

Городская конференция обучающихся 5 – 11 классов «Шаги в науку»

Направление «Физика»

Вращательные веса

Омск – 2014

Оглавление

Введение	3
Основная часть	4
§ 1. Теоретический анализ вращательных весов.....	4
§ 2. Экспериментальное определение массы и плотности твёрдого тела с помощью вращательных весов.....	9
Заключение	10
Приложение	12

Введение

Великий русский ученый Д.И. Менделеев говорил: «Наука начинается тогда, когда начинают измерять» [1]. Поэтому важно владеть различными прямыми и косвенными методами измерения физических величин, уметь правильно измерять физические величины и верно оценивать результаты измерений. При изучении физики в школе учатся измерять такую физические величины, как масса и плотность тела. Масса тела – физическая величина, являющаяся мерой инертных свойств тела. «Плотность есть физическая величина, равная отношению массы тела к его объему:

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad \gg [2, \text{с. 44}].$$

По этой причине **актуально** рассмотреть способы измерения массы и плотности тел. **Целью** данной работы является разработка способа измерения массы тела с помощью вращательных весов, а также его плотности, используя модифицированный гидростатический способ. В работе ставились и решались следующие **задачи**:

- Изучить известные способы измерения массы;
- Дать теоретическое обоснование метода градуирования весов и гидростатического способа определения плотности твёрдого тела;
- Изготовить установку и получить экспериментальные результаты;
- Провести обработку экспериментальных результатов с использованием прикладной компьютерной программы.

Объектом работы является методы измерения физических величин.

Предмет работы - измерение массы тела с помощью вращательных весов и гидростатический способ измерения плотности твёрдого тела.

Теоретическая значимость выполненной работы заключается в том, что теоретический анализ с использованием условия равновесия тела, закреплённого на оси, позволил провести градуировку шкалы вращательных весов. **Практическая значимость** работы заключается в том, что предложена простая экспериментальная установка, с помощью которой можно измерять массу твёрдого тела и его плотность.

Основная часть

§ 1. Теоретический анализ вращательных весов

Масса тела – физическая величина, являющаяся мерой инертных свойств тела. Существуют различные способы измерения массы. Первый способ измерения массы основан на сравнении инертных свойств тел. Например, отведем алюминиевый цилиндр (рис. 1) в сторону и отпустим его так, чтобы он, набрав скорость, ударился о железный цилиндр. По изменению скорости железного и алюминиевого цилиндров при их взаимодействии можно будет судить об инертных свойствах, а значит, и о массе цилиндров. Опыт показывает, что скорость железного цилиндра изменяется меньше, чем скорость алюминиевого цилиндра. Следовательно, инертные свойства и масса железного цилиндра больше, чем инертные свойства и масса алюминиевого цилиндра. Допустим, при взаимодействии скорость железного цилиндра изменилась на 20 см/с, а скорость алюминиевого цилиндра изменилась на 60 см/с. Значит, масса железного цилиндра больше массы алюминиевого цилиндра в 3 раза. Возьмём вместо одного из цилиндров гирию массой 1 кг. Тогда по результатам взаимодействия можно будет сравнить массу цилиндра с массой килограммовой гири, то есть измерить массу цилиндра.



Рис. 1

Второй способ измерения массы основан на использовании весов. На рисунках 2 и 3 изображены простейшие учебные весы и набор гирь и разновесов к ним.



Рис. 2



Рис. 3

«Весы были изобретены еще в глубокой древности. Первые найденные археологами образцы относятся к пятому тысячелетию до нашей эры, применялись они в Месопотамии (территория современного Ирака).

У древних египтян весам нашлось место даже в мифологии. Так на папирусе (около 1250 г до н. э.) изображен бог Анубис - покровитель умерших, судья богов (рис. 4). Хорошо видно, как Анубис- бог с головой шакала - взвешивает сердце каждого умершего на особых весах.

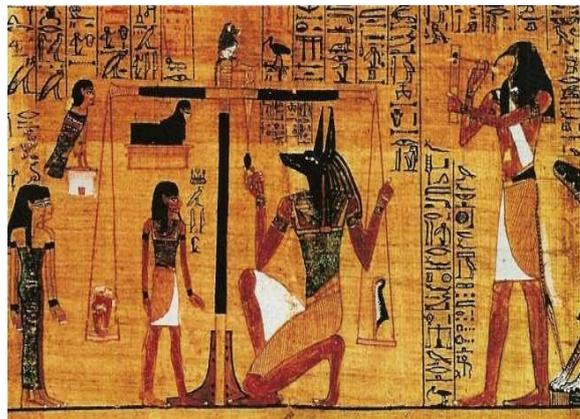


Рис. 4

Римлянам приписывают изобретение принципиально иной системы измерения массы тел - такой, при которой передвигается гиря, а точка опоры и положение привеса остаются неизменными (рис. 5).



Рис. 5

В древней Руси товары взвешивали на равноплечных весах. В грамоте Новгородского князя Всеволода от 1134 года строго приписывается: « Торговья все весы...иже на торгу промеж людьми блюсти без пакости, не умаливати, не умноживати». Пользовались наши предки и неравноплечными весами римской конструкции, которые поначалу назывались «пуд».

Уже в 14 веке на Руси употребляется и слово «безмен». Безмен прочно вошел в народную жизнь. Он был хоть и менее точен, зато и менее прихотлив, чем весы-коромысла. Про него слагали загадки: «Кто сам худ, а голова с пуд?». И поговорки: «Деньги на безмен, а товар на промен» [3, с. 21].

К настоящему времени ученые-физики разработали самые разнообразные методы измерения массы тел, основанные на взвешивании и взаимодействии тел. Определены не только массы мельчайших частиц вещества – молекул, но даже и массы тех частиц, из которых состоят молекулы и атомы. Учёными определены масса Земли и других планет Солнечной системы. Расчитаны масса Солнца и многих других звёзд, находящихся от Земли на невообразимо большом расстоянии (рис. 6).



Рис. 6

Отметим такой интересный факт. Как установлено учёными-физиками, каким бы способом – путём взвешивания тел или путём взаимодействия – ни измерялась масса, значение получается одинаковым. Результат измерения массы не зависит от того, какой из двух способов используется.

В данной работе для измерения массы используются специально сконструированные вращательные весы. Пусть фанерный диск закреплён на оси, благодаря чему он может свободно вращаться в вертикальной плоскости вокруг оси O (рис. 7). В точке A на краю диска закрепим груз массой m_0 . Если в точке B закрепить груз неизвестной массы m , то диск повернётся по часовой стрелке на некоторый угол φ (рис. 8). Причём угол поворота будет тем больше, чем больше масса груза m .

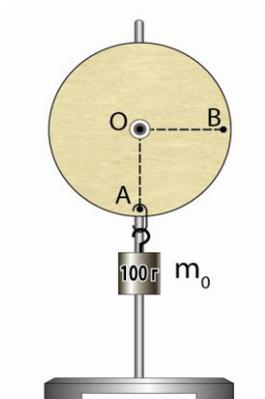


Рис. 7

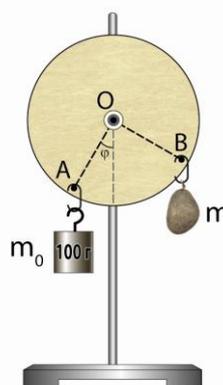


Рис. 8

Таким образом, вращающийся диск можно использовать в качестве весов для измерения массы. Необходимо только изготовить шкалу и нанести на неё деления. Проведём необходимые расчёты и нанесём деления шкалы.

Сделаем чертёж, укажем силы, действующие на диск (рис. 9). При равновесии:

$$\begin{aligned} F_0 d_0 &= Fd, \\ m_0 g d_0 &= mgd, \\ m_0 d_0 &= md. \end{aligned} \quad (1)$$

Треугольники OCA и ODB равны. Следовательно, $OC = d$. Так как треугольник OCA – прямоугольный и гипотенуза треугольника равна радиусу диска R ($OA = R$),

$$d_0^2 + d^2 = R^2, \quad (2)$$

Решая систему уравнений (1) и (2), находим d_0 :

$$d_0 = \frac{R}{\sqrt{1 + \left(\frac{m_0}{m}\right)^2}}.$$

Для того чтобы изготовить шкалу весов, осталось рассчитать значения d_0 для различных значений масс m . Результаты соответствующих расчётов приведены в Приложении.

Полученная шкала вращательных весов является неравномерной (и это существенный недостаток весов такой конструкции). Для определения массы удобнее измерять смещение d_0 стогограммового груза от нулевого значения шкалы, а измеряемую массу рассчитывать по формуле

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{\frac{R^2}{d_0^2} - 1}}.$$

При проведении расчётов по этой формуле удобно использовать прикладную компьютерную программу Microsoft Office Excel.

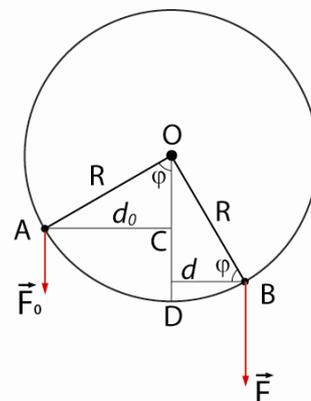


Рис. 9

Покажем, как вращательные весы можно использовать для определения плотности твёрдого тела. Для этого погрузим тело в жидкость известной плотности (рис. 10).

В этом случае условие равновесия запишется в виде:

$$m_0 g d'_0 = (mg - F_{\text{Арх}}) d', \quad (3)$$

где $F_{\text{Арх}}$ - архимедова сила, действующая на тело,

d'_0, d' - новые значения плеч сил.

Архимедова сила равна

$$F_{\text{Арх}} = \rho_{\text{ж}} g V, \quad (4)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости,

V - объём твёрдого тела.

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (5)$$

где ρ - плотность твёрдого тела.

Из соотношений (3) – (5) имеем:

$$m_0 d'_0 = m \left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho}\right) \cdot d'. \quad (6)$$

Разделим выражение (6) на выражение (1):

$$\frac{\left(1 - \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho}\right) d'}{d} = \frac{d'_0}{d_0}.$$

Отсюда

$$\rho = \frac{\rho_{\text{ж}}}{1 - \frac{d d'_0}{d' d_0}}. \quad (7)$$

Плечи сил d и d' легко определить, воспользовавшись соотношением, аналогичным соотношению (2),

$$d_0^2 + d^2 = R^2,$$

$$d_0'^2 + d'^2 = R^2.$$

Отсюда

$$d = \sqrt{R^2 - d_0^2}$$

и

$$d' = \sqrt{R^2 - d_0'^2}.$$

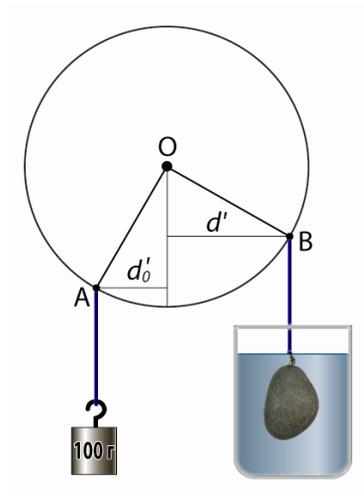


Рис. 10

Поставив полученные соотношения в выражение (7), окончательно имеем:

$$\rho = \frac{\rho_{ж}}{1 - \frac{\sqrt{R^2 - d_0'^2} \cdot d_0'}{\sqrt{R^2 - d_0^2} \cdot d_0}}. \quad (8)$$

Расчёт результатов определения плотности твёрдого тела также производился с использованием программы Microsoft Office Excel.

§ 2. Экспериментальное определение массы и плотности твёрдого тела с помощью вращательных весов

Фотография изготовленной экспериментальной установки приведена на рисунке 11 а, б.

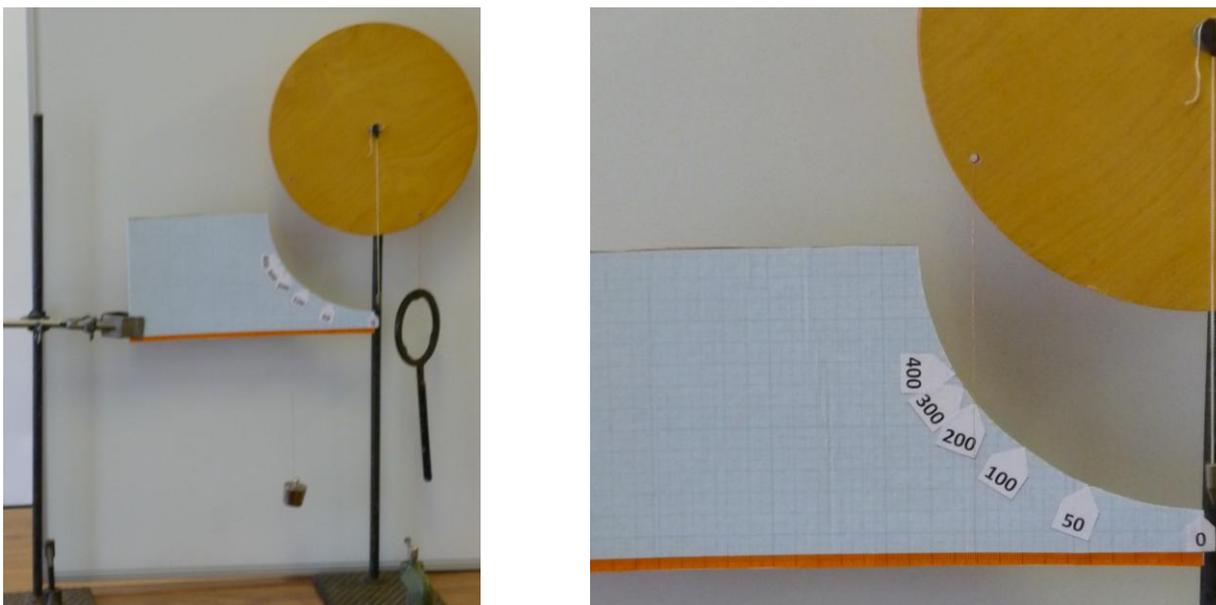


Рис. 11

а – общий вид экспериментальной установки – вращательных весов,
б – шкала вращательных весов

При проведении измерений были получены в частности следующие результаты:

- Определены массы нескольких тел (результаты приведены в таблице 1).

Таблица 1. Определение массы тел с помощью вращательных весов

Наименование тела	Кольцо от штатива	Учебник «Физика – 8»	Плоскогубцы	Струбцина
Результат измерения на вращательных весах, г	200	320	210	260
Результат контрольного измерения с помощью лабораторного динамометра, г	200	330	200	250

- Определена плотность алюминиевой детали. Она оказалась равной $2,6 \text{ г/см}^3$, что достаточно близко к табличному данному.

Заключение

При выполнении данной работы цели работы были достигнуты. Разработанные вращательные весы в дальнейшем могут быть использованы на уроках физики в качестве демонстрационного оборудования при рассмотрении вопроса равновесия тела, закреплённого на оси.

Библиографический список

1. Афоризмы, цитаты, высказывания. Менделеев Д.И. [Электронный ресурс] - [www.http:// aphorism – citation. ru/index/0 – 597](http://aphorism-citation.ru/index/0-597).
2. Перышкин, А.В., Родина, Н.А. Физика: учеб. для 7 кл. сред. шк. [Текст] – 11-е изд. / А.В. Перышкин, Н.А. Родина. – М: Просвещение,1991.
3. Андрюшечкин, С.М. О физике и физиках [Текст]: книга для дополнительного чтения. 7 кл. / С.М. Андрюшечкин. – Петропавловск, 2006.

Приложение

При анализе условия равновесия диска вращательных весов было получено, что плечо d_0 груза массой $m_0 = 100$ г в случае, если к диску прикреплен груз неизвестной массы m рассчитывается по формуле

$$d_0 = \frac{R}{\sqrt{1 + \left(\frac{100 \text{ г}}{m}\right)^2}}$$

Результаты расчета d_0 для некоторых значений массы m приведены в таблице:

$m, \text{ г}$	0	20	50	70	100	120	150	170	200
d_0	0	0,20 R	0,45 R	0,57 R	0,71 R	0,77 R	0,83 R	0,86 R	0,89 R

Так как в установке использовался диск радиусом $R = 11,5$ см, то

$m, \text{ г}$	0	20	50	70	100	120	150	170	200
$d_0, \text{ см}$	0	2,3	5,2	6,6	8,2	8,9	9,4	9,9	10,2