

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

## **ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО МЕХАНИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ**

Учебно-методическое пособие  
для студентов биолого-почвенного, геологического  
и химического факультетов

Воронеж  
2014

## СОДЕРЖАНИЕ

1.1. Правила работы в лаборатории. Оформление результатов работы.....	4
1.2. Обработка результатов физического эксперимента.....	5
1.3. Изучение измерительных приборов.....	12
1.4. Определение плотности твердых тел, имеющих правильную геометрическую форму.....	15
2. Гармонические колебания .....	16
2-1. Исследование законов колебательного движения математического и оборотного маятника на установке с электронным секундомером.....	22
2-2. Проверка законов колебания математического маятника и определение ускорения свободного падения .....	25
3. Затухающие колебания .....	27
3-1. Определение логарифмического декремента затухания и коэффициента затухания крутильных колебаний .....	30
3-2. Определение логарифмического декремента затухания и коэффициента затуханий колебаний математического маятника .....	32
4. Изучение законов динамики поступательного движения с помощью машины Атвуда .....	34
5. Вращательное движение твердых тел.....	37
5-1. Определение моментов инерции твердых тел при помощи крутильных колебаний .....	40
5-2. Определение моментов инерции твердых тел с помощью маятника Максвелла .....	43
5-3. Определение моментов инерции твердых тел с помощью трифилярного подвеса .....	46
5-4. Исследование вращательного движения твердых тел с помощью маятника Обербека .....	48
6. Определение скорости полета «пули» с помощью баллистического маятника .....	52
7. Исследование закона сохранения импульса при центральном ударе шаров.....	55
8. Определение коэффициента внутреннего трения и средней длины свободного пробега молекул воздуха.....	59
9. Определение модуля Юнга методом прогиба.....	61
10. Определение модуля сдвига из крутильных колебаний.....	65
11. Определение коэффициента вязкости жидкости по методу Стокса.....	70
12. Определение отношения удельных теплоемкостей газов методом Клемана-Дезорма.....	73
13. Определение скорости звука в воздухе и отношение удельных теплоемкостей $c_p/c_v$ для воздуха методом стоячих звуковых волн.....	79
14. Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости методом компенсации дополнительного давления .....	84

Измерения подразделяются на **прямые и косвенные**.

**Прямым** называется измерение, при котором искомое значение величины находится непосредственно из опыта путем отсчета по шкале измерительного прибора. Так, например, измерение длины некоторого тела мы производим путем последовательного прикладывания к нему другого тела, длина которого принята за единицу длины.

Это так называемое непосредственное или прямое измерение. Прямым измерением мы пользуемся довольно редко: таково измерение массы тела с помощью весов, определение температуры тела термометром и т. д.

На практике чаще всего мы сталкиваемся с **косвенным** измерением. Измеряется не сама требуемая величина, а ряд других величин, связанных с искомой определенными соотношениями. Искомая величина находится по формуле, в которую входят физические величины, найденные при прямых измерениях. Например: определение плотности тела по его геометрическим размерам и массе, определение силы тока по напряжению и сопротивлению и т. д.

Физика является не только *опытной*, но и *точной* наукой, поэтому для подтверждения той или иной теории необходимо весьма тщательное измерение физических величин.

Между тем, абсолютно точно измерить какую – либо величину нельзя, что является следствием неточности измерительных инструментов и приборов, трудности учета некоторых факторов, влияющих на измерения и т. д.

Каждое измерение, как бы тщательно оно не было проведено, отличается от истинного значения измеряемой величины, т. е. имеет погрешность.

***Точность измерения определяется той наименьшей частью единицы меры, до которой с уверенностью в правильности результата можно провести измерение.***

Степень точности зависит и от методики измерений и от точности приборов. Прежде чем приступать к измерениям, необходимо определить пределы точности, которые могут быть получены с данными приборами. Так, например, при определении плотности твердого тела необходимо определить массу тела и его геометрические размеры с помощью штангенциркуля. Если последнее измерение может быть проведено с точностью  $\approx 1\%$ , то нет никакого смысла взвешивать тело с точностью до сотых и тысячных долей %.

***Т.е., если приходится измерять различные величины и пределы возможной точности у них оказываются различными, то нет оснований при отдельных измерениях выходить за пределы точности наименее точно измеряемой величины.***

По характеру влияния на результаты измерений погрешности делятся на 3 типа: систематические, случайные, промахи.

**Систематическими** называются погрешности, величина которых не меняется при повторении измерений данной величины в тех же условиях (тем же методом, теми же приборами и т. д.).

Систематические погрешности возникают в тех случаях, когда не учитывается влияние на результаты эксперимента различных постоянно действующих факторов: температуры, давления, влажности воздуха, выталкивающей силы Архимеда, сопротивления подводных проводов, контактных ЭДС и т. п. Источниками систематических погрешностей могут быть также измерительные приборы вследствие неточности их градуировки или неисправности.

Исключение систематических погрешностей требует принятия специальных мер предосторожности. К ним относятся:

1. Своевременный ремонт и систематическая проверка приборов.
2. Использование специальных способов измерения (например, двойное взвешивание для исключения неравноплечности весов, использование охранных колец при измерении объемного сопротивления плохих проводников, позволяющее исключить влияние их поверхности)
3. Внесение соответствующих поправок на влияние внешних факторов.

**Промахи** – это очень грубая погрешность, вызванная невнимательностью экспериментатора (неверный отсчет показаний прибора, описка при записи показаний и т. д.). Промахи могут сильно исказить результаты измерений, особенно в тех случаях, когда их число невелико.

Вывод: при выполнении работы нужно быть очень внимательным, не спешить, не отвлекаться.

**Случайными** называются погрешности, величина и знак которых меняется непредсказуемым образом при повторных измерениях данной величины в тех же условиях. Случайные погрешности могут быть вызваны неточностью отсчетов, которую произвольно вносит в измерение экспериментатор, и которые являются следствием несовершенства наших органов чувств и некоторых других обстоятельств,

которые не могут быть заранее учтены (изменения давления воздуха, температуры, толчки здания, влияющие на показания точного зеркального гальванометра и т. д.).

Многократное повторение отсчетов измерения снижает уровень случайных ошибок.

**Среднее арифметическое из большого числа измерений, конечно, ближе всего к истинному значению измеряемой величины.** Вот почему в лабораторной практике всегда проводят неоднократное измерение какой-либо величины.

Случайные погрешности подчиняются законам теории вероятности. В дальнейшем мы будем говорить только о случайных погрешностях, опуская слово «случайные».

В основе теории погрешностей лежат три аксиомы:

1. Случайные погрешности, равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку, равновероятны. Это означает, что мы можем с одинаковой вероятностью ошибаться как в одну, так и в другую сторону (как в меньшую, так и в большую).
2. Среднее арифметическое из случайных погрешностей измерений одной и той же величины при увеличении числа измерений стремится к нулю.
3. Чем больше по абсолютной величине погрешность измерения, тем меньше ее вероятность, т.е. тем реже она встречается.

Теперь выясним, как вычисляются погрешности при прямых измерениях, а затем при косвенных.

### ***Вычисление погрешностей прямых измерений***

Представим, что мы на опыте измерили какую-либо величину и получили всего «m» результатов отдельных измерений:  $N_1, N_2, N_3 \dots N_n$  – всего «n» измерений.

По сказанному выше – среднее арифметическое будет наиболее близким к истинному значению измеряемой величины:

$$N = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n}{n}$$

Будем называть величину  $N$  средним арифметическим или, с некоторым приближением, истинным значением искомой величины.

Найдем разницу между отдельным каждым измерением и истинным значением измеряемой величины, т.е.

$$N - N_1 = \pm \Delta N_1$$

$$N - N_2 = \pm \Delta N_2$$

.....

$$N - N_n = \pm \Delta N_n.$$

Берем знаки  $\pm$ , т.к.  $N_i$  могут быть как больше, так и меньше  $N$ .

***Разность между истинным значением измеряемой величины и отдельным измерением дает нам абсолютную погрешность отдельного измерения.***

***Среднее арифметическое из численных значений отдельных ошибок называется средней абсолютной ошибкой измерений: (абсолютные ошибки берутся по абсолютной величине)***

$$\Delta N = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \dots + \Delta N_n}{n}.$$