

Министерство образования и науки Российской Федерации

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова»

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТА ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

*Методические указания к лабораторной работе по физике № 0
для студентов всех направлений бакалавриата всех форм обучения*

Самостоятельное учебное электронное издание

Издание 2-е, переработанное

СЫКТЫВКАР 2014

УДК 53
ББК 223
О-72

Рассмотрены и рекомендованы к переизданию в электронном виде
кафедрой автоматизации технологических процессов и производств
Сыктывкарского лесного института.

Утверждены к переизданию в электронном виде
советом технологического факультета Сыктывкарского лесного института.

Составители:

ст. преподаватель **Л. С. Полугрудова**,
ст. преподаватель **Е. В. Илюшенко**

Отв. редактор:

доктор физико-математических наук, профессор **Ф. Ф. Асадуллин**

Рецензент:

доктор геолого-минералогических наук **О. Б. Котова**
(Институт геологии Коми НЦ УрО РАН)

ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕ-
О-72 **ТА ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ** [Электронный ресурс] : метод. указания к
лаб. работе по физике № 0 для студ. всех напр. бакалавриата всех форм
обуч. : самост. учеб. электрон. изд. : изд. 2-е, перераб. / Сыкт. лесн. ин-т ;
сост. Л. С. Полугрудова, Е. В. Илюшенко. – Электрон. дан. – Сыктывкар :
СЛИ, 2014. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

В методических указаниях приведена теоретическая часть по данной
теме, определен порядок выполнения работы (экспериментальная часть).
Для самоподготовки даны списки контрольных вопросов и рекомендуемой
литературы.

Первое издание опубликовано в 2005 г.

УДК 53
ББК 223

Темплан I полугодия 2014 г. Изд. № 5.

Самостоятельное учебное электронное издание

Составители: **Полугрудова** Людмила Степановна, **Илюшенко** Елена Вячеславовна

ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТА ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Электронный формат – pdf. Разрешено к публикации 18.06.14. Объем 0,7 уч.-изд. л.

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехни-
ческий университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),

167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, institut@sfi.komi.com, www.sli.komi.com

Редакционно-издательский отдел СЛИ. Заказ № 68.

© СЛИ, 2005

© СЛИ, 2014

© Л. С. Полугрудова, Е. В. Илюшенко, составление, 2005

© Л. С. Полугрудова, Е. В. Илюшенко, составление, 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	4
Введение	4
Виды измерений	4
Погрешности измерения	5
Вычисление случайных погрешностей прямых измерений.....	6
Вычисление систематических погрешностей.....	7
Суммарная ошибка прямых измерений	8
Погрешности косвенных измерений	8
Запись результатов измерений	10
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	10
Порядок выполнения работы	12
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	14
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ.....	16

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 0

ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТА ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Цель работы: ознакомление с теорией вычисления погрешностей при измерениях физических величин.

Задачи работы: 1) определение массы образца взвешиванием; 2) определение объема образца; 3) вычисление плотности материала образца; 4) вычисление погрешностей.

Обеспечивающие средства: микрометр, штангенциркуль, весы, образец.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Введение

Одной из основных задач физики как науки является адекватное описание физических явлений в природе, т. е. выяснение сути этих явлений и построение определенных моделей для их описания. При этом основой для построения данных моделей и критерием их правильности является физический эксперимент. При этом нужно всегда отдавать себе отчет, что любые измерения можно проводить с какой-то определенной точностью. Точность эта определяется не только теми возможностями, которыми обладает исследователь, но и часто определяется самой природой исследуемого объекта. Ниже изложены правила, которые позволяют оценивать точность проведенных измерений.

Виды измерений

При выполнении любой лабораторной работы физического практикума необходимо провести одно или несколько измерений одной или нескольких физических величин. В дальнейшем полученные экспериментальные данные обрабатываются с целью нахождения искомых величин и их погрешностей.

Измерение – это сравнение измеряемой величины с другой величиной, принимаемой за единицу измерения. Любая физическая величина обладает *истинным значением*, т. е. таким значением, которое идеальным образом отражает свойства объекта.

Измерения делят на *прямые* и *косвенные*. *Прямые* измерения проводятся с помощью приборов, которые измеряют саму исследуемую величину: линейные размеры тела измеряются линейкой, масса с помощью ве-

сов, отградуированных на единицу массы, и т. д. При *косвенных* измерениях искомая величина вычисляется из результатов прямых измерений других величин, которые связаны с ней известной зависимостью: измерение объема тела по измеренным линейным размерам, плотности тела и т. д.

Никакое измерение не может быть выполнено абсолютно точно, поэтому в задачу измерений входит не только нахождение самой величины, но также и оценка допущенной при измерении погрешности.

Погрешности измерения

Абсолютной погрешностью измерений (Δx) называется разность между найденным на опыте $x_{\text{изм}}$ и истинным значением $x_{\text{ист}}$ физической величины

$$\Delta x = x_{\text{изм}} - x_{\text{ист}}. \quad (1)$$

В качестве истинного значения измеряемой величины обычно принимают среднее арифметическое из всех полученных результатов, как наиболее близкое к истинному значению:

$$x_{\text{ист}} = x_{\text{ср}} = \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \quad (2)$$

где n – число измерений.

Кроме *абсолютной погрешности* Δx важно знать *относительную погрешность* δ_x , которая равна отношению абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины:

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{x_{\text{ист}}} = \frac{x_{\text{изм}} - x_{\text{ист}}}{x_{\text{ист}}}. \quad (3)$$

Качество измерений обычно определяется именно относительной, а не абсолютной погрешностью.

Погрешности измерений вызываются разными причинами, и их принято делить на *систематические*, *случайные* и *"грубые"* (промахи).

"Грубые" погрешности (промахи) возникают вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры. Если установлено, что произошла *"грубая"* ошибка (промах) в измерениях, то эти измерения нужно отбрасывать.

Несвязанные с *"грубыми"* ошибками погрешностями опыта делятся на *случайные* и *систематические*.

Вычисление случайных погрешностей прямых измерений

Многokrратно повторяя одни и те же измерения, можно заметить, что довольно часто результаты не равны друг другу, а располагаются вокруг некоторого среднего. Погрешности, меняющие значение и знак от опыта к опыту называются *случайными*. Случайные погрешности могут быть связаны как с несовершенством объекта измерений, так и с особенностями метода измерений и самого экспериментатора.

Случайные погрешности определяются по законам теории ошибок, основанной на теории вероятностей. Рассмотрим только основные свойства и правила их вычисления без использования доказательств.

Случайная погрешность $\Delta x_{\text{случ}}$ определяется формулой:

$$\Delta x_{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (4)$$

Результат опыта при учете только случайной погрешности записывается в виде:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x_{\text{случ}}. \quad (5)$$

Как видно из формул (2) и (4), величина \bar{x} при увеличении числа опытов n будет мало изменяться, т. к. величины x_i имеют примерно одинаковое значение и их сумма будет увеличиваться пропорционально числу слагаемых, т. е. n . В то время как $\Delta x_{\text{случ}}$ будет с ростом n уменьшаться, т. к. $\Delta x_{\text{случ}} \sim \frac{1}{\sqrt{n}}$ (число членов суммы в (4) растет, как n , а все подкоренное выражение, как $1/(n-1)$).

В теории вероятностей показано, что при достаточно больших n величина \bar{x} будет стремиться к $x_{\text{ист}}$, а величина $\sigma_x^2 = \Delta x_{\text{случ}}^2$ будет называться *дисперсией*. При этом формула (5) означает, что примерно 2/3 (точнее 68,3 %) измерений x_i будут лежать в интервале

$$\bar{x} - \Delta x_{\text{случ}} \leq x_i \leq \bar{x} + \Delta x_{\text{случ}}.$$

Из сказанного выше можно сделать вывод, что, увеличивая число измерений, можно существенно уменьшить *случайную* погрешность. Но увеличение числа измерений не вносит никаких изменений в систематическую погрешность.

Пример. Рассмотрим измерение длины деревянного бруска штангенциркулем. Из-за неоднородности спила мы каждый раз получаем различные длины.

№ опыта	1	2	3	4	5
a , см	10,485	10,420	10,415	10,445	10,445

В рассматриваемом примере

$$\bar{a} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 a_i = \frac{10,485 + 10,420 + 10,415 + 10,445 + 10,445}{5} \approx 10,442 \text{ см,}$$

$$\Delta a_{\text{случ}} = \sqrt{\frac{1}{20} \sum_{i=1}^5 (a_i - 10,442)^2} \approx 0,122 \text{ см,}$$

$$a = (10,442 \pm 0,122) \text{ см.}$$

Вычисление систематических погрешностей

Систематическая погрешность, в отличие от случайной, сохраняет свою величину (и знак) во время эксперимента. Систематические погрешности появляются вследствие ограниченной точности приборов, влияния внешних факторов и т. д.

Обычно основной вклад в систематическую погрешность $\Delta x_{\text{сист}}$ дает погрешность, определяемая точностью приборов, которыми производят измерения. Это означает, что независимо от количества выполненных измерений, точность полученного результата не превысит точности, обеспеченной характеристиками данного прибора. Для обычных измерительных инструментов (линейка, пружинные весы, секундомер) в качестве *абсолютной систематической погрешности берется половина цены наименьшего деления шкалы прибора*. Так, инструментальная погрешность миллиметровой линейки будет $\Delta \ell_{\text{сист}} = \frac{1 \text{ мм}}{2} = 0,5 \text{ мм}$, а погреш-

ность секундомера $\Delta t_{\text{сист}} = \frac{0,2 \text{ с}}{2} = 0,1 \text{ с}$. В рассматриваемом примере длина бруска измерялась с помощью штангенциркуля с погрешностью

$$\Delta a_{\text{сист}} = \frac{0,1 \text{ мм}}{2} = 0,05 \text{ мм} = 0,005 \text{ см,}$$

$$\text{инструментальная погрешность микрометра } \Delta x_{\text{сист}} = \frac{0,01 \text{ мм}}{2} = 0,005 \text{ мм.}$$

Суммарная ошибка прямых измерений

В реальных опытах присутствуют как систематические, так и случайные ошибки. Пусть они характеризуются абсолютными погрешностями $\Delta x_{\text{сист}}$ и $\Delta x_{\text{случ}}$. Тогда суммарная погрешность опыта находится по формуле

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{сист}}^2 + \Delta x_{\text{случ}}^2}. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что если одна из этих погрешностей мала, то ею можно пренебречь. Например, пусть $\Delta x_{\text{сист}}$ в 2 раза больше $\Delta x_{\text{случ}}$, тогда

$$\Delta x = \sqrt{\Delta x_{\text{сист}}^2 + \Delta x_{\text{случ}}^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_{\text{сист}}}{2}\right)^2 + \Delta x_{\text{сист}}^2} = \sqrt{\frac{5}{4} \Delta x_{\text{сист}}^2} \approx 1,12 \Delta x_{\text{сист}},$$

т. е. с точностью до 12 % $\Delta x = \Delta x_{\text{сист}}$.

Таким образом, меньшая погрешность почти ничего не добавляет к большей, даже если она составляет половину от нее. В том случае, если случайная ошибка опытов хотя бы вдвое меньше систематической, нет смысла производить многократные измерения, т. к. полная погрешность опыта при этом практически не уменьшается. Достаточно произвести 2–3 измерения, чтобы убедиться, что случайная ошибка действительно мала. В рассматриваемом нами примере $\Delta x_{\text{случ}} = 0,122$ см, а $\Delta x_{\text{сист}} = 0,005$ см. В результате, согласно формуле (6):

$$\Delta x = \sqrt{(0,122)^2 + (0,005)^2} \approx 0,122 \text{ см},$$

как видно, в этом случае можно пренебречь $\Delta x_{\text{сист}}$.

Погрешности косвенных измерений

Очень часто величину, необходимую получить в работе, нельзя определить прямыми измерениями. В этом случае искомая величина определяется косвенными измерениями, т. е. вычисляется из результатов прямых измерений других величин, которые связаны с ней известной зависимостью. Пусть величина A связана с прямо измеряемыми величинами x , y , z , ... соотношением $A = f(x, y, z, \dots)$, а $x = \bar{x} \pm \Delta x$, $y = \bar{y} \pm \Delta y$, $z = \bar{z} \pm \Delta z$, ..., тогда

$$A_{\text{cp}} = \bar{A} = f(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}), \quad (7)$$

$$\Delta A = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z} \Delta z\right)^2 + \dots} \quad (8)$$

и

$$A = \bar{A} \pm \Delta A. \quad (9)$$

В формуле (8) выражение $\partial f / \partial x$ означает частную производную функции f по переменной x , т. е. вычисляется производная df/dx , когда все остальные переменные y, z, \dots считаются параметрами (константами). Значения соответствующих частных производных в формуле (8) находят­ся при подстановке вместо переменных x, y, z, \dots значений $\bar{x}, \bar{y}, \bar{z}, \dots$.

В таблице 1 представлены выражения для вычисления абсолютных и относительных погрешностей косвенных измерений.

Таблица 1

f	ΔA	$\delta_A = \Delta A / \bar{A}$
$x + y + z + \dots$	$\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + \dots}$	$\frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + \dots}}{\bar{x} + \bar{y} + \bar{z} + \dots}$
$x - y$	$\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$	$\frac{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}}{\bar{x} - \bar{y}}$
$x \cdot y \cdot z$	$\sqrt{(\bar{y} \bar{z} \Delta x)^2 + (\bar{x} \bar{z} \Delta y)^2 + (\bar{x} \bar{y} \Delta z)^2}$	$\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\bar{x}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\bar{y}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta z}{\bar{z}}\right)^2}$
$\frac{x}{y}$	$\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\bar{y}}\right)^2 + \left(\frac{\bar{x}}{\bar{y}^2} \Delta y\right)^2}$	$\sqrt{\left(\frac{\Delta x}{\bar{x}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{\bar{y}}\right)^2}$
x^n	$n(\bar{x})^{n-1} \Delta x$	$n \frac{\Delta x}{\bar{x}}$
$\sqrt[n]{x}$	$\frac{1}{n} (\bar{x})^{\frac{1-n}{n}} \Delta x$	$\frac{1}{n} \frac{\Delta x}{\bar{x}}$
$\sin x$	$\Delta x \cos \bar{x}$	$\Delta x \operatorname{ctg} \bar{x}$
$\cos x$	$\Delta x \sin \bar{x}$	$\Delta x \operatorname{tg} \bar{x}$
$\ln x$	$\frac{\Delta x}{\bar{x}}$	$\frac{\Delta x}{\bar{x} \ln \bar{x}}$

Как видно из таблицы 1, в некоторых случаях косвенных измерений удобно пользоваться формулами для абсолютных погрешностей (сумма, разность, тригонометрические функции), а в некоторых – формулами для относительных погрешностей (произведение, частное, выражения, содержащие степень). Если величина A имеет более сложную зависимость, чем представленную в таблице 1, то нужно либо пользоваться общим правилом (8), либо компоновать выражения из таблицы 1.

Запись результатов измерений

При окончательной записи результатов нужно пользоваться следующими правилами:

1. При записи погрешности следует округлять ее до первой значащей цифры или до двух значащих цифр, если это 10, 11, 12, 13, 14.
2. При записи измеренного значения x последней должна указываться цифра того десятичного разряда, который использован при указании погрешности. При этом нужно пользоваться стандартным правилом округления: если следующая за последней значащей цифрой меньше 5, то значащая цифра остается неизменной; если же первая отбрасываемая цифра больше или равна 5, то последняя значащая цифра увеличивается на единицу. Если погрешность составляет две значащие цифры результата измерений, то в этом значении последнюю цифру следует округлить (в результате, но не в погрешности). Ниже даны примеры окончательной записи результатов измерений.

<i>Правильно</i>	<i>Неправильно</i>
284 ± 1	$284,5 \pm 1$
350 ± 40	353 ± 38
$52,7 \pm 0,3$	$52,74 \pm 0,3$
$13,840 \pm 0,013$	$13,8372 \pm 0,013$
$4,750 \pm 0,006$	$4,75 \pm 0,006$

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В настоящей работе необходимо найти плотность деревянного бруска, выполненного в виде параллелепипеда.

По определению, плотность вещества $\rho = \frac{m}{V}$, где m – масса тела, V – объем тела. Объем вычисляется через длину, высоту и ширину бруска a , b , c : $V = abc$, следовательно,

$$\rho = \frac{m}{abc}. \quad (10)$$

Линейные размеры – средние величины, они измеряются соответственно с точностью Δa , Δb , Δc .

Пример. Проведя измерения ширины и высоты бруска точно так же, как было описано выше, и измерив массу (в граммах) с высокой точностью на высокоточных весах, имеем:

$$\begin{aligned} a &= a_{\text{ср}} \pm \Delta a, & a &= (10,442 \pm 0,122) \text{ см}, \\ b &= b_{\text{ср}} \pm \Delta b, & b &= (12,123 \pm 0,152) \text{ см}, \\ c &= c_{\text{ср}} \pm \Delta c, & c &= (1,556 \pm 0,133) \text{ см}, \\ m &= m_{\text{ср}} \pm \Delta m, & m &= (87 \pm 1) \text{ г}, \end{aligned}$$

здесь Δa , Δb , Δc , Δm – полные погрешности, вычисленные по формуле (6).

По формуле

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m_{\text{ср}}}{a_{\text{ср}} b_{\text{ср}} c_{\text{ср}}} \quad (11)$$

найдем среднюю плотность бруска $\rho_{\text{ср}} = 0,436 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

При помощи таблицы 1 найдем формулу для вычисления абсолютной погрешности плотности.

$$\begin{aligned} \Delta \rho &= \sqrt{\left(\Delta m \frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 + \left(\Delta a \frac{\partial \rho}{\partial a}\right)^2 + \left(\Delta b \frac{\partial \rho}{\partial b}\right)^2 + \left(\Delta c \frac{\partial \rho}{\partial c}\right)^2} = \\ &= \sqrt{\left(\Delta m \frac{1}{abc}\right)^2 + \left(\Delta a \frac{m}{a^2 bc}\right)^2 + \left(\Delta b \frac{m}{ab^2 c}\right)^2 + \left(\Delta c \frac{m}{abc^2}\right)^2}. \end{aligned}$$

Относительная погрешность плотности $\frac{\Delta \rho}{\rho}$ выражается формулой:

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m}{m_{\text{ср}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta a}{a_{\text{ср}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b_{\text{ср}}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{c_{\text{ср}}}\right)^2}. \quad (12)$$

Подставим в формулу (12) значения величин и их погрешностей, найдем относительную погрешность плотности

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{1}{87}\right)^2 + \left(\frac{0,122}{10,442}\right)^2 + \left(\frac{0,152}{12,123}\right)^2 + \left(\frac{0,133}{1,556}\right)^2} = 0,098 = 9,8 \%$$

Умножив значение плотности на относительную погрешность, найдем абсолютную погрешность плотности

$$\Delta\rho = \rho_{\text{ср}} \cdot \frac{\Delta\rho}{\rho} = 0,098 \cdot 0,436 = 0,0427 \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}. \quad (13)$$

В соответствии с правилами окончательный результат запишется в виде:

$$\rho = \rho_{\text{ср}} \pm \Delta\rho.$$
$$\rho = (0,43 \pm 0,04) \frac{\text{Г}}{\text{см}^3}.$$

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с работой электронных весов и штангенциркуля. Записать систематические (инструментальные) погрешности весов и штангенциркуля.
2. Произвести измерение массы m , длины a , высоты b и ширины c бруска. Измерения повторить 5 раз. Результаты измерений занести в таблицу 2 с указанием единиц измерения величин.
3. Вычислить средние арифметические значения \bar{m} , \bar{a} , \bar{b} , \bar{c} по формуле (2) (обработку экспериментальных данных рекомендуется проводить с использованием прикладной программы Microsoft Excel).
4. Для каждого опыта найти значение $\Delta m_i = m_i - \bar{m}$, $\Delta a_i = a_i - \bar{a}$, $\Delta b_i = b_i - \bar{b}$, $\Delta c = c_i - \bar{c}$.
5. По формуле (4) определить случайные погрешности измерений $\Delta m_{\text{случ}}$, $\Delta a_{\text{случ}}$, $\Delta b_{\text{случ}}$, $\Delta c_{\text{случ}}$.
6. Вычислить суммарные погрешности измерений Δm , Δa , Δb , Δc по формуле (6).
7. Результаты вычислений занести в таблицу 2 с указанием единиц измерения величин.

Таблица 2

№ п/п	m_i	Δm_i	a_i	Δa_i	b_i	Δb_i	c_i	Δc_i
1								
2								
...								
n								
Средние		–		–		–		–
Случайная погрешность		–		–		–		–
Систематическая погрешность		–		–		–		–
Полная погрешность		–		–		–		–

8. Вычислить среднюю плотность материала бруска $\bar{\rho}$ по формуле (11), подставив средние значения \bar{m} , \bar{a} , \bar{b} , \bar{c} .

9. Определить относительную погрешность плотности по формуле (12).

10. Определить абсолютную погрешность плотности $\Delta\rho$ по формуле (13).

11. Записать результаты с указанием единиц измерений в таблицу 3.

Таблица 3

$\bar{m} \pm \Delta m$	$\bar{a} \pm \Delta a$	$\bar{b} \pm \Delta b$	$\bar{c} \pm \Delta c$	$\bar{\rho} \pm \Delta\rho$

12. Сделать вывод и оформить отчет.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется измерением?
2. Какие измерения относятся к прямым? косвенным? Приведите примеры.
3. Как найти среднее значение измеренной величины?
4. Дайте определение абсолютной погрешности измерения.
5. Что называется относительной погрешностью измерения?
6. На какие группы делятся погрешности по типу вызывающих их причин?
7. Как вычисляется случайная погрешность?
8. Как оценить значение систематической (инструментальной) погрешности? Приведите примеры.
9. Как оценивается суммарная погрешность прямых измерений?
10. Как определяется погрешность косвенного измерения? Приведите формулу для определения косвенной погрешности плотности материала бруска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная учебная литература

1. Бутиков, Е. И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов : в 3-х книгах. Кн. 1. Механика / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 352 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/75492/>.
2. Бутиков, Е. И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие : в 3-х книгах. Кн. 2. Электродинамика. Оптика. / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 336 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/75493/>.
3. Бутиков, Е. И. Физика [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов вузов : в 3-х книгах. Кн. 3. Строение и свойства вещества / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев, В. М. Уздин ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 170 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/75494/>.

Дополнительная учебная и учебно-методическая литература

1. Асадуллин, Ф. Ф. Основы классической механики [Электронный ресурс] : учеб. пособие по дисциплине "Физика" для студ. всех направлений бакалавриата, спец., форм обучения : [электрон. версия бумажного изд.] / Ф. Ф. Асадуллин, Л. Н. Котов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Сыкт. лесн. ин-т (фил.) ФГБОУ ВПО С.-Петерб. гос. лесотехн. ун-т им. С. М. Кирова, Каф. физики. – Электрон. текстовые дан. (1 файл в формате pdf: 1,11 Мб). – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – on-line. –

Систем. требования: Acrobat Reader (любая версия). – Загл. с титул. экрана. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com/ft/301-000215.pdf>.

2. Козлов, В. Ф. Курс общей физики в задачах [Электронный ресурс] / В. Ф. Козлов ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Москва : Физматлит, 2010. – 262 с. – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/68398/>.

3. Дмитриева, Е. И. Физика для инженерных специальностей. Ответы на вопросы [Электронный ресурс] : [учебное пособие] / Е. И. Дмитриева ; Университетская библиотека онлайн (ЭБС). – Саратов : Ай Пи Эр Медиа, 2011. – 142 с. – (Скорая помощь студенту). – Режим доступа: <http://www.biblioclub.ru/book/78809/>.

4. Калашников, Н. П. Физика. Интернет-тестирование базовых знаний [Текст] : учеб. пособие для подготовки студ. вузов к Федеральному интернет-тестированию по физике / Н. П. Калашников, Н. М. Кожевников. – Изд. 2-е, стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 160 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

5. Трофимова, Т. И. Физика. 500 основных законов и формул [Текст] Физика. 500 основных законов и формул [Текст] / Т. И. Трофимова. – 3-е изд., стер. – Москва : Высш. шк., 2001. – 64 с.

6. Трофимова, Т. И. Физика. Справочник с примерами решения задач [Текст] / Т. И. Трофимова. – Москва : Высш. образование, 2008. – 448 с. – (Основы наук).

ПРИЛОЖЕНИЕ. ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 0 ОСВОЕНИЕ МЕТОДОВ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТА ИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Выполнил: студент 101 группы
Иванов И. И.

Проверил: преподаватель
Петров П. П.

Дата: 11 ноября 2013 г.

1. Цель работы:
2. Обеспечивающие средства:
3. Расчетные формулы и формулы погрешностей:

Среднее арифметическое значение

Случайная погрешность измерений

Полная погрешность измерений

Плотность материала бруска

Относительная погрешность плотности

Абсолютная погрешность плотности

4. Результаты измерений:

№ п/п	m_i , г	Δm_i , г	a_i , см	Δa_i , см	b_i , см	Δb_i , см	c_i , см	Δc_i , см
1								
2								
3								
4								
5								
Среднее		–		–		–		–
Случайная погрешность		–		–		–		–
Систематическая погрешность		–		–		–		–
Полная погрешность		–		–		–		–

5. Результаты вычислений:

$\bar{m} \pm \Delta m$, г	$\bar{a} \pm \Delta a$, см	$\bar{b} \pm \Delta b$, см	$\bar{c} \pm \Delta c$, см	$\bar{\rho} \pm \Delta \rho$, г/см ³

6. **Вывод:** Плотность материала исследованного бруска равна

$$\bar{\rho} \pm \Delta \rho = (\dots \pm \dots) \text{ г/см}^3.$$