

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского
Национальный исследовательский университет

ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Учебно-методическое пособие

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика», 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» и специальностям 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы»

Нижний Новгород
2015

УДК 53 (076.5)
ББК ВЗЯ73-5
З-15

Рецензент: кандидат физико-математических наук, доцент **В.В. Пархачев**

З-15 ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА: Составители:
Агрба П.Д., Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород:
Нижегородский госуниверситет, 2015. – 14с.

В работе содержатся требования, предъявляемые при прохождении лабораторного практикума, при оформлении протоколов и отчетов по лабораторным работам, правила вычисления погрешностей.

Методическое пособие предназначено для студентов радиофизического факультета обучающихся по направлениям подготовки 03.03.03 «Радиофизика», 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии» и специальностям 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем», 11.05.02 «Специальные радиотехнические системы».

Ответственные за выпуск:
Зам.председатель методической комиссии радиофизического факультета
ННГУ, д.ф.-м.н., профессор **Е.З. Грибова**

УДК 53 (076.5)
ББК ВЗя73-5

1. ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Лабораторные занятия на радиофизическом факультете ННГУ занимают до 30% учебного времени. Объясняется это тем, что в своей будущей профессиональной деятельности выпускники в той или иной степени будут заняты непосредственным проведением экспериментов или обработкой их результатов.

Первый лабораторный практикум, выполняемый студентами радиофизического факультета во время их учебы в ННГУ – это практикум по физике. Поэтому целью данного практикума является не только выполнение определенного минимума подобранных по тематике работ, но и освоение на их материале техники проведения эксперимента и обработки его результатов.

В ходе выполнения лабораторных работ студент должен научиться:

1. грамотно проводить эксперимент, т.е. выбирать оптимальную методику измерений, контролировать условия эксперимента, правильно пользоваться приборами;
2. оценивать точность проводимых измерений и соотносить с ней точность последующих вычислений;
3. рационально (т.е. исчерпывающе по существу и экономно по форме) записывать результаты измерений в протоколе к соответствующей работе;
4. оформлять ясный, аккуратный и исчерпывающий по существу отчет по проделанному эксперименту, удовлетворяющий установленным требованиям.

Необходимо помнить, что подготовка отчетных материалов по проведенному эксперименту является важной частью лабораторной работы. Умение грамотно составить отчет является необходимым качеством физика-экспериментатора.

2. ПОРЯДОК РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ

Занятия в лаборатории идут по заранее составленному графику-маршруту. В нем предусмотрено время для сдачи допуска к работе, проведения эксперимента и сдачи отчета. День, когда в графике стоит номер работы, отводится на сдачу допуска и проведение эксперимента. На занятиях, отмеченных знаком X, студент представляет и защищает отчеты по проделанным одной или двум работам.

Студент, не сдавший отчет по двум лабораторным работам, к третьей работе не допускается.

Начинать выполнение экспериментальной работы можно только после сдачи допуска к работе и с разрешения преподавателя или инженера лаборатории. По окончании работы студент отключает источник питания и представляет преподавателю или лаборанту протокол для проверки. Только после получения их подписи он разбирает схему и приводит рабочее место в

исходное состояние. Без подписи преподавателя или лаборанта протокол считается недействительным, а работа невыполненной.

Как уже говорилось выше, на занятии, отмеченном в графике маршрута знаком X, студент отчитывается за проделанную работу. К этому занятию студент должен составить отчет по лабораторной работе и подготовиться к беседе с преподавателем, т.е. защите своего отчета. После сдачи отчета студент получает зачет по данной лабораторной работе, о чем свидетельствует подпись преподавателя на отчете и отметка в соответствующем журнале.

Общий зачет по лабораторному практикуму студент получает после того, как он выполнит и сдаст все лабораторные работы, предусмотренные графиком.

3. ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЯ

Протокол составляется каждым студентом непосредственно во время работы с приборами в специальной или общей для протоколов и отчетов тетради.

Протокол должен содержать следующие элементы:

1. название лабораторной работы и дату ее выполнения
2. перечень приборов, используемых в данной работе, с указанием их марки и класса точности.
3. рабочую схему электрической цепи, собираемой для выполнения эксперимента (для работ электрического цикла), или схематический рисунок установки с указанием измеряемых в работе величин (для работ по механике, термодинамике и т.д.).

Например, в работе «Определение момента инерции маятника Обербека» возможен следующий рисунок (рис. 1)

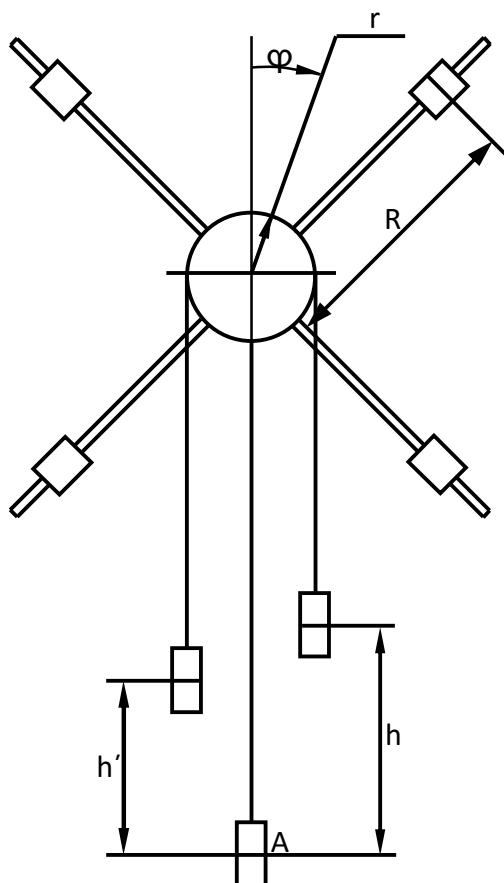


Рис. 1. Пример схематического рисунка установки с указанием измеряемых в работе величин для работы «Определение момента инерции маятника Обербека».

Если в работе есть несколько самостоятельных заданий, то для каждого из них надо кратко записать название, зарисовать схемы и указать приборы, необходимые для выполнения именно этого задания.

4. Таблицы для записи результатов измерений и вычислений с указанием единиц измерения для каждой величины и погрешностей прямых измерений.

Например,

№ п/п	h, см	m, г	t, с	$a=2h/t^2$, см/с ²

Где погрешности составляют: $\Delta h=0,5$ мм; $\Delta t=0,2$ с; $\Delta m=0,5$ г.

5. Приближенное вычисление косвенно измеряемых величин, например, величины a (ускорения) в вышеприведенной таблице.

В конце протокола надо предусмотреть пункт «Дополнительные сведения», где отмечается следующее:

1. все отклонения от намеченного хода работы,
2. неполадки в установке,
3. наблюдаемые дополнительные эффекты,
4. предложения по устранению недостатков и усовершенствованию работы и т.д.

4. ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Отчет составляется дома каждым студентом в отдельной тетради или общей с протоколом.

Основное, общее требование к существу отчета:

Отчет есть самостоятельный и исчерпывающий документ, по которому человек, ориентирующийся в физике, может полностью восстановить ход работы, повторить ее при необходимости, проверить достоверность всех промежуточных результатов. Необходимо обращать внимание на четкую рубрикацию отчета (нумерацию составных частей, выделение заголовков и т.д.). Сокращение слов в отчете (кроме единиц измерения физических величин) не допускается.

Отчет содержит следующие элементы.

1. Полное название лабораторной работы и дату составления отчета.
2. Кратко сформулированную цель работы.
3. Перечень приборов, используемых в данной работе, с указанием их марки и класса точности.
4. Принципиальную схему электрической цепи или рисунок, на основе которой делаются измерения.
5. Краткое изложение теории изучаемого в данном эксперименте физического явления с выводом формул, используемых для обработки экспериментальных данных, определениями измеряемых величин и пояснением всех используемых буквенных сокращений.
6. Содержание выполняемых заданий.
7. Результаты измерений (прямых и косвенных), оформленные в виде таблиц или графиков (о правилах построения графиков будет сказано ниже), вклеенных в соответствующее место отчета.
8. Расчет погрешностей косвенных измерений. При этом нет необходимости приводить в отчете вычисления погрешности для каждой точки. В отчете приводится формула, по которой рассчитываются погрешности, а сами погрешности отображаются на графике в виде прямоугольника ошибок.

Число значащих цифр при вычислении косвенно измеряемой величины должно соответствовать погрешности этой величины.

9. Выводы, где результаты измерений и вычислений сравниваются с теоретическими значениями, объясняются причины расхождения опыта и теории и даются рекомендации по их устранению. В выводах также обсуждаются отклонения от намеченного хода работы и неполадки (если они были) в работе установки. Делаются предположения об их влиянии на результаты работы.
10. Ответы на вопросы, если они сформулированы в описании к соответствующей лабораторной работе.

5. О ПОСТРОЕНИИ ГРАФИКОВ

При обработке экспериментального материала часто прибегают к графическому представлению результатов опыта. Графики дают наглядную информацию о функциональной зависимости величин.

С помощью графика можно найти значение одной из величин по заданному значению другой как внутри исследуемого интервала (интерполирование), так и вне его (экстраполирование).

Иногда на осях координат откладывают не сами значения измеряемых величин, а какие-либо их функции. Например, для выяснения вопроса, будет ли равноускоренным движение груза (в работе № 127 «Машина Атвуда»), удобно построить график $h(t^2)$ вместо $h(t)$.

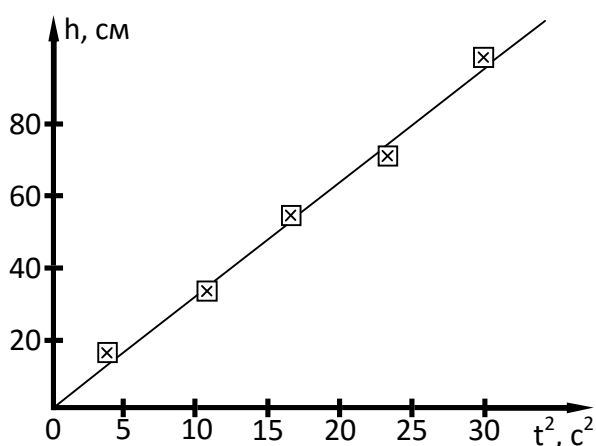


Рисунок 2. Пример графика зависимости пройденного расстояния от квадрата времени для работы «Машина Атвуда».

Если точки лежат на прямой, проходящей через начало координат, то можно считать $a=\text{const}$ в пределах точности данного эксперимента.

При построении графиков обычно используют прямоугольную систему координат. Перед построением графика выбирают масштабы для функции и аргумента в соответствии с максимальными и минимальными значениями откладываемых по вертикальной и горизонтальной осям величин.

Масштаб обычно выбирается кратным 2, 5, 10, 20 и т.п. для удобства отсчета. При выборе масштаба надо предусмотреть, чтобы на графике не оставалось много свободного места, т.е. кривая не должна быть прижата к той или другой оси.

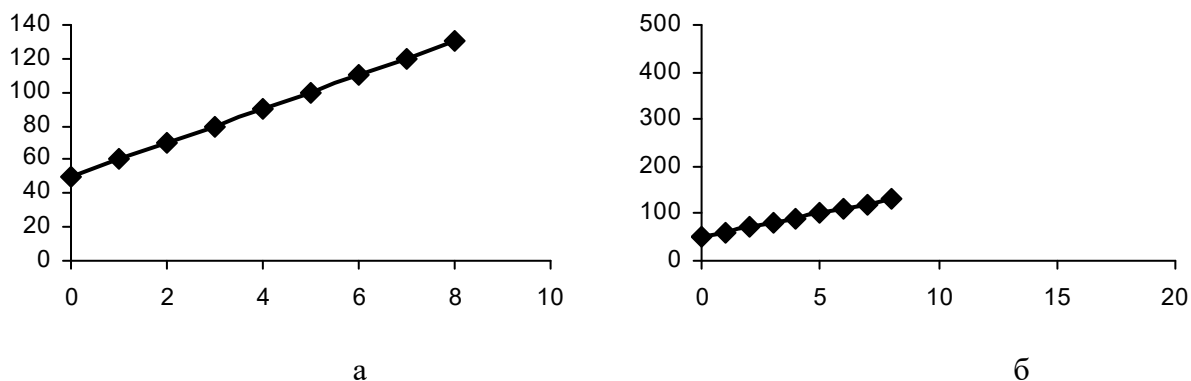


Рис. 3 Пример правильного (а) и неправильного (б) выбора масштаба при построении графика $y=10x+50$

В некоторых случаях в линейных шкалах не удастся выбрать масштаб, в котором хорошо различаются значения точек. В случаях, когда измеряемые величины принимают значения в широком диапазоне удобно использовать логарифмическую шкалу (например, для измерения частот). При использовании логарифмической шкалы по оси откладывается логарифм значения измеряемой величины по выбранному основанию (наиболее часто используются 10, e , 2). При использовании логарифмической шкалы длина отрезка отложенного вдоль шкалы пропорциональна логарифму отношения величин отмеченных на концах этого отрезка.

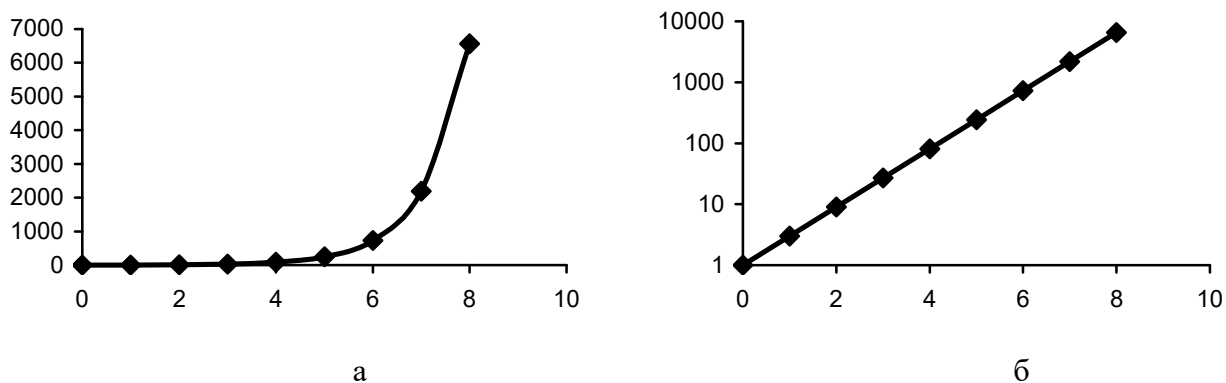


Рис. 4 Пример построения графика $y=3^x$ в линейной (а) и логарифмической (б) шкалах.

У концов осей координат пишут обозначения величин и единицы измерений. На осях откладывают масштабные единицы, а не координаты экспериментальных точек.

На подготовленной таким образом плоскости наносят точки. Так как и аргумент и функция определяются на опыте с соответствующими погрешностями, то около экспериментальных точек строят так называемый прямоугольник ошибок. Экспериментальная точка оказывается в центре прямоугольника, стороны которого выражают в данном масштабе величины абсолютных ошибок функции и аргумента.

Линию графика проводят не через каждую точку, а плавно, по возможности близко к экспериментальным точкам так, чтобы точки равномерно располагались по обе стороны кривой. Она должна пересекать или касаться прямоугольников ошибок. Для точек, резко отклоняющихся от кривой, нужно проверить правильность измерения или вычисления их координат.

Следует помнить, что эксперимент, как правило, дает лишь отдельные точки, которые вы наносите на график. Так называемая экспериментальная кривая – ваша интерпретация результатов эксперимента. Для наглядного сравнения результатов эксперимента с предсказаниями теории на графиках изображают кривую, основанную на теоретических формулах.

6. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Основной задачей физического эксперимента является определение численных значений физических величин (т.е. их измерение) и установление количественных зависимостей между ними.

Измерения бывают прямые и косвенные.

При прямых измерениях физическая величина либо непосредственно сравнивается с единицей измерения – эталоном (длины, массы, времени и т.д.), либо сравнение производится с помощью приборов, градуированных в единицах измеряемой величины. При косвенных измерениях значение физической величины находят путем вычисления по формуле, связывающей эту величину с прямо измеряемыми величинами.

Погрешность измерений – это мера отклонения результата измерения x от истинного (обычно неизвестного) значения измеряемой величины x_0 . Абсолютная ошибка измерения $\Delta x = |x - x_0|$. Относительная ошибка измерения $\delta x = \Delta x / x$; она обычно выражается в процентах.

Различают три вида ошибок: промахи, систематические ошибки случайные ошибки.

Промахи – это ошибки, являющиеся результатом низкой квалификации лица, производящего измерения, его небрежности, невнимательности или неожиданных сильных внешних воздействий на измерения. Обычно величина промахов большая и при обработке результатов измерения они отбрасываются. Избежать промахов часто помогают контрольные измерения.

Систематические ошибки – это ошибки, величина которых одинакова во всех измерениях, производящихся одним и тем же методом с помощью одних и тех же измерительных приборов. Так, при точном взвешивании разность сил Архимеда, действующих на тело и гири, дает систематическую ошибку, которая может быть учтена соответствующей поправкой.

Другой тип систематических ошибок – это ошибки измерительных приборов. Величина этой ошибки неизвестна, можно говорить лишь о ее максимальном значении, которое определяется либо по классу точности прибора, либо по цене деления шкалы прибора, либо указано в его паспорте. Класс точности стрелочных приборов (амперметров, вольтметров) указывается числом, обведенном кружком (например, 0,5; 1,0; 2,5 и т.д.), которое означает максимальную абсолютную погрешность прибора, выраженную в процентах от всей шкалы. Так, для вольтметра на 150В с классом точности 1,0 максимальная ошибка равна 1% от 150В, т.е. $\pm 1,5В$ в любой точке шкалы. Если вольтметр показал 120 В, то мы можем написать $V=(120\pm 1,5)В$, где $\pm 1,5В$ означает, что истинное значение напряжения лежит где-то в пределах от 118,5 до 121,5 В. Ничего большего о значении напряжения сказать нельзя.

Максимальные ошибки, даваемые измерительными линейками, микрометрами и некоторыми другими приборами, часто наносятся на самом приборе (например, 0,01 мм на микрометре).

На хороших измерительных приборах цена деления шкалы согласована с классом точности, поэтому, когда класс точности неизвестен, за максимальную ошибку часто принимают $\frac{1}{2}$ цены деления шкалы.

Случайные ошибки. Случайными называют ошибки, величина и знак которых меняются случайным образом при выполнении ряда измерений. Они являются следствием причин, влияние которых невозможно учесть, так как этих причин очень много, а роль каждой из них незначительна и изменчива. Так, при измерении периода колебаний маятника секундомером результаты многократных измерений будут различны из-за влияния пуска и остановки секундомера (что определяется быстротой реакции экспериментатора, которая в свою очередь, зависит от целого ряда факторов), неравномерности движения маятника под действием хаотических воздушных течений, различного ряда толчков, передающихся на точку подвеса, температурных изменений длины маятника и т.д.

Если заранее не известно, какая из ошибок является преобладающей, то следует проделать ряд измерений. Разброс численных значений этого ряда говорит о существенной роли случайной ошибки, в противном случае определяющей является максимальная ошибка прибора.

Влияние случайной ошибки уменьшается по сравнению с ошибкой измерения при увеличении числа измерений. Отсюда вытекают следующие общие правила:

1. Если приборная ошибка является определяющей, то измерение достаточно выполнить один раз.

2. Если случайная ошибка является определяющей, то измерение следует провести несколько раз. Число измерений (если позволяют условия опыта) надо выбрать таким, чтобы случайная ошибка ряда измерений была меньше приборной ошибки, с тем чтобы последняя опять определяла окончательную ошибку результата.

Второе правило обеспечивает эффективное использование возможностей измерительных приборов. Важность этого становится понятной, если учесть сложность современного физического эксперимента, уникальность приборов, их высокую стоимость.

7. ПРАВИЛА ВЫЧИСЛЕНИЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ОШИБКИ

Пусть проводится косвенное измерение физической величины Z , которая выражает через прямо измеряемые величины $X_1, X_2, \dots, X_n, Z=Z(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Так как обычно ΔX_i малы, то погрешность Z можно вычислить по правилам дифференцирования, поэтому частная погрешность Z , связанная с измерением X_i , будет равна

$$\Delta Z_i = \frac{\partial Z}{\partial X_i} \Delta X_i. \quad (1)$$

Максимальная погрешность ΔZ получается в таком измерении, когда все частные погрешности (1) имеют один знак и максимальны по абсолютной величине, поэтому

$$\Delta Z = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial Z}{\partial X_i} \Delta X_i \right|. \quad (2)$$

где ΔX_i – максимальная приборная ошибка (считается, что другие систематические ошибки учтены). По этой формуле получены выражения, приведенные в следующей таблице:

Для простейших арифметических операций могут быть получены удобные для запоминания формулы:

Таблица 1. Примеры вычисления максимальной погрешности

№№ пп	Z	Погрешность Z
1	$Z=X_1+X_2$	$\Delta Z= \Delta X_1 + \Delta X_2 $
2	$Z=X_1-X_2$	
3	$Z=X_1^2+X_2^2$	$\Delta Z=2(X_1\Delta X_1 + X_2\Delta X_2)$
4	$Z=X_1^2-X_2^2$	
5	$Z=X_1 \cdot X_2$	$\delta Z=\delta X_1+\delta X_2$
6	$Z=X_1/X_2$	$\delta Z=\delta X_1+\delta X_2$
7	$Z=X^n$	$\delta Z=n\delta X$

Пример. Найти максимальную ошибку ускорения свободного падения, измеряемого с помощью математического маятника:

$$g = 4\pi^2 n^2 \frac{l_2 - l_1}{t_2^2 - t_1^2}, \quad (3)$$

где $l_{1,2}$ и $t_{1,2}$ – два значения длины и времени n колебаний маятника. Будем считать, что значение числа π взято с достаточной точностью, а n отсчитывается без ошибки (ошибка в числе колебаний является промахом). Тогда по таблице имеем

$$\delta g = \delta(l_2 - l_1) + \delta(t_2^2 - t_1^2). \quad (4)$$

Далее, используя таблицу, получим

$$\delta(l_2 - l_1) = \frac{\Delta(l_2 - l_1)}{(l_2 - l_1)} = \frac{|\Delta l_2| + |\Delta l_1|}{l_2 - l_1} = \frac{2|\Delta l|}{l_2 - l_1}, \quad (5)$$

$$\delta(t_2^2 - t_1^2) = \frac{\Delta(t_2^2 - t_1^2)}{t_2^2 - t_1^2} = \frac{2(t_2 |\Delta t_2| + t_1 |\Delta t_1|)}{t_2^2 - t_1^2} = \frac{2|\Delta t|}{t_2 - t_1}, \quad (6)$$

здесь считалось $|\Delta l_1| = |\Delta l_2| = |\Delta l|$; $|\Delta t_1| = |\Delta t_2| = |\Delta t|$. Окончательно имеем

$$\delta g = \frac{2|\Delta l|}{l_2 - l_1} + \frac{2|\Delta t|}{t_2 - t_1}. \quad (7)$$

Число значащих цифр в абсолютной и относительной погрешности берут, как правило, не больше двух.

8. ОКРУГЛЕНИЕ ЧИСЕЛ

При округлении чисел возникает вопрос: сколько значащих цифр надо брать в константах (например, π , e и т.д.) и в окончательном результате. В этом случае все зависит от величины погрешностей. Число значащих цифр в константах необходимо оставлять таким, чтобы точность их округленного значения на один-два порядка превосходила все другие величины, а в окончательном результате вычислений число значащих цифр надо оставлять в соответствии с полученной погрешностью, т.е. разряды последних значащих цифр результата и погрешность должны совпадать (например, нет смысла писать $X_0 = (183,24123 \pm 2,9)10^2$ м, надо округлить и записать $X_0 = (183,2 \pm 2,9)10^2$ м).

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Н.Зайдель. Элементарные оценки ошибок измерений. Л.: Наука, 1967. – 99 с.
2. Дж.Сквайрс. Практическая физика. М.: Мир, 1971. – 248 с.
3. Т.А.Агекян. Основы теории ошибок. М.: Наука, 1968. – 172 с.

ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Составители:
Павел Дмитриевич Агрба

Учебно-методическое пособие

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского».
603950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23.