

## ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Определение начального положения равновесия крутильного маятника.
- Запись колебаний крутильного маятника вокруг окончательного положения равновесия и определение периода.
- Определение окончательного положения равновесия.
- Расчет гравитационной постоянной  $G$ .

## ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение силы гравитационного притяжения и определение гравитационной постоянной с помощью крутильных весов Кавендиша.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Основным элементом крутильных весов Кавендиша является чувствительный крутильный маятник, к которому прикреплены два маленьких свинцовых шарика. Два более крупных свинцовых шарика помещаются рядом с маленькими шариками, чтобы притягивать их. Таким образом, положение больших шариков определяет положение равновесия крутильного маятника. Если два больших шарика переместить в другое положение, симметричное первому относительно двух маленьких шариков, крутильный маятник займет новое положение равновесия спустя короткое время, необходимое для успокоения колебаний. Измерив размеры установки в обоих положениях, можно определить гравитационную постоянную. Решающим фактором здесь является равновесие между силой гравитационного притяжения и противодействующим моментом маятника. Измерения колебаний крутильного маятника проводятся с помощью емкостного дифференциального датчика, обеспечивающего значительное подавление шумовых и вибрационных составляющих сигнала. Толщина подобранной для эксперимента вольфрамовой нити, из которой изготовлен маятник, настолько мала, что период колебаний составляет порядка нескольких минут; это означает, что в течение часа можно наблюдать несколько колебаний вокруг положения равновесия.

## НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Крутильные весы Кавендиша	U40205
1	Красный лазерный диод	U22000
1	Тяжелая круглая опора весом 1 кг	U13265
1	Универсальный зажим	U13255
1	Стойка из нержавеющей стали длиной 100 мм	U15000
Дополнительно рекомендуется иметь:		
1	Штангенциркуль, 150 мм	U10071
1	Электронные весы, 5000 г	U42061

## ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

При измерении силы гравитационного притяжения между двумя массами в лабораторных условиях все другие массы, находящиеся вблизи установки, неизбежно будут оказывать влияние на результаты эксперимента. Весы Кавендиша в значительной мере позволяют обойти эту проблему, так как два измерения проводятся при симметричном расположении масс.

Основным элементом крутильных весов Кавендиша является чувствительный крутильный маятник, к которому прикреплены два маленьких свинцовых шарика. Два более крупных свинцовых шарика помещаются рядом с маленькими шариками, чтобы притягивать их. Таким образом, положение больших шариков определяет положение равновесия крутильного маятника. Если два больших шарика переместить в другое положение, симметричное первому относительно двух маленьких шариков, крутильный маятник займет новое положение равновесия спустя короткое время, необходимое для успокоения колебаний. Измерив размеры установки в обоих положениях, можно определить гравитационную постоянную. Решающим фактором здесь является равновесие между силой гравитационного притяжения и противодействующим моментом маятника. Сила гравитационного притяжения определяется следующим выражением:

$$(1) \quad F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

$G$ : гравитационная постоянная,

$m_1$ : масса одного маленького свинцового шарика,

$m_2$ : масса одного большого свинцового шарика,

$d$ : расстояние между маленьким и большим свинцовыми шариками в том положении, в котором проводится измерение

Под действием силы крутильный маятник отклоняется от положения равновесия, когда два больших шарика находятся в положении проведения измерения. Отклоняющий момент равен

$$(2) \quad M_1 = 2 \cdot F \cdot r$$

$r$ : расстояние между маленьким свинцовым шариком и его точкой крепления на несущей штанге

Если крутильный маятник отклоняется на угол  $\varphi$ , возникает противодействующий момент

$$(3) \quad M_2 = D \cdot \varphi$$

$D$ : Коэффициент кручения вольфрамовой нити

Он действует благодаря вольфрамовой нити, на которой подвешена несущая штанга крутильных весов. В положении равновесия моменты  $M_1$  и  $M_2$  равны. Коэффициент кручения  $D$  можно определить по периоду колебаний  $T$  крутильного маятника вокруг его положения равновесия.

$$(4) \quad D = J \cdot \frac{4\pi^2}{T^2}$$

Момент инерции  $J$  складывается из момента инерции двух маленьких шариков  $J_1$  и момента инерции несущей штанги  $J_k$

$$(5) \quad 4 \cdot F \cdot r = D \cdot (\varphi - \varphi') = D \cdot \Delta\varphi$$

$m_B$ : Масса несущей штанги

$a, b$ : длина и ширина несущей штанги.

Для двух больших свинцовых шариков должны быть два симметричных положения, в которых проводятся измерения. Углы отклонения в этих двух положениях обозначаются  $\varphi$  и  $\varphi'$ , и два соответствующих отклоняющих момента равны, но имеют противоположные направления. Таким образом, в состоянии равновесия из уравнений (2) и (3) имеем:

$$(6) \quad J = 2 \cdot m_1 \cdot r^2 + \frac{m_B}{12} \cdot (a^2 + b^2)$$

В ходе опыта колебания крутильного маятника измеряются с помощью емкостного дифференциального датчика, обеспечивающего значительное подавление шумовых и вибрационных составляющих сигнала. Толщина подобранной для эксперимента вольфрамовой нити, из которой изготовлен маятник, настолько мала, что период колебаний составляет порядка

нескольких минут; это означает, что в течение часа можно наблюдать несколько колебаний вокруг положения равновесия. Зеркало, прикрепленное к крутильному маятнику, можно использовать в качестве светового указателя, который позволяет легко отслеживать колебания невооруженным глазом. Это значительно облегчает необходимую настройку и калибровку весов.

## ОЦЕНОЧНЫЙ РАСЧЕТ

Преобразуя выражения (1), (4), (5) и (6), получаем:

$$G = \frac{\Delta\varphi}{m_2} \cdot \frac{d^2 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot \left( 2 \cdot r + \frac{1}{12} \cdot \frac{m_B}{m_1} \cdot \frac{a^2 + b^2}{r} \right)$$

Этот результат не учитывает то, что два маленьких шарика также притягиваются дальним большим шариком, поэтому крутящий момент, действующий на крутильный маятник, будет несколько меньше по сравнению с расчетами, произведенными на данный момент. Нетрудно внести поправку, учитывающую этот факт, в выражение (2), поскольку все расстояния известны.

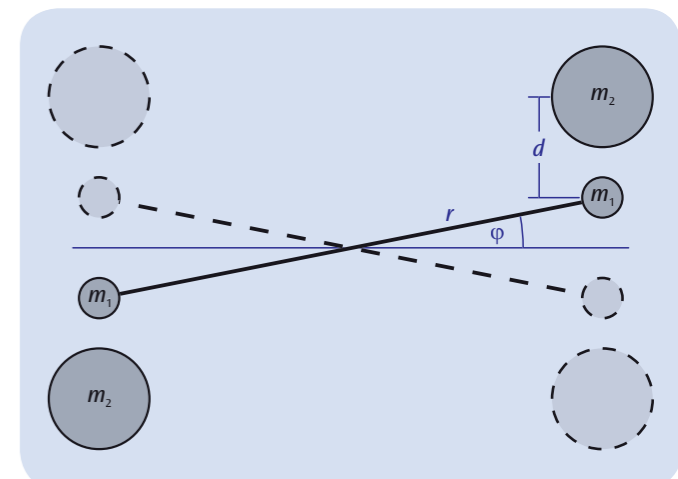


Рис. 1: Схема установки для проведения измерений с использованием крутильных весов Кавендиша

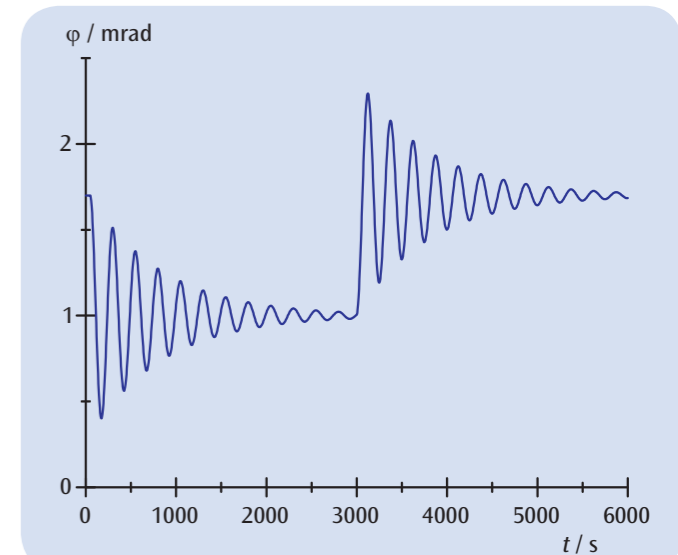


Рис. 2: Зависимость угла отклонения крутильного маятника от времени, когда положение измерения двух больших свинцовых шариков изменяется дважды