

# Способы определения массы тела без весов

Работу выполнил: ученик 9 класса  
Кравченко Юрий Анатольевич

# Актуальность темы:

Наука начинается там, где начинают измерять.  
Точная наука немыслима без меры.

Д. И. Менделеев

- Тела, окружающие нас, состоят из различных веществ: дерева, железа, резины и т. д. Вещества же обладают разнообразными свойствами, которые характеризуются различными физическими величинами. Среди них – **масса тела**.
- Массой обладают все тела: твердые, жидкие, газообразные, большие по размерам (звезды) и маленькие (песчинки). И лично мы обладаем некоторой массой.
- В промышленности, сельском хозяйстве, медицине и чаще в быту есть необходимость знать массу используемых веществ или тел, например, массу и объем бетона по его плотности рассчитывают бетонщики при заливке фундамента, колонн, стен, мостовых опор, откосов, плотин; в составе лекарственных препаратов, используемых нами имеется содержание некоторых веществ в г и мг и т. д., их содержание учитывают в своей деятельности фармацевты.
- О массе тел мы вспоминаем в самых различных ситуациях: при покупке продуктов, в спортивных играх, огородничестве и т. п. – во всех видах деятельности у нас найдется повод поинтересоваться массой того или иного тела.
- Так что такое масса?
- **Масса** – это свойство тела, характеризующее его инертность. При одинаковом воздействии со стороны окружающих тел одно тело может быстро изменять свою скорость, а другое в тех же условиях – значительно медленнее. Принято говорить, что второе из этих двух тел обладает большей инертностью, или, другими словами, второе тело обладает большей массой.

- Иногда по причине неправильной формы тел или их больших размеров, или по иным причинам бывает трудно определить их массу с помощью одного из распространенных способов: с помощью весов. Тогда возникает вопрос, каким способом определить их массу, не прибегая к данному способу и не имея иногда под руками лабораторного оборудования.

# Цель работы: Поиск нестандартных способов по определению массы тела без весов.

## Задачи:

- 1) Найти и изучить различные методы определения массы тела, описанные в литературе.
- 2) Измерить массу тела методами, предложенными в литературе и оценить границы погрешностей каждого метода.
- 3) Определить неизвестную массу тел, взятых для исследования на основе нестандартного подхода.
- 4) Представить все расчеты в виде таблицы и сделать выводы.

# Методика исследований:

Для решения этих задач работа была организована в несколько этапов:

1. подбор литературы и изучение её по теме работы;
2. составление таблиц, для занесения результатов эксперимента;
3. проведение исследования и обработка данных, а на третьем этапе - анализ результатов и выводы по ним.

**Предметы исследования:** Металлический стержень известной плотности, лист бумаги формата А4, ластик, свеча, моток ниток, брелок.

Для получения конечного результата исследования мне необходимо было определить массу взятых для исследования тел. Опыты проводились при комнатной температуре (20-25°C), в помещении школы, в кабинете физики.

# I. Оценка массы тела:

- а) Оценка массы тела с использованием рычага.

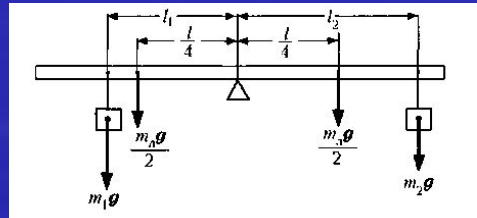
- Оборудование:** тело, массу которого надо оценить; тело произвольной массы; мерный цилиндр; вода или другая жидкость известной плотности; рычаг.

## Ход работы:

- Уравновешиваем на рычаге (линейке длиной  $l$  и массой  $m_{\text{л}}$ ), два тела массами  $m_1$  и  $m_2$ ,  $m_1$  - надо определить,  $m_2$  - произвольная.

- Запишем условие равновесия для тела, способного вращаться на оси:  $\sum M_i = 0$   
 $m_1 g l_1 + \frac{1}{4} l m_{\text{л}} g - \frac{1}{4} l m_{\text{л}} g - m_2 g l_2 = 0$  Следовательно:  $m_1 g l_1 = m_2 g l_2$ ,

тогда:  $m_2 = m_1 \frac{l_1}{l_2}$



- Опустим тело массой  $m_1$  в воду и снова добьемся равновесия рычага.

- С учётом условия равновесия для рычага запишем:  $(m_1 g - F_A) \cdot l_3 = m_2 g l_2$

- Заменим  $m_2$  на  $m_1$ ,  $l_2$  на  $l_1$  и учтём, что  $F_A = \rho_{\text{в}} g V_1$ ,

где  $V_1$  – объем тела массой  $m_1$ .

- $(m_1 g - F_A) \cdot l_3 = m_1 g l_1$   $(m_1 - \rho_{\text{в}} V_1) \cdot l_3 = m_1 l_1$ ,  $m_1 = \frac{\rho_{\text{в}} \cdot V_1 \cdot l_3}{l_3 - l_1}$  ;

- Чтобы найти искомую массу  $m_1$ , достаточно измерить  $V_1$ ,  $l_1$  и  $l_3$

# Оценка погрешности.

- Из конечной формулы видно, что погрешность может быть допущена при введении  $\rho_v$ , а также при измерении  $V_1$ ,  $l_1$  и  $l_3$ .

- Оценим погрешность для каждой величины:

$\rho_v \sim 1000 \text{ кг/м}^3$ . Принято считать, что  $\Delta\rho_v = 1 \text{ кг/м}^3$  (погрешность констант).

- Тогда:  $\varepsilon_{\rho_v} = \frac{\Delta\rho_v}{\rho_v} = \frac{1}{1000} = 10^{-3}$ ,  $\Delta V_1 = \frac{1}{2} c_1$  ( $c_1$  – цена деления);

$$\varepsilon_{V_1} = \frac{c_1}{2V_1} \quad \Delta l_3 = \frac{1}{2} c_2; \quad \varepsilon_{l_3} = \frac{c_2}{2l_3}$$

$$\Delta(l_3 - l_1) = \frac{2c_2}{2}; \quad \varepsilon_{(l_3-l_1)} = \frac{c_2}{l_3-l_1}; \quad \varepsilon_{m_1} = \varepsilon_{\rho_v} + \varepsilon_{V_1} + \varepsilon_{l_3} + \varepsilon_{(l_3-l_1)};$$

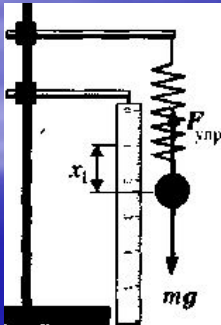
- $\Delta m_1 = \varepsilon_{m_1} \cdot m_1$ .

## б) Оценка массы тела методом гидростатического взвешивания

Оборудование: штатив, муфта, лапка, пружина, лист белой бумаги, сосуд с водой, мерный цилиндр, тело неизвестной массы, линейка с ценой деления  $\epsilon = 0,001$  м,  $\Delta x = 0,0005$  м.

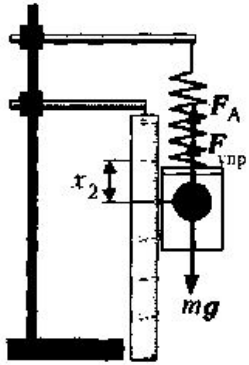
### Ход работы:

- 1. Соберём установку по рисунку.
- 2. Определим положение свободного конца пружины  $x_0$  и примем его за начало отсчёта удлинений пружины.
- 3. Подвесим к свободному концу пружины тело неизвестной массы и измерим с помощью линейки удлинение пружины  $x_1$ :  
 $x_1 = 0,068$  м  $\pm 0,0005$  м.



Условие равновесия:  $mg = F_{упр}$ , где  $F_{упр} = kx_1$   
следовательно,  $mg = kx_1$





4. Опустим тело на пружине в сосуд с водой и измерим новое удлинение  $x_2$ :  $x_2 = 0,059 \text{ м} \pm 0,0005 \text{ м}$ .

Тогда условие равновесия запишется так:  $mg = F_A + kx_2$ .

Сила Архимеда  $F_A = \rho_v gV$ , значит,  $mg = \rho_v gV + kx_2$ .

5. Определим объём тела с помощью мензурки с водой:

$V = 0,000\ 020 \text{ м}^3 \pm 0,000\ 002 \text{ м}^3$ .

6. Из уравнений  $mg = kx_1$  и  $mg = \rho_v gV + kx_2$ ,

найдем  $k = \frac{\rho_v Vg}{x_1 - x_2}$  и искомую массу тела:  $m = \frac{kx_1}{g}$ ;  $m = \frac{\rho_v Vx_1}{x_1 - x_2}$

$$m = \frac{1000 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 0,00002 \text{ м}^3 \cdot 0,068 \text{ м}}{0,068 \text{ м} - 0,059 \text{ м}} = 0,1511 \text{ кг}$$

## 7. Найдём относительную погрешность.

Неточность в измерениях мы допускали при определении  $x_1$ ,  $x_2$  и  $V$ , значит,  $\varepsilon_m = \varepsilon_V + \varepsilon_{x_1} + \varepsilon_{x_1-x_2}$

$$\varepsilon_m = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{x_1 - x_2} \quad \varepsilon_m = \frac{0,000002 \text{ м}^3}{0,00002 \text{ м}^3} + \frac{0,0005 \text{ м}}{0,068 \text{ м}} + \frac{0,001 \text{ м}}{0,009 \text{ м}} = 0,21$$

$$\varepsilon_m = 21\%.$$

Найдём абсолютную погрешность:  $\Delta m = \varepsilon_m \cdot m$ .

$$\Delta m = 0,1511 \cdot 0,21 = 0,0320 \text{ кг} \quad m = 0,15 \pm 0,03 \text{ кг}$$

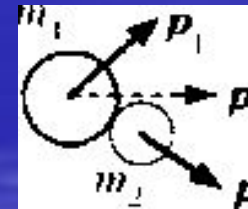
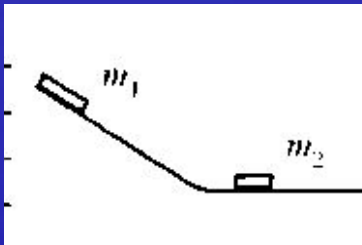
**Вывод:** один из способов точного определения массы тела без помощи весов - это метод гидростатического взвешивания.

## в) Оценка массы тела с использованием закона сохранения импульса

Оборудование: две монеты (масса одной известна, другой - нет), деревянная линейка (с = 1 мм) наклонная плоскость.

### Ход работы

1. Устанавливаем монету неизвестной массы  $m_2$  у основания наклонной плоскости, а монету известной массы  $m_1$ , пускаем по ней.



2. Когда монета переходит на горизонтальную плоскость, происходит нецентральный удар с монетой неизвестной массы  $m_2$ .

Записываем закон сохранения импульса в проекции на горизонтальную плоскость:

$p = p_1 + p_2$ , где  $p = m_1 u_1$ , - импульс системы до соударения,

$p_1 + p_2$  - импульс системы после соударения,

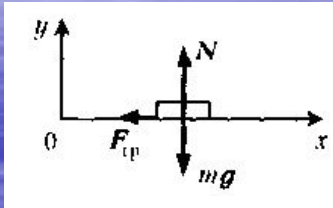
$p_1 = m_1 u_1$ ,  $p_2 = m_2 u_2$ .

3. Убрав тело  $m_2$ , опять пускаем с той же высоты тело  $m_1$ .

Измеряем тормозной путь  $AB$  и, применяя закон сохранения энергии для незамкнутой систем оцениваем  $u_1$ :

$$A_{тр} = \Delta E_k; \quad \Delta E_k = - \frac{mv_1^2}{2} \quad A_{тр} = \mu NS \cos 180^\circ$$

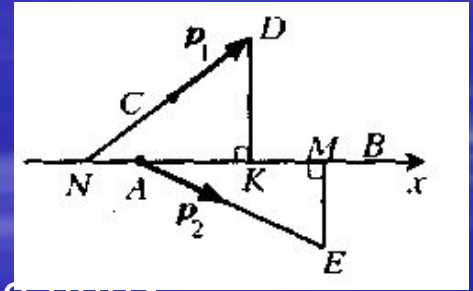
$$N = mg \Rightarrow mg\mu S = \frac{mv_1^2}{2} \Rightarrow v_1 = \sqrt{2\mu gS}$$



4. Аналогично, измеряя тормозные пути  $AE$  и  $CD$ , определяем  $u_1$  и  $u_2$  соответственно:

$$m_1 v_1 = m_1 u_1 \cdot \frac{AM}{AE} + m_2 u_2 \cdot \frac{KN}{DN}$$

$$m_2 = \frac{m_1 (\sqrt{AB \cdot AE} - AM) \cdot DN}{\sqrt{AB} \cdot \sqrt{CD} \cdot KN}$$



Используя в качестве тел монеты, получили:  $m_1 = 0,0064$  кг,  
 $AB = 0,1$  м,  $AE = 0,079$  м,  $AM = 0,01$  м,  $ND = 0,064$  м,  $CD = 0,054$  м,  
 $NM = 0,065$  м,  $m_2 = 0,0021$  кг.

При измерении массы монеты взвешиванием получили  
 $m_2 = 0,0019$  кг. Отсюда относительная погрешность:

$$m_2 = (0,0021 \pm 0,0002) \text{ кг}$$

$$\varepsilon_{m_2} = \frac{|0,0019 - 0,002|}{0,0019} \cdot 100\% = 11\%$$

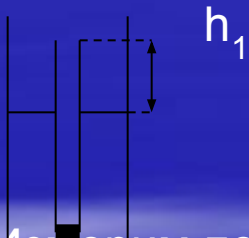
# Практическая часть: Определение массы взятых для исследования тел

а) Определение массы тела неправильной формы, методом, основанным на условии плавания тел.

**Цель:** Определить массу тела неправильной формы (исследуемого тела).

**Оборудование:** Бутылка с обрезанным горлышком, заполненная водой, скотч, ножницы, цилиндрическая пробирка высотой  $H$  и массой  $M$ , набор монеток, миллиметровая бумага, ножницы.

**Ход работы:** 1. Нальем воды в бутылку так, чтобы цилиндр в ней плавал. Утяжелим цилиндр, положив в него грузики, чтобы он мог плавать в воде в вертикальном положении.



2. Измерим полоской миллиметровой бумаги высоту выступающей над водой части цилиндра  $h_1$ .
3. Прикрепим к цилиндру сверху исследуемое тело. Измерим высоту выступающей над водой части цилиндра  $h_2$ .
4. Прикрепим исследуемое тело снаружи к дну цилиндра и измерим высоту выступающей над водой части цилиндра  $h_3$ .

5. Используя условия плавания тел, составим уравнения для случая:

- цилиндр плавает без исследуемого тела:  $Mg = (H-h_1)S \rho_{\text{ж}} g$ ; (1)

- тело прикреплено сверху цилиндра, условие плавания имеет вид:

$$Mg + mg = (H-h_2)S \rho_{\text{ж}} g; (2)$$

- тело прикреплено снизу, на него тоже действует сила Архимеда и условие плавания цилиндра имеет вид:

$$Mg + mg = (H-h_3)S \rho_{\text{ж}} g + \frac{m}{\rho} \rho_{\text{ж}} g. (3)$$

6. Используя выражения (1), (2), (3) получим:

$$\rho = \rho_{\text{ж}} \frac{h_1 - h_2}{h_3 - h_2} \quad \rho - \text{плотность исследуемого тела.}$$

7. Для определения  $m$  тела необходимо знать не только  $\rho$ , но и  $S$  – площадь поперечного сечения цилиндра. Для этого полоской миллиметровой бумаги измерим длину окружности  $l$  поперечного сечения цилиндра:  $l = 2\pi r$ ,

$$S = \pi r^2 \quad S = \frac{l^2}{4\pi} \quad (4)$$

8. Используя выражения (1), (2), (4) получим:

$$m = \frac{\rho_{\text{ж}}}{4\pi} l^2 (h_1 - h_2)$$

## б) Определение массы стального стержня через период его колебаний

**Цель:** Найти массу  $m$  стержня (плотность материала стержня известна и равна  $7580 \text{ кг/м}^3$ ).

**Оборудование:** Круглый стержень, катушка ниток, часы с секундной стрелкой, штатив, ножницы.

**Ход работы:** 1. Для нахождения массы тела нужно измерить его объем (плотность стержня известна). Для этого необходимо, прежде всего, найти его единицу длины и площадь поперечного сечения.

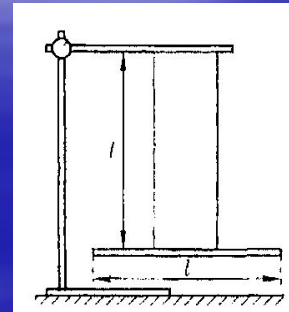
2. Возьмем кусок нити длиной  $l$ , равной длине стержня, в качестве эталона длины. Подвесим стержень к штативу на двух нитях длиной  $l$  каждая.

3. Измерим период  $T$  колебаний стержня, совершающего поступательное движение (в отсутствии крутильных колебаний).  $T = \frac{t}{n}$ , где  $t$  – время, за которое совершается  $n$  колебаний.

4. Т.к. стержень подвешен на двух нитях и совершает поступательное движение, можно для нахождения длины  $l$  использовать формулу для

периода колебаний математического маятника:  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  где  $g$  – ускорение свободного падения.

$$l = \frac{gT^2}{4\pi^2} = \frac{g}{4\pi^2} \cdot \frac{t^2}{n^2}$$



5. Площадь поперечного сечения стержня определяю по формуле:  $S = \pi r^2$

Для определения радиуса  $r$  стержня измерим число  $N$  витков, образующихся при наматывании нити длиной  $l$  на

стержень:  $r = \frac{l}{2\pi N}$

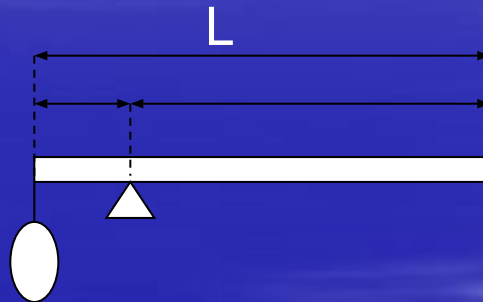
6. Масса стержня:  $m = \rho l S = \frac{\rho g^3}{256\pi^7} \cdot \frac{t^6}{n^6 N^2}$



## в) Определение массы тела с использованием правила моментов

**Цель:** Определить массу  $m$  небольшого комка нити длиной  $T$ .

**Оборудование:** моток ниток, булавка, сантиметровая лента, лист бумаги формата А4, поверхностная плотность которого  $\rho = 80 \text{ г/м}^2$ . Если масса нити мала, т. е. сравнима с массой листа, то для ее определения можно поступить следующим образом.



### Ход работы:

1. Измеряю длину  $L$  и ширину  $b$  листа бумаги. Нахожу его массу:  
 $M = \rho Lb$ .
2. Сложим лист в узкую полоску длиной  $L$ , получим при этом рычаг данной длины.
3. Возьмем нить длиной  $T$ , смотаем её в комок и привяжем к одному из концов полоски бумаги.

4. Уравновесим полоску с помощью булавки (расположив ее горизонтально) и измерим расстояние  $l$  от булавки до края полоски, к которому прикреплена нить.
5. Сила тяжести планки, сделанной из листа бумаги формата А4  $F = Mg$  вращает систему по часовой стрелке, а сила тяжести нити  $mg$ , действующая на клубок нити в точке подвеса стремится повернуть планку в противоположном направлении. Используя правило моментов, составляю уравнение для

полоски бумаги: 
$$M \frac{L-l}{L} \cdot \frac{L-l}{2} = M \frac{l}{L} \cdot \frac{l}{2} + ml$$

6. Нахожу массу куска нити длиной  $T$ :

$$m = M \left( \frac{L}{2l} - 1 \right) = \rho L b \left( \frac{L}{2l} - 1 \right)$$

**Примечание:** Номер указанный на катушке с нитками, соответствует длине ( в метрах) одного грамма нити, например, № 40, означает, что длина 1г нити равна 40 м. Следовательно, зная массу нити взятую с катушки, можно определить длину израсходованной нити из пропорции:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ г} \quad \text{--} \quad L \text{ (м)} \\ m_x \text{ (г)} \quad \text{--} \quad l \text{ (м)} \end{array} \quad l =$$

# Выводы и рекомендации

## Выводы:

1. Один из способов точного определения массы тела без помощи весов - это метод гидростатического взвешивания.
2. Если тело совершает колебательные движения, его массу можно определить используя формулу для периода колебаний математического маятника.
3. Массу тела можно определить, используя правило моментов, зная массу рычага.
4. Используя систему подвижного и неподвижного блоков, можно оценить массу тела, вес которого больше пределов измерения динамометра.
5. Оценить массу тела можно используя закон сохранения импульса.
6. Массу линейки можно определить, используя медные монеты.
7. Массу тела можно определить, используя условия плавания тел, и т.д.

Все перечисленные мною способы дают возможность определить массу твердого тела.

Но теперь я поставил перед собой цель: изучить способы определения массы жидкостей (например, одной капли воды) и газов.

# Рекомендации:

1. Результаты работы можно использовать на уроках физики для активизации познавательной деятельности учащихся.
2. Рассмотренные мною способы определения массы тел без весов можно выполнить и в домашних условиях, т.к. они не требуют лабораторного оборудования.  
Следовательно, этими методами можно воспользоваться и в походных условиях по необходимости.
3. Создание методической копилки для кабинета физики.