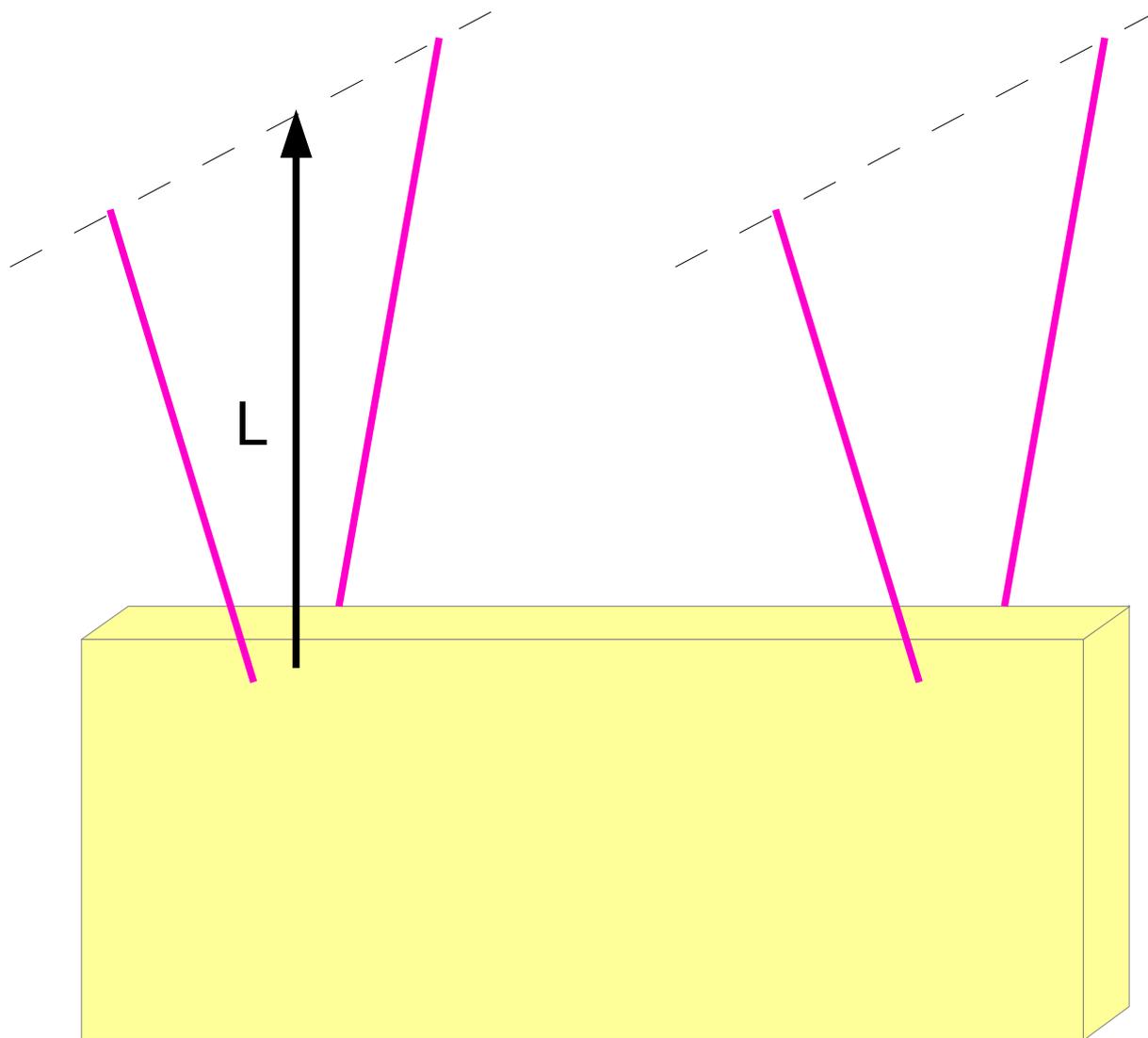
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

Опыт 2: вынужденные колебания, резонанс

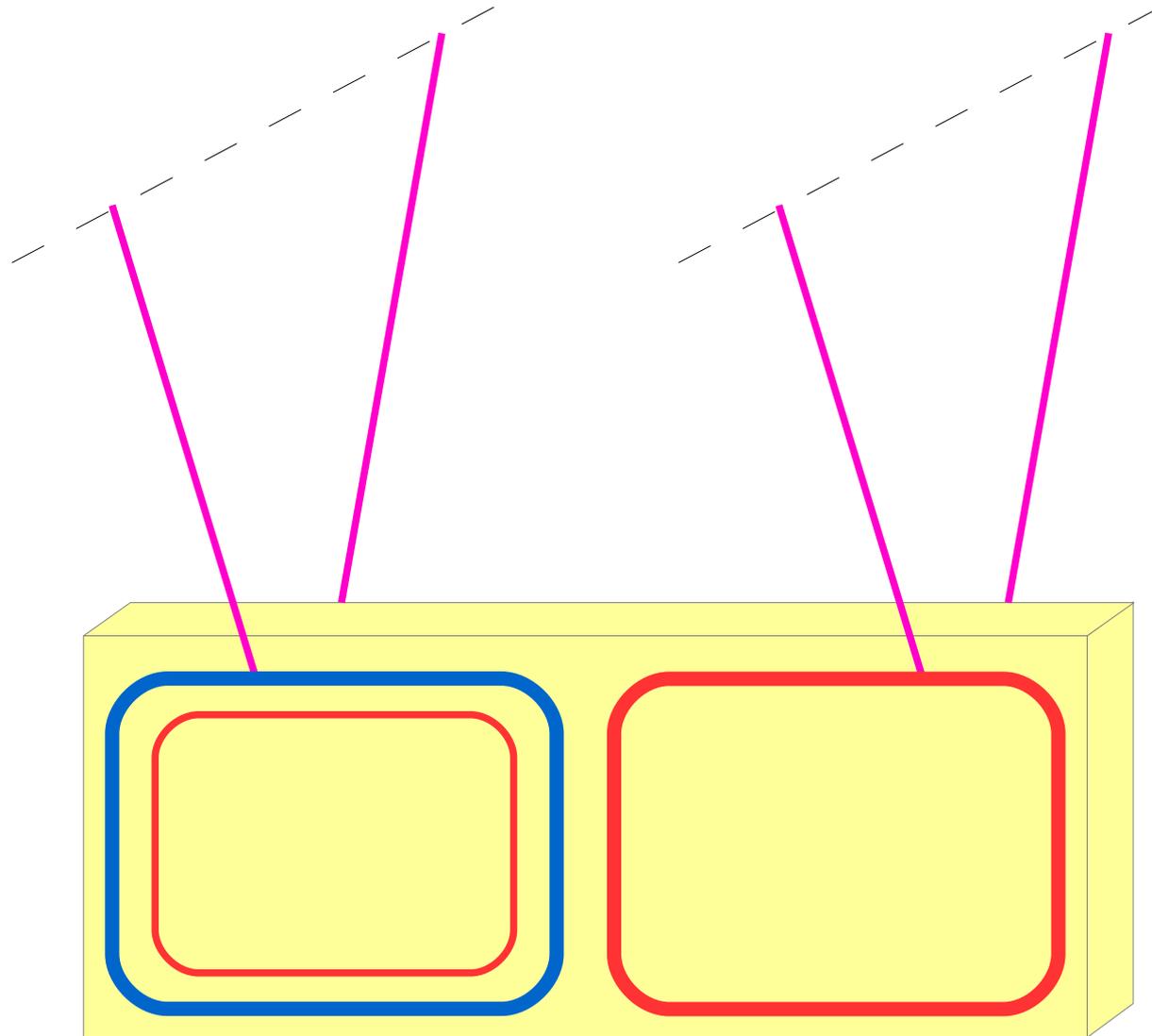


Опыт 2: вынужденные колебания, резонанс

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

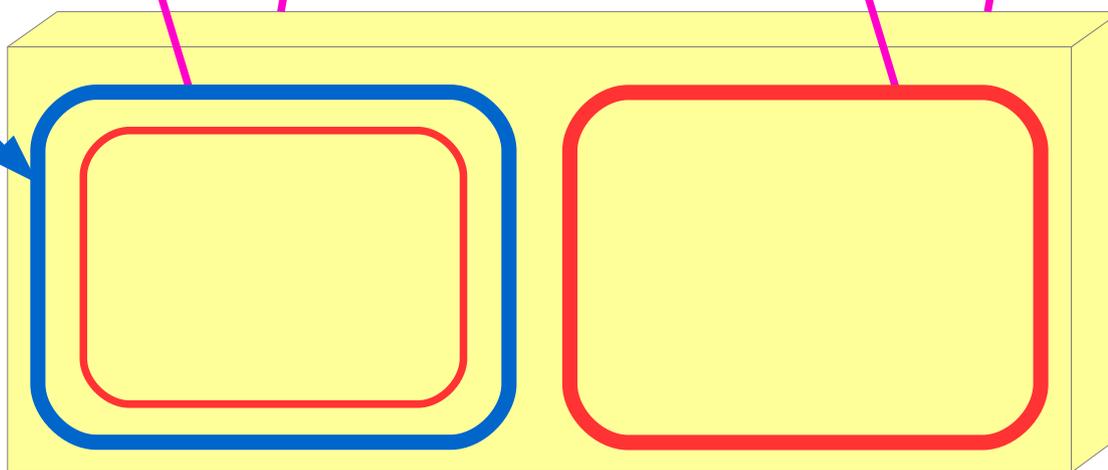


Опыт 2: вынужденные колебания, резонанс



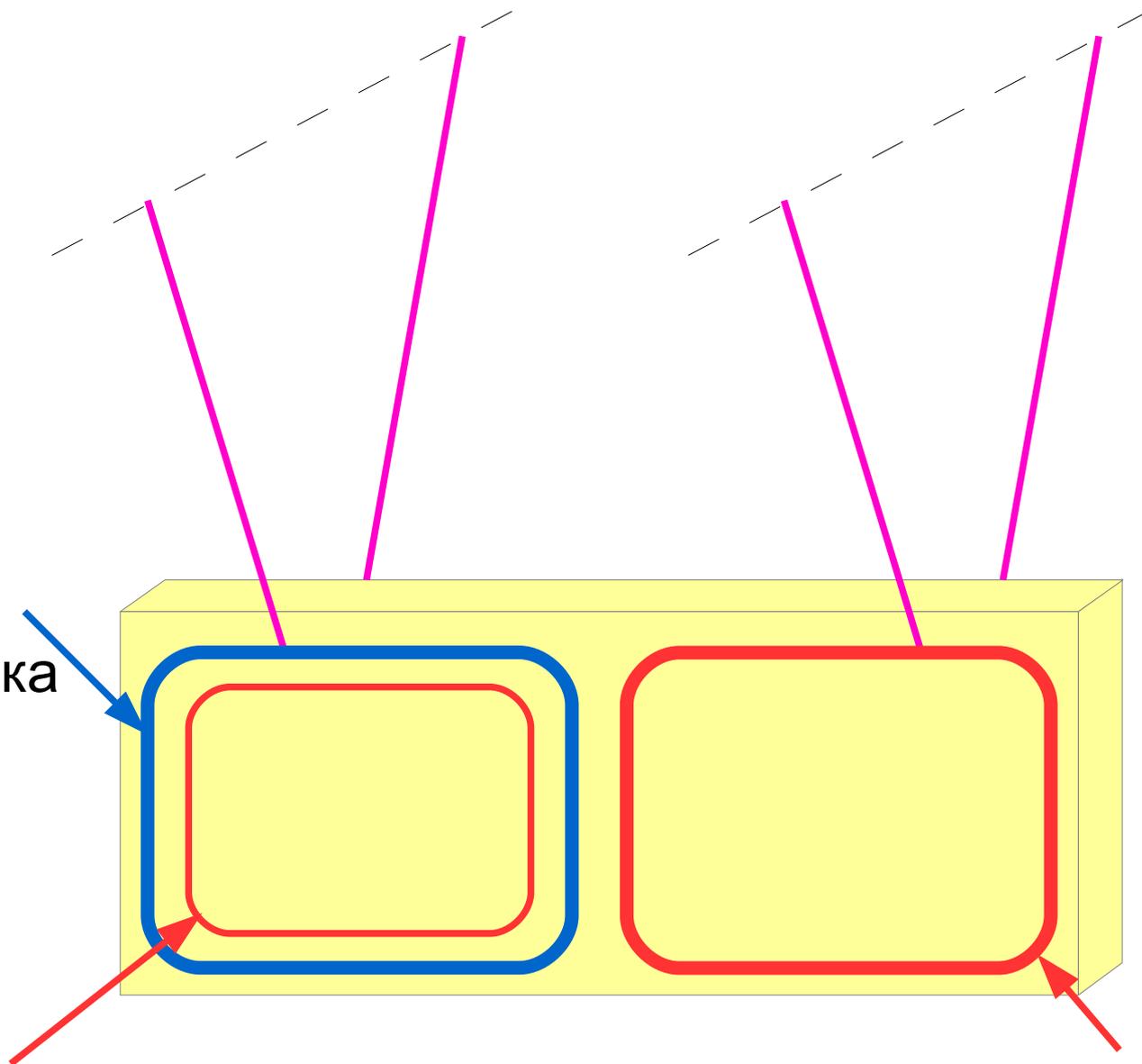
Опыт 2: вынужденные колебания, резонанс

подключена
через реле к
источнику тока
2А



Опыт 2: вынужденные колебания, резонанс

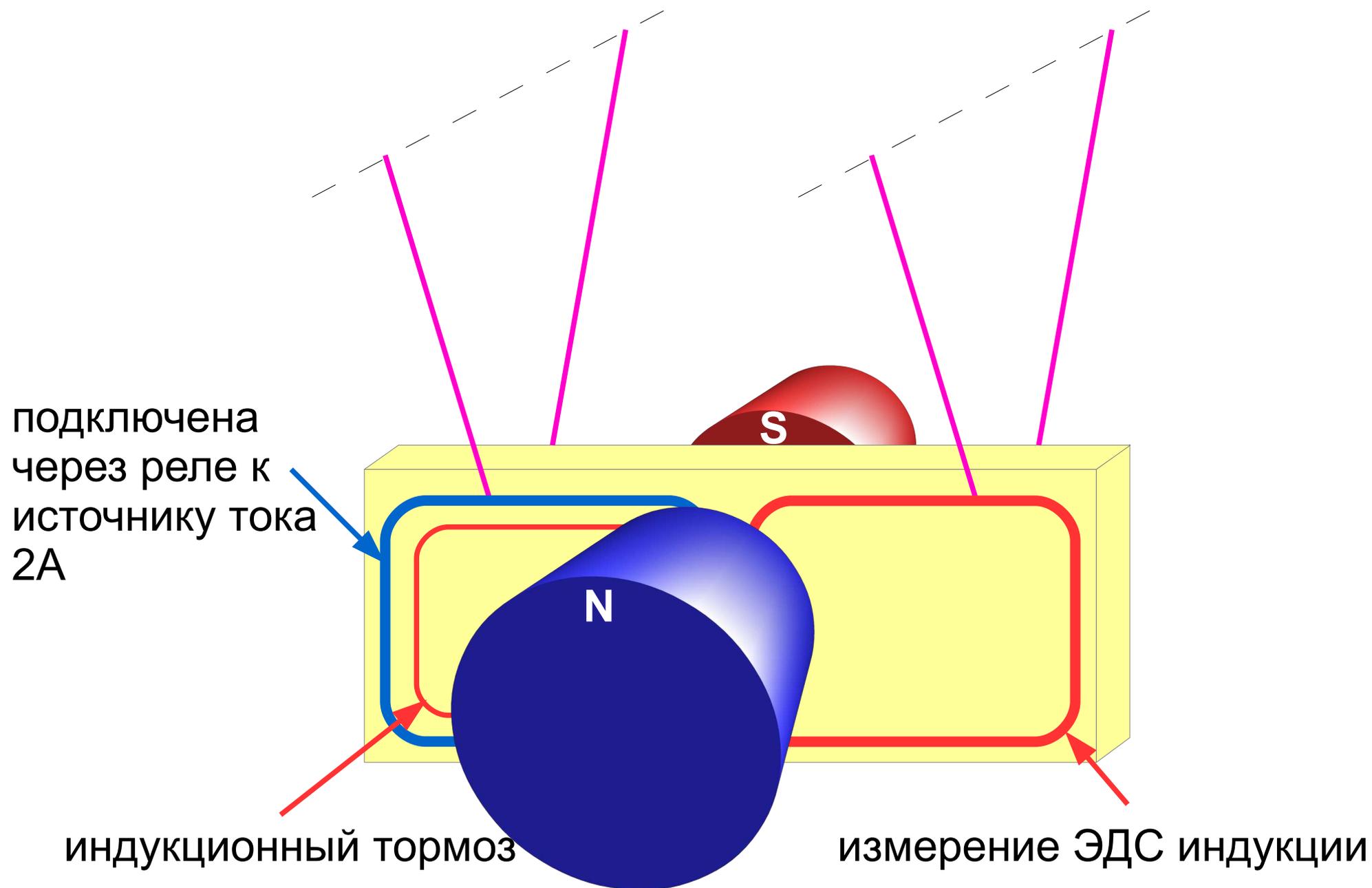
подключена
через реле к
источнику тока
2А



индукционный тормоз

измерение ЭДС индукции

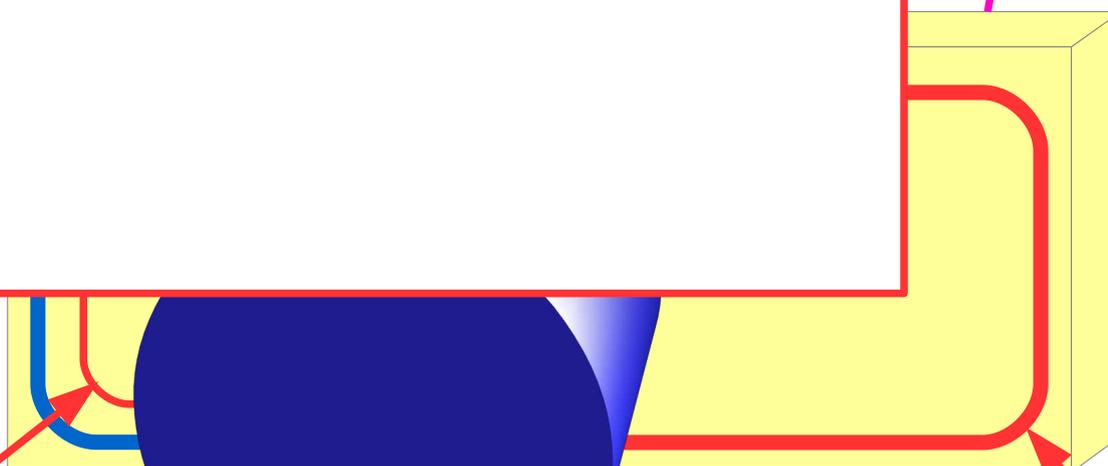
Опыт 2: вынужденные колебания, резонанс



$$m l \ddot{\varphi} = -\xi l \dot{\varphi} - m g l \varphi + F(t)$$

ия, резонанс

п
ч
и
2



индукционный тормоз

измерение ЭДС индукции

$$m l \ddot{\varphi} = -\xi l \dot{\varphi} - m g l \varphi + F(t)$$

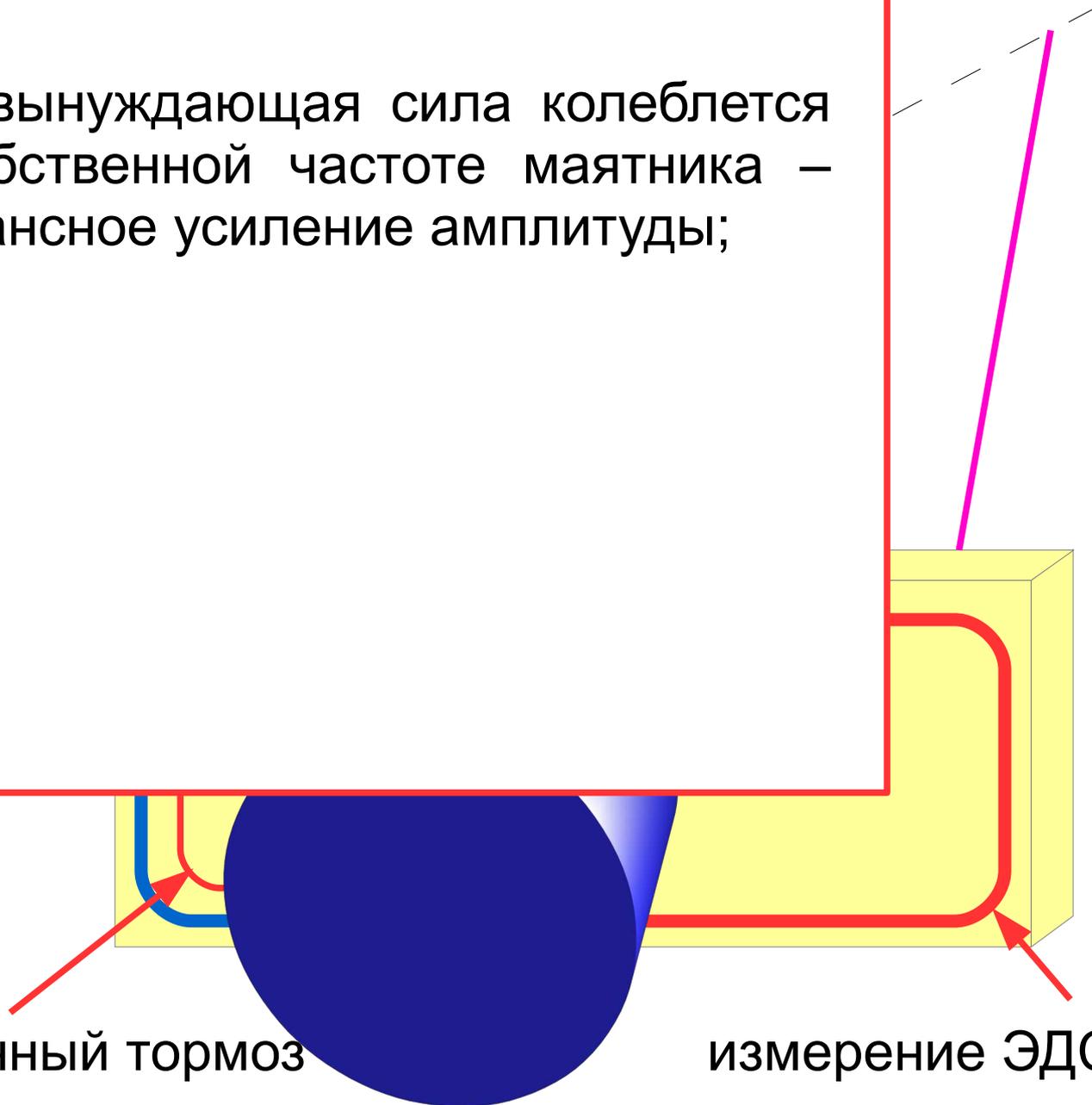
- Если вынуждающая сила колеблется на собственной частоте маятника – резонансное усиление амплитуды;

ия, резонанс

п
ч
и
2

индукционный тормоз

измерение ЭДС индукции

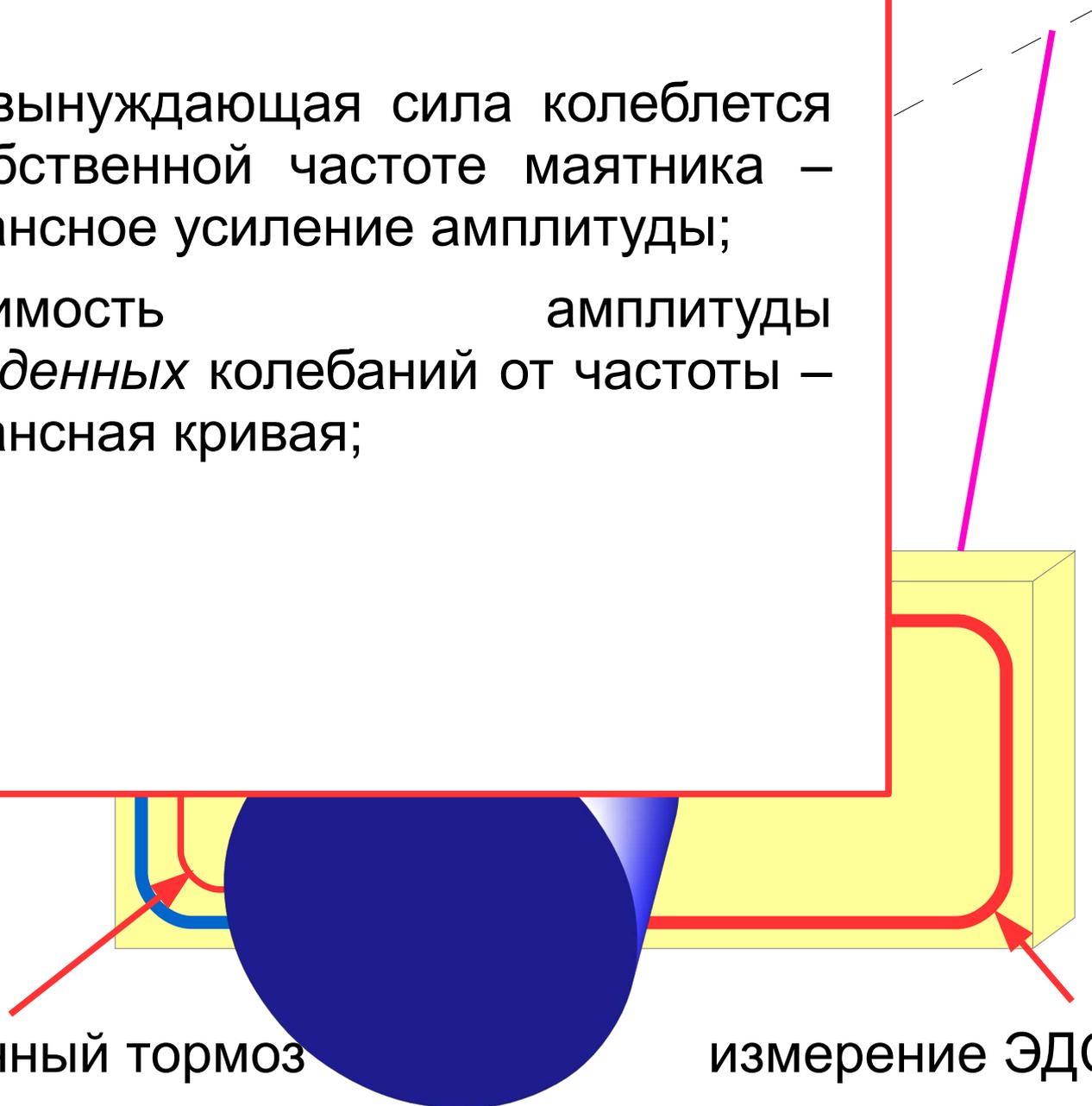


$$m l \ddot{\varphi} = -\xi l \dot{\varphi} - m g l \varphi + F(t)$$

- Если вынуждающая сила колеблется на собственной частоте маятника – резонансное усиление амплитуды;
- Зависимость амплитуды *вынужденных* колебаний от частоты – резонансная кривая;

ия, резонанс

п
ч
и
2



индукционный тормоз

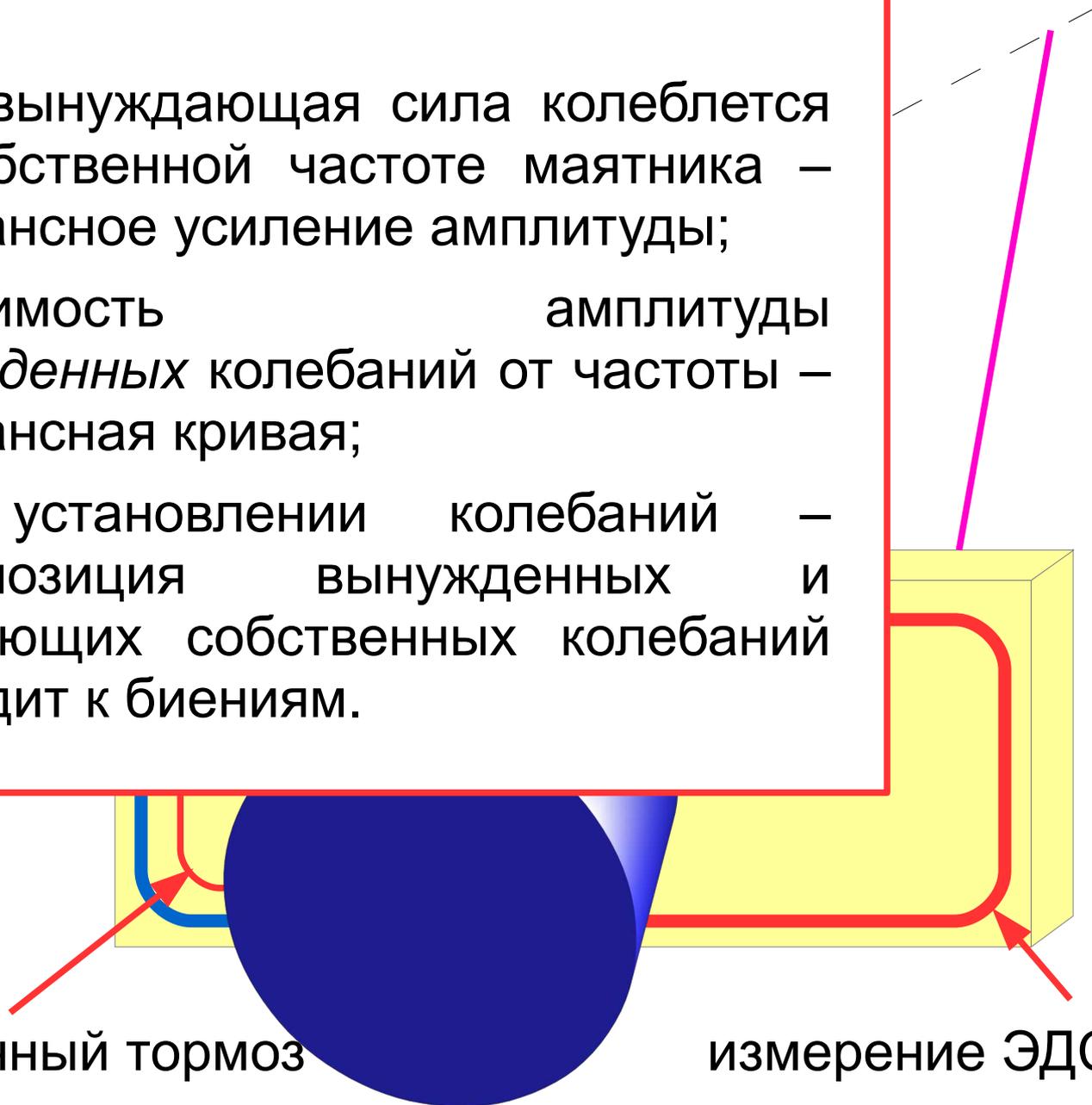
измерение ЭДС индукции

$$m l \ddot{\varphi} = -\xi l \dot{\varphi} - m g l \varphi + F(t)$$

ия, резонанс

- Если вынуждающая сила колеблется на собственной частоте маятника – резонансное усиление амплитуды;
- Зависимость амплитуды *вынужденных* колебаний от частоты – резонансная кривая;
- При установлении колебаний – суперпозиция вынужденных и затухающих собственных колебаний приводит к биениям.

п
ч
и
2



индукционный тормоз

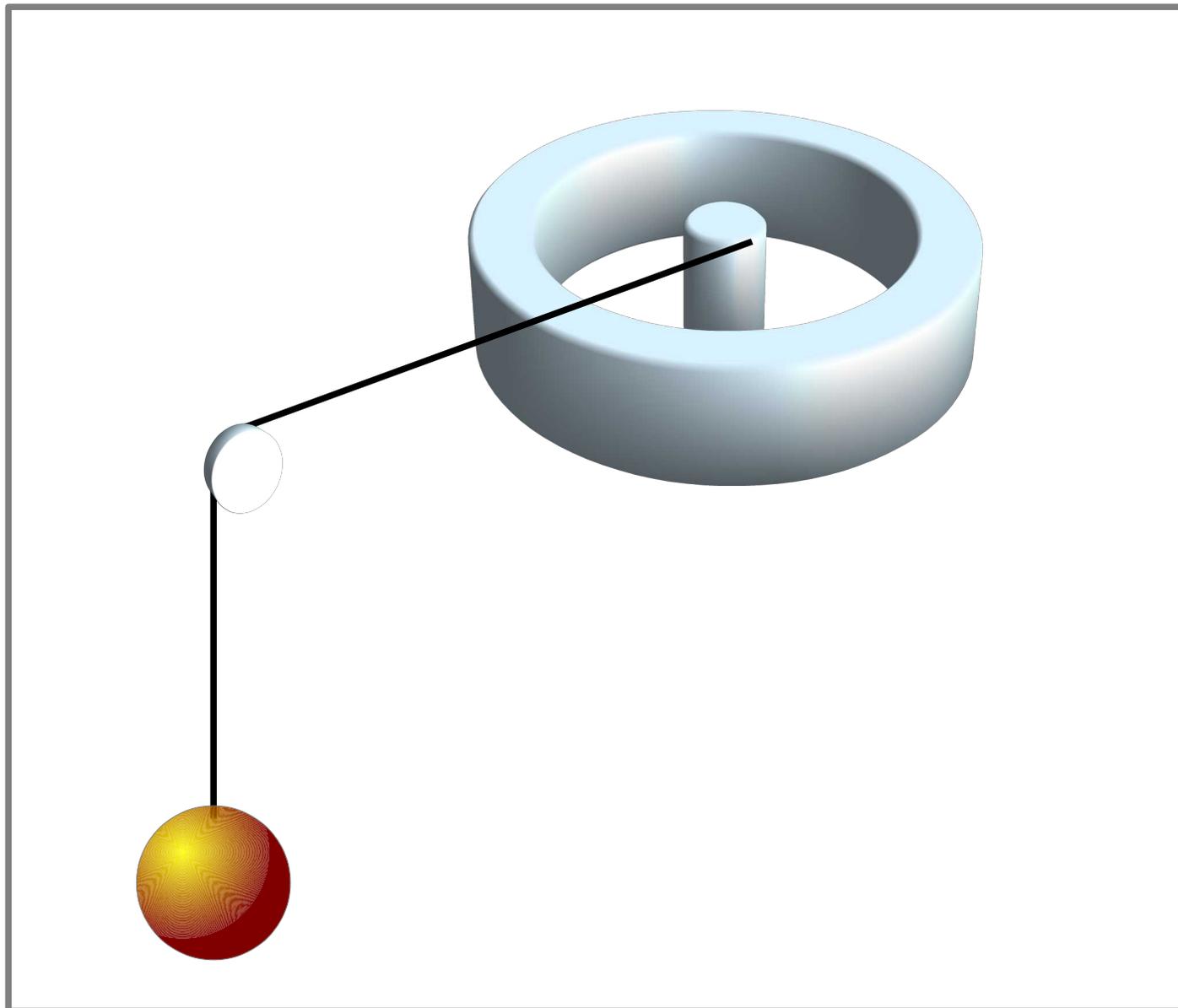
измерение ЭДС индукции

Организация опыта

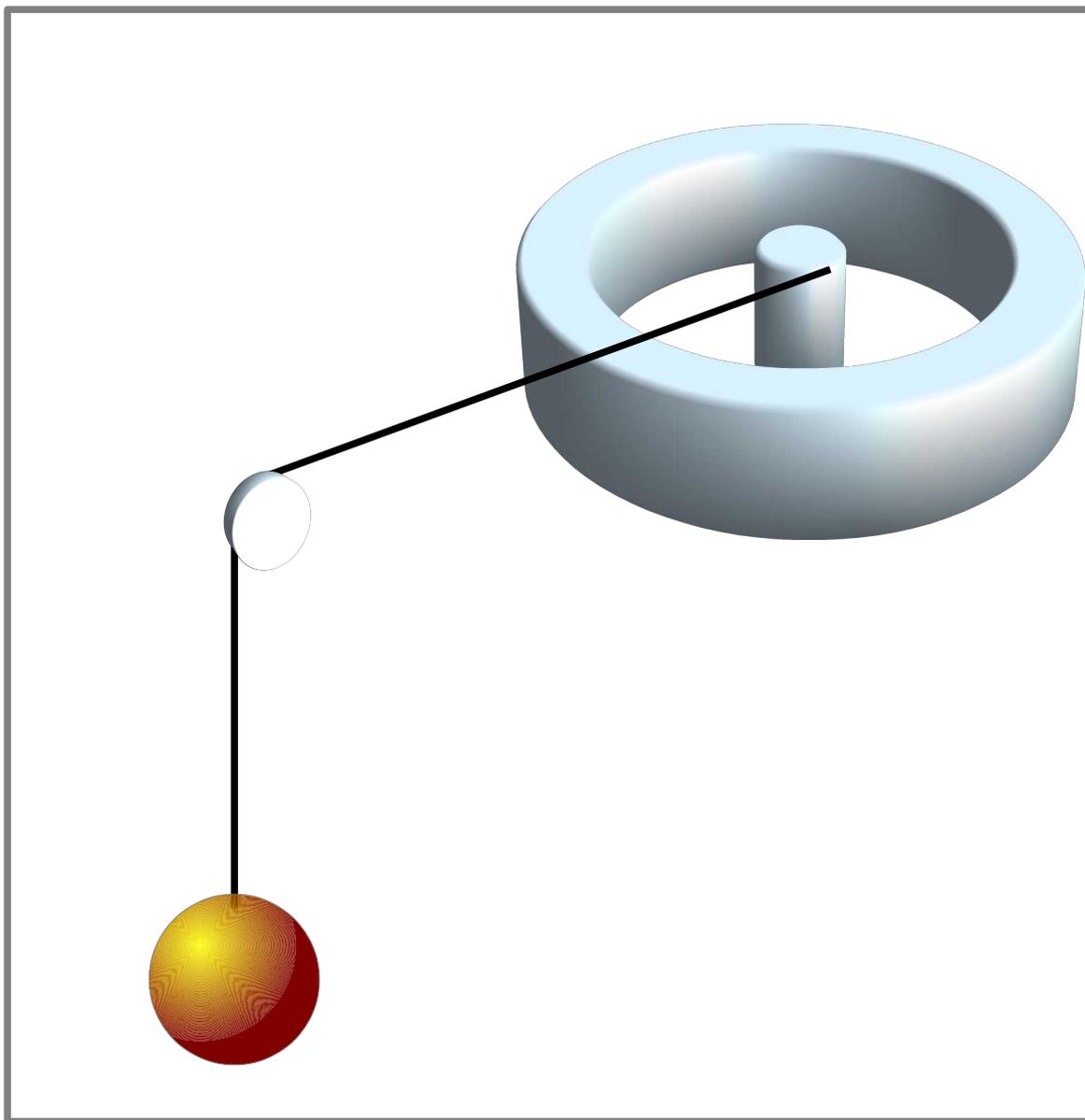
Результаты

- Резонансные колебания большой амплитуды
- Биения при установлении вынужденных колебаний, измерение резонансной кривой
- Резонанс на кратных гармониках вынуждающей силы

Опыт 3: Маятник Обербека



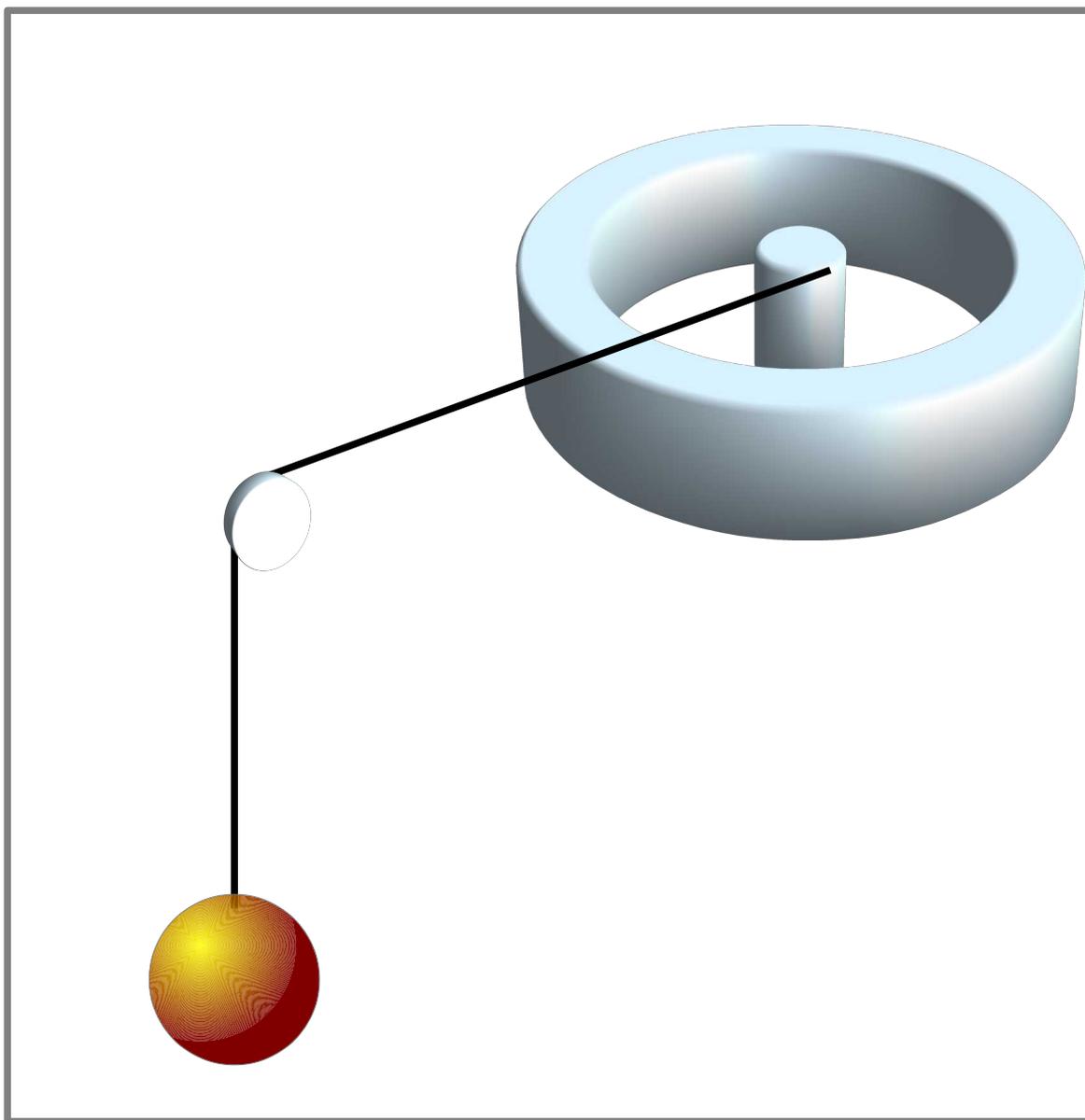
Опыт 3: Маятник Обербека



груз идёт вниз

$$\begin{cases} I \dot{\omega} = T r - M_{mp} \\ m r \dot{\omega} = m g - T \end{cases}$$

Опыт 3: Маятник Обербека

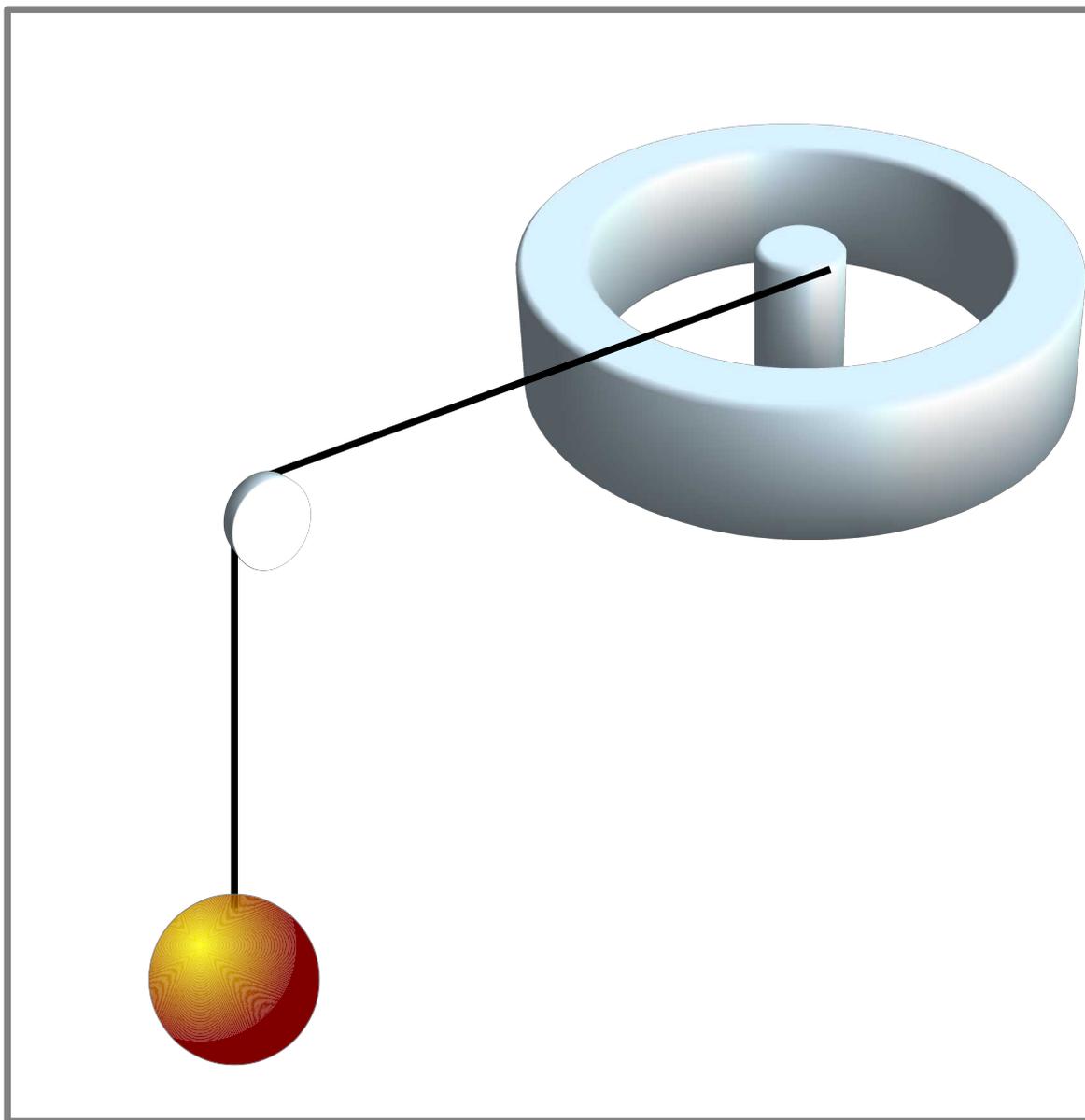


груз идёт вниз

$$\begin{cases} I \dot{\omega} = T r - M_{mp} \\ m r \dot{\omega} = m g - T \end{cases}$$

$$\dot{\omega} = \frac{m g r - M_{mp}}{I + m r^2}$$

Опыт 3: Маятник Обербека



груз идёт вниз

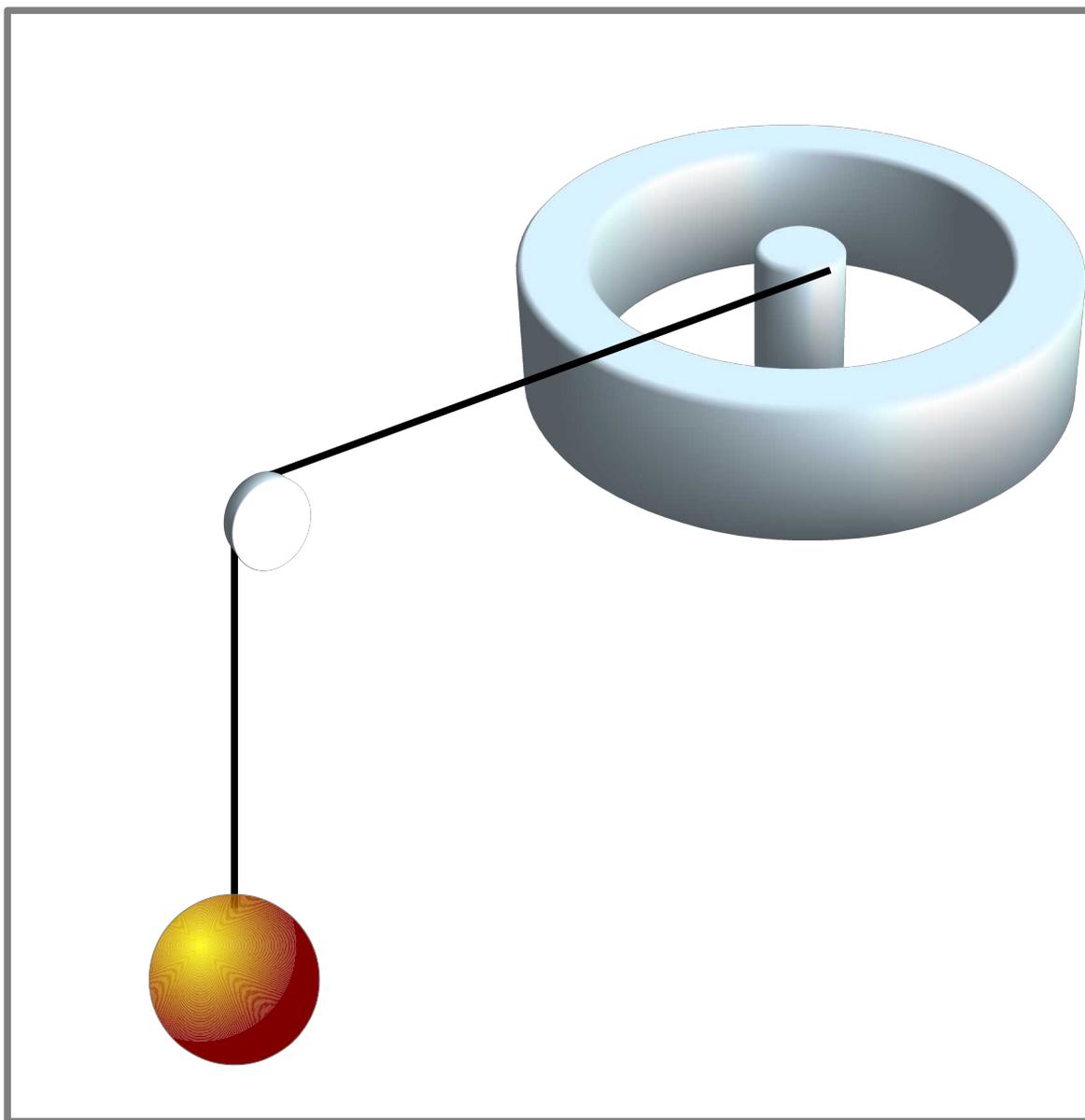
$$\begin{cases} I \dot{\omega} = T r - M_{mp} \\ m r \dot{\omega} = m g - T \end{cases}$$

$$\dot{\omega} = \frac{m g r - M_{mp}}{I + m r^2}$$

груз едет вверх

$$\begin{cases} I \dot{\omega} = -T r - M_{mp} \\ m r \dot{\omega} = m g - T \end{cases}$$

Опыт 3: Маятник Обербека



груз идёт вниз

$$\begin{cases} I \dot{\omega} = T r - M_{mp} \\ m r \dot{\omega} = m g - T \end{cases}$$
$$\dot{\omega} = \frac{m g r - M_{mp}}{I + m r^2}$$

груз едет вверх

$$\begin{cases} I \dot{\omega} = -T r - M_{mp} \\ m r \dot{\omega} = m g - T \end{cases}$$
$$\dot{\omega} = -\frac{m g r + M_{mp}}{I - m r^2}$$

Организация опыта

Результаты

- Определение момента инерции колеса
- Определение влияния сил трения
- Возможен анализ вида потерь (вязкое или сухое трение)

Подводя итоги...

Контакты и информация

- <https://physics.hse.ru/> сайт Факультета
- facultyofphysics@hse.ru Факультет физики
НИУ ВШЭ
- vglazkov@hse.ru Глазков В.Н., академический
руководитель ОП “Физика”
- день открытых дверей факультета 10 апреля
2021