

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

Специализированный учебно-научный центр
Физико-математический лицей №1580

Кафедра «Основы физики»

Лабораторный практикум по физике
Электронное издание
10 класс

МЕХАНИКА

Лабораторная работа М0

Введение в теорию погрешностей. Измерения
в физическом практикуме

Москва, 2013

Лабораторный практикум по физике. МЕХАНИКА. — Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

Лабораторный практикум по физике для 10 класса состоит из лабораторных работ для занятий учащихся 10 классов в Специализированном учебно-научном центре МГТУ имени Н.Э. Баумана. Лабораторные работы, приведенные в сборнике, позволят учащимся глубже изучить законы физики и получить навыки проведения экспериментальных физических исследований.

Составители лабораторных работ:
И. Н. Грачева, В. И. Гребенкин, А. Е. Иванов,
И. А. Коротова, Е. И. Красавина, А. В. Кравцов,
Н. С. Кулеба, Б. В. Падалкин, Г. Ю. Шевцова,
Т. С. Цвецинская.

Под редакцией И. Н. Грачевой, А. Е. Иванова, А. В. Кравцова.

Предисловие

Физический практикум содержит описания лабораторных работ для учащихся 10-х классов лицея №1580 при МГТУ имени Н. Э. Баумана.

На выполнение каждой работы отводится два академических часа занятий. Подготовку к выполнению работ учащиеся производят в часы их самостоятельной работы.

Основной задачей лабораторных занятий является приобретение навыков в обращении с измерительными приборами, знакомство с простейшими приемами обработки результатов измерений и привитие учащимся навыков самостоятельной работы.

Наряду с этим выполнение лабораторных работ способствует более осознанному пониманию физических явлений и законов.

В описании работ даны краткая теория, методика выполнения работы, последовательность измерительных операций, а также простейшие приемы обработки результатов измерений.

Методические указания

При подготовке к выполнению лабораторной работы нужно ознакомиться с ее содержанием, изучить по рекомендованной литературе теоретический материал, дать ответы на контрольные вопросы, продумать измерительные операции, оформить лабораторный журнал. В качестве лабораторного журнала используют общую тетрадь. Оформление каждой работы начинают с новой страницы.

В тетрадь вписывают название, номер работы, дату выполнения, цель, схемы установки, перечень приборов, таблицы, расчетные формулы.

Для вспомогательных записей и расчетов отводят четные страницы; схемы, таблицы выполняются в карандаше; все записи делают чернилами; графики клеивают в тетрадь.

По окончании всех измерений рассчитывают искомые величины и их погрешность. В конце работы пишут заключение, в котором:

- указывают, что и каким методом определили
- приводят окончательный результат измерений
- приводят краткое обсуждение полученного результата

Введение

В.1 Предварительное знакомство с теорией погрешностей

В физической лаборатории вы сможете непосредственно наблюдать те явления, которые будете изучать на лекциях и по учебнику, сможете познакомиться с наиболее важными современными приборами и методами измерений, освоить правила обработки и оформления результатов измерения.

Физическая величина — это характеристика одного из свойств физического объекта, качественно общая для разных объектов, но присущая данному объекту в количественном отношении. Физическими величинами являются, например, масса, сила, температура.

Для получения количественной характеристики физической величины — значения физической величины — устанавливают единицы физической величины (неверным является словосочетание «единица измерения»). Выбор единиц физических величин, определение некоторых из них как основных и формирование систем единиц физических величин осуществляются в процессе развития науки и техники и определяются удобством практического использования. В Российской Федерации принята Международная система единиц (СИ) как обязательная для использования.

В основе лабораторного эксперимента лежит измерение — нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Выделяют измерение прямое, при котором искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных, и косвенное, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Для производства измерения необходимо взаимодействие средств измерения с элементами измеряемой физической системы. Любое взаимодействие тел изменяет их состояние, а значит, в процессе любого измерения мы определяем значения физических величин, которое они принимают в процессе взаимодействия исследуемого тела с измерительными средствами. Это означает, что полученные в процессе измерения значения исследуемых физических величин отличаются от их значений в отсутствие измерительного взаимодействия. Следовательно, в задачу любого измерения входит не только нахождение значения самой величины, но и оценка допущенной при измерении погрешности.

Погрешности измерений подразделяются на систематические, случайные и грубые.

Систематическая составляющая погрешности измерения — погрешность, обусловленная одной и той же причиной, которая может быть известна заранее или определена в процессе дополнительных исследований. Эта погрешность остаётся постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Она обусловлена, в основном, методом измерений, игнорированием некоторых постоянно действующих факторов и погрешностями измерительных приборов, внесёнными при их изготовлении и градуировке. Систематические погрешности в принципе можно устранить, учитывая их в виде поправок к показаниям приборов, выбирая более точный метод или прибор и т. п. На практике некоторая систематическая погрешность результата измерений существует всегда, поскольку точность измерительного прибора имеет конечное значение. При обработке результатов измерений оценивают диапазон значений измеряемой величины, обусловленный точностью прибора.

Случайная составляющая погрешности измерения — погрешность, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Эти погрешности обусловлены разными причинами, которые заранее не известны. Такими причинами могут быть неконтролируемые изменения внешних условий (температуры, давления, влажности, вибраций, освещённости и т. п.). Случайные погрешности принципиально неустраняемы, но существуют способы их уменьшения.

Можно выделить общие закономерности в появлении случайных погрешностей:

- отклонения от истинного значения измеряемой величины в сторону завышения и в сторону занижения встречаются в среднем одинаково часто;
- малые отклонения встречаются чаще, чем большие.

Наличие таких закономерностей позволяет надеяться, что среднее значение результатов нескольких измерений близко к истинному и, чем больше число измерений, тем точнее полученный результат.

Грубая погрешность возникает как следствие ошибок измерений (небрежности при чтении показаний приборов, неправильного включения прибора и т. п.). Эта погрешность существенно превышает ожидаемую при данных условиях погрешность. Результаты, полученные с грубой погрешностью, следует исключать из рассмотрения (как говорят, «отбрасывать»). Методы математической статистики позволяют оценить ожидаемую погрешность и тем самым оценить наличие грубой погрешности. В принципе, систематические погрешности можно устранить. Исключить случайные погрешности отдельных измерений невозможно, хотя математическая теория случайных явлений позволяет уменьшить влияние этих погрешностей на окончательный результат измерений и установить разумное значение погрешностей. Для этого необходимо произвести не одно, а несколько измерений, причем, чем меньшее значение случайной погрешности мы хотим получить, тем больше измерений нужно произвести.

Однако нет смысла производить измерений больше, чем это необходимо. Число измерений целесообразно выбирать таким, чтобы случайная погрешность была несколько меньше систематической, а последняя определяла окончательную погрешность результата.

В.2 Абсолютная и относительная погрешность

Абсолютной погрешностью измерения называют разность ΔX между истинным и измеренным значениями величины.

$$\Delta x = X_{\text{ист}} - x_i, \quad (\text{B.1})$$

где x_i — значение величины X , полученное при i -м измерении; $X_{\text{ист}}$ — истинное значение величины X . Абсолютная погрешность измерения не полностью характеризует качество произведённого измерения. Например, абсолютная погрешность, равная 1 м при измерении расстояния 10 км в целях оценки расхода топлива автомобилем, является малой величиной, а для расстояния 5 м может считаться только грубой оценкой.

Для характеристики качества измерения вводят понятие относительной погрешности

$$\epsilon = \left| \frac{\Delta x}{X_{\text{ист}}} \right| \quad (\text{B.2})$$

Часто относительную погрешность выражают в процентах от истинного значения.

В.3 Стандартный способ представления результата измерения

Результат любого измерения имеет смысл только в том случае, если экспериментатор указывает:

1. Наилучшую оценку истинного значения измеряемой величины.
2. Интервал значений (доверительный интервал), в котором, по мнению экспериментатора, с некоторой задаваемой экспериментатором вероятностью (доверительной вероятностью) находится истинное значение измеряемой величины.

3. Саму доверительную вероятность.

Если мы не укажем хотя бы один из этих показателей, то результат нашего эксперимента будет лишен смысла, так как мы не знаем при этом, насколько надежны наши данные.

Строгая запись результата эксперимента выглядит следующим образом:

$$P(X_{\text{наил}} \pm \delta) = \alpha, \quad (\text{B.3})$$

где P — обозначение для доверительной вероятности; $X_{\text{наил}}$ — значение наилучшей оценки истинного значения измеряемой величины; δ — полуширина доверительного интервала; $\alpha < 1$ — значение доверительной вероятности.

На практике чаще используют так называемую стандартную запись результата:

$$X = X_{\text{наил}} \pm \delta \quad (P = \alpha), \quad (\text{B.4})$$

В.4