

Министерство образования Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ТЕЛ
МЕТОДОМ ПИКНОМЕТРА**

Методические рекомендации

Иркутск 2003

Печатается по решению научно-методического совета
Иркутского государственного университета

Предназначены для студентов 1 и 2 курсов естествен-
ных факультетов.

Библиогр. 3 назв. Ил. 1. Табл. 1.

Составитель к. х. н., доц. Т. Э. Московская
(кафедра общей и космической физики)

Рецензент к. ф.-м. н., доц. Ловцов С. В.

Московская Татьяна Эдуардовна

Определение плотности тел
методом пикнометра

Подписано в печать 01.03.03. Формат 60x90 1/16.
Бумага писчая. Печать офсетная. Гарнитура Times.
Усл.печ.л. 0,8. Уч.-изд.л. 0,7. Тираж 150 экз. План 2003 г.
Поз. .

Редакционно-издательский отдел
Иркутского государственного университета

Цель работы

1. Знакомство с методом определения плотности тел с помощью пикнометра.
2. Определение плотности твердого и жидкого веществ.

Приборы и принадлежности

Аналитические весы, набор разновесок, пикнометр, дистиллированная вода, фильтровальная бумага, исследуемое твердое тело в виде дробинки и жидкость.

Плотность и удельный вес вещества

Одной из характеристик, описывающих физические свойства вещества, является его *плотность*, равная массе вещества, заключенной в единице объема:

$$\rho = \frac{m}{V} . \quad (1)$$

В Международной системе единиц (СИ) плотность измеряется в $кг/м^3$.

Удельным весом тела называется физическая величина численно равная весу единицы объема:

$$\vec{d} = \frac{\vec{P}}{V} \left(\frac{н}{м^3} \right) . \quad (2)$$

Плотность и удельный вес связаны между собой соотношением

$$d = \rho \cdot g ,$$

где g – ускорение свободного падения.

Ускорение свободного падения.

Каждое материальное тело имеет массу и притягивается к Земле силой гравитационного притяжения. Если тело, находящееся над поверхностью Земли отпустить, оно начнет падать, т. е. Двигаться по направлению к центру Земли с постоянным ускорением, называемым ускорением свободного

падения \vec{g} . В разных географических точках Земли наблюдаются небольшие различия величины \vec{g} . Это объясняется влиянием двух основных факторов.

Первый связан с формой Земли. Как известно, Земля несколько отличается по форме от шара: она слегка сплюснута в направлении полюсов, так, что расстояние от поверхности Земли до ее центра меньше на полюсах, чем на экваторе. Это означает, что сила притяжения тела на полюсе больше, чем на экваторе, поэтому ускорение свободного падения \vec{g}_n на полюсах больше ускорения свободного падения \vec{g} , на экваторе. Ускорение \vec{g} изменяется с географической широтой в соответствии с изменением радиуса Земли.

Второй причиной изменения ускорения \vec{g} является суточное вращение Земли. Оно приводит к появлению центробежного ускорения, достигающего максимума на экваторе и падающего до нуля на полюсах.

В результате влияния обоих факторов ускорение свободного падения \vec{g} изменяется от значения $9,78 м/с^2$ на экваторе до $9,83 м/с^2$ на полюсах Земли.

Вес и сила тяжести.

Природа силы тяжести ($m\vec{g}$) и веса (\vec{P}) различны. Сила тяжести приложена к самому телу и является результатом взаимодействия тела и Земли. Вес появляется вследствие взаимодействия тела и опоры: это сила, приложенная к опоре, на которой лежит тело, или к подвесу, на котором оно висит.

Вес обладает особенностями, существенно отличающими его от силы тяжести.

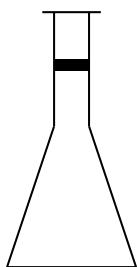
Во-первых вес определяется всеми действующими на тело силами, а не только силой тяжести. Так, вес тела в жидкости или газе меньше, чем в вакууме, из-за появления выталкивающей (архимедовой) силы.

Во-вторых, вес тела существенно зависит от ускорения, с которым движется опора. Так, если тело свободно падает под действием силы тяжести, то оно перестает давить на опору или оттягивать подвес. А это означает, что вес исчезает и наступает невесомость.

Определение плотности тел методом пикнометра

Пикнометр представляет собой стеклянный сосуд определенного объема. Наиболее распространенный тип пикнометра имеет вид колбочки с узким горлышком, на котором нанесена метка (рис. 1). Жидкость наливается пипеткой до указанной метки. Это контролирует постоянство объема наливаемой жидкости.

Из формулы (1) следует, что для вычисления плотности необходимо определить массу и объем исследуемого тела. Массу тела можно измерить взвешиванием, которое проводится с помощью рычажных весов. На них масса тела непосредственно сравнивается с массой гирь, весы уравниваются при равенстве масс.



Методика определения плотности жидкости с помощью пикнометра сводится к определению массы пустого пикнометра m_0 , массы пикнометра с дистиллированной водой m_1 и массы пикнометра с исследуемой жидкостью m_2 .

Рис. 1.

Объем пикнометра (до метки) будет равен

$$V = \frac{m_{\text{воды}}}{\rho_0},$$

где ρ_0 - плотность дистиллированной воды.

Тогда плотность исследуемой жидкости будет равна

$$\rho_{\text{жс}} = \frac{m_{\text{жс}}}{V} = \rho_0 \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0} \quad (3)$$

Определение плотности твердого тела

Пикнометром можно определить плотность твердого тела, если его размеры позволяют поместить тело в пикнометр. Обычно исследуемое тело берется в виде дробинок, песчинок, небольших кусочков, легко проходящих через горлышко пикнометра.

Определяя плотность твердого тела, исходят из следующих соображений. Пусть общая масса дробинок m , масса пикнометра, заполненного до метки дистиллированной водой, m_1 . При погружении в пикнометр с водой исследуемого твердого тела (дробинок) оно вытеснит объем воды, равный объему тела. Удалим вытесненную воду, доведя уровень оставшейся воды до метки пикнометра. Массу пикнометра с водой и опущенным в него твердым телом обозначим m_3 .

Масса вытесненной воды будет равна $(m_1 + m - m_3)$, а ее объем, равный объему твердого тела, определится как

$$V = \frac{m_1 + m - m_3}{\rho_0}.$$

Искомая плотность твердого тела вычисляется по формуле:

$$\rho_{\text{тв.т}} = \frac{m}{V} = \frac{m}{m_1 + m - m_3} \cdot \rho_0 \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) описывают приближенные значения плотности, так как не учитывают потери веса тел при взвешивании в воздухе (архимедову силу воздуха).

Для нахождения исправленных значений плотности жидкости и твердого тела необходимо вычислить поправки на выталкивающую силу воздуха.

Для жидкости эта поправка определяется по формуле:

$$\lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right), \quad (5)$$

а для твердого тела по формуле:

$$\lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{тв.т}}{\rho_0} \right), \quad (6)$$

где $\lambda = 1,2 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха. В результате значения плотности определяются как

$$\rho_{ж.испр} = \rho_{ж} + \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_0} \right), \quad (7)$$

$$\rho_{тв.т.испр} = \rho_{тв.т} + \lambda \cdot \left(1 - \frac{\rho_{тв.т}}{\rho_0} \right). \quad (8)$$

Все взвешивания в лабораторной работе проводятся на аналитических весах. Правила пользования аналитическими весами приведены в Приложении 1.

Порядок выполнения работы

1. Определить массу пустого пикнометра m_0 , предварительно вымыв его, сполоснув дистиллированной водой и тщательно просушив.

2. Наполнить пикнометр дистиллированной водой до метки и определить массу пикнометра с водой m_1 .

3. Определить массу твердого тела m (общую массу 10-15 дробинок).

4. Опустить в пикнометр с водой исследуемое твердое тело (все взвешенные дробины). Проследить, чтобы на дробинок не осталось пузырьков воздуха.

Избыток воды убрать при помощи фильтровальной бумаги (до метки) и определить массу пикнометра с водой и твердым телом (m_3).

5. Освободить пикнометр от воды и твердого тела, вымыть его и сполоснуть исследуемой жидкостью. Наполнить пикнометр исследуемой жидкостью до метки и определить массу пикнометра с жидкостью m_2 .

6. Из таблиц найти значение плотности дистиллированной воды ρ_0 , соответствующее температуре воздуха в комнате.

Пользуясь формулами (3) и (4), вычислить $\rho_{тв.т}$ и $\rho_{ж}$.

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу:

кг					кг/м ³	
m_0	m_1	m	m_3	m_2	$\rho_{тв.т}$	$\rho_{ж}$

7. Вычислить поправки к величинам плотностей $\rho_{тв.т}$ и $\rho_{ж}$ на потерю веса тел в воздухе (по формулам (5, 6)) и исправленные значения плотности твердого тела и жидкости (по формулам (7, 8)).

8. Вычислить погрешности определения непоправленных значений плотности твердого тела и жидкости, используя формулы (3) и (4). (См. Приложение 2). Сопоставить полученные значения погрешностей и выяснить, измерение какой величины вносит наибольшую погрешность в результат.

9. Сравнить значения суммарных погрешностей $\rho_{тв.т}$ и $\rho_{ж}$ и поправок на архимедову силу воздуха и сделать вывод о необходимости введения поправок на потерю веса в воздухе.

Контрольные вопросы

1. Что называется плотностью вещества? В каких единицах измеряется плотность?
2. Дайте определение удельного веса вещества. Назовите единицы измерения удельного веса. Выведите соотношение между удельным весом и плотностью.
3. Что такое непоправленная плотность?
4. Дайте формулировку закона Архимеда.
5. Какая разница существует между массой и весом тела?
6. Чем отличаются сила тяжести и вес тела?
7. От чего зависит ускорение свободного падения тела?
8. Что такое пикнометр? Почему метка находится на узкой части пикнометра?

Литература

1. Матвеев А. Н. Механика и теория относительности: Учеб. Пособие для физ. спец. вузов.- М.: Высш. Шк., 1986.- 320 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов.- М.: Высш. шк., 1994.- 542 с.
3. Физика для будущих студентов. Т. 1. Механика. Вып. 2. Динамика/ Под ред. Мякишева Г. Я.- М.: МИРОС, 1993.- 152 с.

Приложение 1

Правила пользования аналитическими весами

Аналитические весы состоят из равноплечного рычага, называемого коромыслом, опирающегося на твердую призму. На концах коромысла подвешены чаши, на которые устанавливаются грузы и разновески. Для определения положения коромысла к середине коромысла перпендикулярно ему прикреплена стрелка, конец которой движется перед шкалой. При уравновешенном горизонтальном положении

коромысла стрелка должна указывать на нулевое деление шкалы. В нерабочем состоянии весы арретируются с помощью ручки, расположенной на передней панели основания весов. При арретировании коромысло весов приподнимается и неподвижно закрепляется.

При работе с аналитическими весами соблюдайте следующие правила:

1. Грузы и разновески устанавливайте на чаши арретированных весов, открывая боковые дверцы. Нагрузки должны располагаться как можно ближе к центру чашек.

Внимание ! Все перемещения грузов проводятся на арретированных весах.

2. Разновески следует брать пинцетом, а после снятия с весов укладывать их в ящик на свое место. Разновески до 10 мг навешивайте на коромысло с помощью рейтера.

3. Арретирование и освобождение весов проводите плавно, без рывков.

4. После окончания взвешивания арретируйте весы, снимите нагрузку, закройте боковые дверцы.

Приложение 2

Расчет погрешностей на потерю веса тел в воздухе

Расчет плотности твердого тела проводится по формуле (4):

$$\rho_{mв.м} = \frac{m}{m_1 + m - m_3} \cdot \rho_0.$$

Найдем частные производные $\rho_{mв.м}$ по всем параметрам, входящим в формулу (m , m_1 , m_3 , ρ_0), и соответствующие им частные ошибки:

$$\Delta \rho_{\text{тв.т}}(m_1) = \frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial m} \cdot \Delta m = -\rho_0 \cdot \frac{m_1 - m_3}{(m_1 + m - m_3)^2} \cdot \Delta m$$

$$\Delta \rho_{\text{тв.т}}(m_1) = \frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial m_1} \cdot \Delta m_1 = -\rho_0 \cdot \frac{m}{(m_1 + m - m_3)^2} \cdot \Delta m_1$$

$$\Delta \rho_{\text{тв.т}}(m_3) = \frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial m_3} \cdot \Delta m_3 = \rho_0 \cdot \frac{m}{(m_1 + m - m_3)^2} \cdot \Delta m_3$$

$$\Delta \rho_{\text{тв.т}}(\rho_0) = \frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial \rho_0} \cdot \Delta \rho_0 = \left(\frac{m}{m_1 + m - m_3} \right) \cdot \Delta \rho_0$$

Используя закон сложения случайных ошибок, определим суммарную ошибку плотности твердого тела по формуле

$$\Delta \rho_{\text{тв.т}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial m} \cdot \Delta m \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial m_1} \cdot \Delta m_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial m_3} \cdot \Delta m_3 \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{тв.т}}}{\partial \rho_0} \cdot \Delta \rho_0 \right)^2}$$

В результате плотность твердого тела запишется как

$$\rho_{\text{тв.т}} = \rho_{\text{тв.т}} \pm \Delta \rho_{\text{тв.т}}$$

Аналогичным образом вычислим ошибку плотности жидкости. Для этого используем формулу:

$$\rho_{\text{жс}} = \rho_0 \cdot \frac{m_2 - m_0}{m_1 - m_0}$$

и вычислим частные погрешности этой плотности:

$$\Delta \rho_{\text{жс}}(m_0) = \frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial m_0} \cdot \Delta m_0 = \rho_0 \cdot \frac{m_2 - m_1}{(m_1 - m_0)^2} \cdot \Delta m_0$$

$$\Delta \rho_{\text{жс}}(m_1) = \frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial m_1} \cdot \Delta m_1 = \rho_0 \cdot \frac{m_0 - m_2}{(m_1 - m_0)^2} \cdot \Delta m_1$$

$$\Delta \rho_{\text{жс}}(m_2) = \frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial m_2} \cdot \Delta m_2 = \frac{\rho_0}{m_1 - m_0} \cdot \Delta m_2$$

$$\Delta \rho_{\text{жс}}(\rho_0) = \frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial \rho_0} \cdot \Delta \rho_0 = \rho_0 \cdot \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} \cdot \Delta \rho_0$$

а также полную ошибку:

$$\Delta \rho_{\text{жс}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial m_0} \cdot \Delta m_0 \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial m_1} \cdot \Delta m_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial m_2} \cdot \Delta m_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial \rho_{\text{жс}}}{\partial \rho_0} \cdot \Delta \rho_0 \right)^2}$$

Окончательный результат определения плотности жидкости запишем в виде

$$\rho_{\text{жс}} = \rho_{\text{жс}} \pm \Delta \rho_{\text{жс}}$$