МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИРОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Курганский государственный университет»

Кафедра теоретической и экспериментальной физики,
компьютерных методов физики

Введение в специальность
Методические указания к выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 011200.62 «Физика»

Курган 2013

Кафедра: «Теоретическая и экспериментальная физика, компьютерные методы физики»

Дисциплина: «Введение в специальность» (направление 011200.62)

Составил: доцент Л.В. Тыщенко

Утверждены на заседании кафедры «30» мая 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета «5» июня 2013 г.

Лабораторная работа №1

Приближенные вычисления

Цель работы: научится проводить вычисления с приближенными числами.

Приближенным числом a называется число, незначительно отличающееся от точного *A* и заменяющее последнее в вычислениях.

Абсолютной погрешностью Δ приближенного числа *a* называется абсолютная величина разности между соответствующим точным числом *A* и числом *a*, т.е. $\Delta = |A - a|$.

Относительной погрешностью δ приближенного числа *a* называется отношение абсолютной погрешности Δ этого числа к модулю соответствующего точного числа $A(\neq 0)$, т. е.

$$\delta = \frac{\Delta}{|A|},$$

При записи приближенного числа все сохраняемые десятичные знаки называются значащими цифрами**. Значащей цифрой** приближенного числа называется всякая цифра в его десятичном изображении, отличная от нуля, и нуль, если он содержится между значащими цифрами или является представителем сохраненного десятичного разряда.

Точность приближенного числа зависит не от количества значащих цифр, а от количества верных значащих цифр.

Значащая цифра приближенного числа является верной, если абсолютная погрешность этого числа не превышает половины единицы разряда, выражаемого n-ой значащей цифрой, считая слева направо.

Правила округления

Чтобы округлить число до значащих цифр, отбрасывают все его цифры, стоящие справа от n-й значащей цифры, или, если это нужно для сохранения разрядов, заменяют их нулями. При этом:

1) если первая из отброшенных цифр меньше 5, то оставшиеся десятичные знаки сохраняются без изменения;
2) если первая из отброшенных цифр больше 5, то к последней оставшейся цифре прибавляется единица;
3) если первая из отброшенных цифр равна 5 и среди остальных отброшенных цифр имеются ненулевые, то последняя оставшаяся цифра увеличивается на единицу;
4) если же первая из отброшенных цифр равна 5 и все остальные отброшенные цифры являются нулями, то последняя оставшаяся цифра сохраняется неизменной, если она четная и увеличивается на единицу, если она нечетная (правило четной цифры).

Правила вычислений без точного учета погрешностей

При массовых вычислениях, когда не учитывают погрешность каждого отдельного результата, рекомендуется пользоваться следующими правилами:

1 При сложении и вычитании приближенных чисел младший сохраненный десятичный разряд результата должен являться наибольшим среди десятичных разрядов, выражаемых последними верными значащими цифрами исходных данных. (Правило действует и тогда, когда одно из чисел точное).
2 При умножении и делении приближенных чисел в результате следует сохранять столько значащих цифр,сколько их имеет приближенное данное с наименьшим числом верных значащих цифр. Если одно из чисел точное, то число значащих цифр в результате должно быть таким же, как и в приближенном числе.
3 При возведении в степень приближенного числа в результате нужно сохранять столько значащих цифр, сколько верных значащих цифр имеет основание степени.
4 При извлечении корня любой степени из приближенного числа в результате следует брать столько значащих цифр, сколько верных цифр имеет подкоренное число.
5 Во всех промежуточных результатах следует сохранять на одну цифру больше, чем рекомендуют предыдущие правила, причем при определении количества значащих цифр в промежуточных результатах запасные цифры в числах не принимаются во внимание. В окончательном результате «запасная цифра» отбрасывается.
6 Если данные можно брать с произвольной точностью, то для получения результата с k верными цифрами исходные данные следует брать с таким числом цифр, которые, согласно предыдущим правилам, обеспечивают k + 1 верную цифру в результате.
7 Если некоторые данные имеют излишние младшие десятичные разряды (при сложении и вычитании) или больше значащих цифр, чем другие (при умножении и делении, возведении в степень, извлечении корня), то их предварительно нужно округлить, сохраняя одну запасную цифру.
8 Нахождение числа из таблиц считается за отдельное действие, и если оно промежуточное, то берется запасная цифра.

ПРИМЕР

Провести вычисления в соответствии с правилами действий над приближенными числами:

$$\sqrt{(2,734-0,196+1,87\cdot 10^{-3})\cdot \pi^2} \;+(10,734\cdot 10^{-1}:2)\cdot\sqrt{\pi},$$

где 2 - число точное.

$$1)2,734-0,196+0,00187 \approx 2,5399$$

$$2)\pi^2 \approx 9,8696$$

$3) 2,5399 \cdot 9,8696 \approx 25,068$

$4) 25,068 \approx 5,0068$

$5) 1,0734 : 2 \approx 0,536700$

$6) \pi \approx 1,77245$

$7) 0,536700 \cdot 1,77245 \approx 0,9551274$

$8) 5,0068 + 0,951274 \approx 5,9581$

Ответ: 5,958

Варианты индивидуальных заданий

Провести вычисления в соответствии с правилами действий над приближенными числами:

1 вариант

1) $2,53 \cdot 10^2 \cdot (34,549 + 2,54 - 22,5) : 6,453 \cdot 10^1$

2) $\left[\left\{ 3,47,54 : (2,38 \cdot 10^{-2}) + 42,584 \right\} 1,534 \cdot 10^{-2} \right] \cdot 2,38$

3) $3\pi \cdot \left(278,3(3) - 2,52 \cdot 10^2 \right) : 12,4$

где 3 число точное.

4) $\left[\left\{ 2,5 \cdot \left(1,402 + 0,8 \cdot 10^{-4} \right) - 0,642 \right\}^2 : 2,5674 \right]$

2 вариант

1) $\left(32,186 - 25,749 + 7,21 \right) : \left(0,2345 \cdot 10^2 \right) \cdot 1,742 \cdot 10^{-2} + 0,321 \cdot \pi$

2) $\sqrt{5 \cdot \left(321,42 - 22,5 \cdot 10^{-1} \right) : 0,244}$

где 5 - число точное

3) $\left(5,8445 : \left(3,54 \cdot 10^{-2} \right) - 64,721 + 3,721 \cdot 10^{-1} \right) \cdot 8,21 \cdot 10^{-2}$

4) $2,5 \cdot \left(42,585 + 23,9 - 11,11 \right) : 2,351 \cdot 10^{-2} \cdot \pi^2$

3 вариант

1) $\left(42,539 : 12,3 + 5,4546 - 1,22 \right) \cdot 9 + 1,232 \cdot 10^2$

где 9 – число точное.

2) $\left\{ \left(5428,0 + 34,24 \right) : 18,349 - 1,242 \cdot 10^2 \right\} \cdot 2,442$

3) $\left\{ \left(23,529 \cdot 10^3 + 1,5496 \cdot 10^4 \right) : \left(1,232 \cdot 10^3 \right) - 1,41 \cdot 10^{-1} \right\} \cdot 2,52 \cdot \pi$

4) $\left(0,51 \cdot 10^2 + 342 \cdot 10^{-1} - 1,41 \right) \cdot 2,2 + 4,5456$

4 вариант

1) $\left\{\left(0,5423\cdot 10^{3}-23,457\cdot 10^{-2}\right):\left(4,21\cdot 10^{-2}\right)\right\}\cdot 7-6,42\cdot 10^{4}$

где 7 – число точное.

2) $\left\{\left(15,432-0,23\right)\cdot 0,231\cdot 10^{2}-3,321\cdot 10^{2}\right\}:\left(1,2\cdot 10^{-3}\right)\cdot\sqrt{\pi}$

3) $\sqrt{\left(3,5837\cdot 10^{2}-253,27+12,2\right):\left(1,1434\cdot 10^{-1}\right)}$

4) $\left\{\left(12,12(12)-3,34\right)\cdot 2,03\cdot 10^{-2}+1,443\cdot\pi\right\}:\left(1,3(3)\cdot 10^{-2}\right)$

5 вариант

1) $\left(14,854+1,23\cdot 10^{-2}-22,43\cdot 10^{-3}\right)\cdot 4,83\cdot 10^{-2}+1,15\pi$

2) $\sqrt{\left(5,642\cdot 10^{3}-42,3\cdot 10^{-2}\right):\left(11,3\cdot 10\right)-2,3547\cdot 10^{-2}}$

3) $0,232\cdot\left(1,5203\cdot 10^{2}:16,34-8,342\right)\cdot 3+\left(123,4\cdot 10^{-2}+0,343\right)$

где 3 – число точное.

4) $\left(0,754\cdot 10^{3}-7,54\cdot 10^{-2}+2,38\right):6,54+99,9$

6 вариант

1) $\sqrt{\left(21,354\cdot 2,2\cdot 10^{-3}+0,14354\right):\left(1,15\cdot 10^{-3}\right)+3,524\cdot 10^{2}\cdot 3}$

где 3 – число точное.

2) $2,154\cdot 10^{-3}\cdot 8,01:\left(1,12\cdot 10^{-2}\right)+11,11-148564:\left(2,2\cdot 10^{4}\right)\cdot\sqrt{\pi}$

3) $\left(74,454-9,56\cdot 10^{-3}+0,143\cdot 10^{2}\right):32,3+11,44\cdot 10^{-2}$

4) $\left\{110:3\cdot 1,12\cdot 10^{-2}+348:\left(3,13\cdot 10^{2}\pi\right)\right\}\cdot 5,4485\cdot 10^{-3}$

где 3 – число точное.

7 вариант

1) $\sqrt{\left(11,1(1)+8,24-0,454\right)\cdot 20,2:\left(3\pi\right)+12}$

где 3 - число точное

2) $\left(15,5+1,88\cdot 10^{3},:\pi^{3}\right):3,33(3)+2,34\cdot 10^{-3}$

3) $\left(6,66\cdot 1/7\cdot 2,12\cdot 10^{-3}+0,0543\right)\cdot 2,34\cdot 10^{-3}$

где 7-число точное

4) $\left(74,454-9,56\cdot 10^{-3}+0,143\cdot 10^{2}\right):32,3+11,44\cdot 10^{-2}$

8 вариант

1) $\left(777,7:11,11\cdot\pi^2-2,454\right)\sqrt{2,1135\cdot10^{-3}:3,842}$

2) $\left(1,88\cdot10^2:0,054321+0,513\right)-12\cdot10^{-3}$

3) $\left(\sqrt{432:3}\cdot3,845\cdot10^{-2}+1,2435\right)\cdot2,854$

где 3 – число точное

4) $\sqrt{\left(0,06481\cdot10^2-24,3\cdot10^{-2}\right)+11,33}$

9 вариант

1) $\left\{\left(15,51-9,8\cdot10^{-2}\right):1,843+0,0131\cdot10^2\right\}\cdot2,434\cdot10^{-3}$

2) $\left[\left\{248,2-\left(13,3\right)^2\right\}:2,882-0,2312\cdot10^2\right]\pi$

3) $\left\{\left(11,73\cdot10^{-4}+0,21\cdot10^{-2}\right):4,675-1,357\cdot10^{-4}\right\}:2,85$

4) $\left[43,17,:\left(4\cdot\pi^2\right)+1,28\right]^2\cdot0,3546\cdot10^{-2}$

где 4 – число точное.

10 вариант

1) $\sqrt{32,0:3,01+0,0253\cdot10^2:2,6(6)}+1,87654$

2) $\left(16,354\cdot10^{-2}+0,243\cdot10^{-1}\right):\left(9\cdot\pi^2\right)+1,234\cdot10^{-6}$

где 9 – число точное.

3) $\left(33,33:11,00\cdot2,431+2,3\cdot10^{-3}\right)\cdot2\pi$

где 2 – число точное.

4) $\sqrt{\left(711+2,34\cdot10^2\right):54,541+23,23\cdot10^{-2}}$

11 вариант

1) $\left(831,25\cdot10^{-2}+2,454\right):\pi^2\cdot1,53-0,0113\cdot10^2$

2) $\sqrt{\left(15,561+23,13\cdot10^{-1}\right)}\cdot1,43\cdot10^{-3}:\left(2,571\cdot10^{-2}+3\cdot10^{-3}\right)$

3) $31,815:3\cdot\left(2,143\cdot\pi\right)^2=2,03\cdot10^2$

где 3 - число точное.

4) $\sqrt{0,01538\cdot\left(2,1\cdot10^2-17\right)}\cdot6,541$

Лабораторная работа №2
Погрешности при прямых измерениях

Цель работы: освоить методику расчета погрешности прямых измерений.

Измерением называется операция сопоставления исследуемой физической величины с другой аналогичной величиной, принятой за эталон.

Прямым измерением называются такие измерения, в ходе которых исследуемая величина непосредственно сравнивается с эталоном при помощи измерительного прибора или инструмента. Значение измеряемой величины определяется исходя из отсчета по шкале прибора или инструмента.

Всякий результат измерения содержит определенную ошибку, т.е. найденное в процессе измерения значение величины отличается от ее истинного (действительного значения). На практике в случае многократных измерений в качестве истинного значения исследуемой величины принимается среднее арифметическое значение.

$$x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i \ , \tag{2.1}$$

где ***n*** - число измерений,

x_i - результаты измерений.

Погрешности измерений делятся на систематические, случайные и промахи.

1 Систематическими называются погрешности, которые сохраняются при повторных измерениях одной и той же величины или определяются по определенному закону. Чтобы убедиться в отсутствии систематических погрешностей, можно воспользоваться эталонными приборами или предварительно измерить известную физическую величину $\Delta ins = \frac{\gamma \cdot x_{\max}}{100}$

Погрешности, вносимые измерительными приборами (инструментальная ошибка Δ_{ins}), могут быть определены двумя способами:

а) $\Delta_{ins} = \frac{1}{2}$ цены деления прибора; (2.2)

б) по классу точности прибора

$$\Delta ins = \frac{\gamma \cdot x_{\max}}{100} \ , \tag{2.3}$$

где γ - класс точности прибора (указывается на шкале или в паспорте прибора). **Класс точности** есть отношение предельно допустимого значения абсолютной погрешности, к максимальному значению измеряемой величины $\boldsymbol{x_{max}}$, выраженное в процентах.

2 *Случайными* называются погрешности, величина которых беспорядочно меняется при повторных измерениях одной и той же физической величины при одинаковых условиях.

За величину случайной погрешности принимают величину доверительного интервала, который определяет область вблизи среднего значения измеряемой величины, и в котором содержится истинное значение этой величины с вероятностью ***a***. В случае небольшого количества измерений ***(n*** < 30) доверительный интервал

$$\Delta_d = S_n \cdot t(a,n) , \qquad (2.4)$$

где S_n - среднеквадратичное отклонение среднего арифметического, определяемое выражением:

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x)^2}{(n-1)n}} , \qquad (2.5)$$

t(a, n) - коэффициент Стьюдента.

Коэффициент Стьюдента ***t(a, n)*** зависит от числа измерений ***n*** и выбранной доверительной вероятности ***a***. Значения коэффициентов Стьюдента приведены в таблице 2.1.

3 *Промахи* (грубые ошибки) появляются при нарушениях условий эксперимента в отдельных измерениях, при неисправности приборов, в результате ошибочной записи результата и т.д. Они, как правило, не укладываются в общую закономерность измеренных величин, и их из совокупности измерений следует исключить, т.е. не учитывать при обработке результатов эксперимента.

4 *Полная погрешность* прямого измерения определяется по формуле:

$$\Delta_m = \sqrt{\Delta_{ins}{}^2 + \Delta^2{}_d} \qquad (2.6)$$

Точность измерений можно также охарактеризовать относительной ошибкой. Относительная ошибка измерения равна отношению абсолютной ошибки данного результата к среднему арифметическому значению

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \qquad (2.7)$$

Часто относительную ошибку выражают в процентах

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\ \%. \qquad (2.8)$$

Порядок расчета ошибки прямых измерений

1 Рассчитать инструментальную ошибку Δ_{ins} по формулам (3.2) или (3.3). (Следует учитывать, что найденные таким образом инструментальные погрешности соответствуют доверительной

вероятности a = 0,997. Чтобы определить инструментальные погрешности для других значений доверительной вероятности, следует составлять соответствующие пропорции.)

2 Рассчитать случайную ошибку Δ_d :

а) рассчитать среднее арифметическое x по формуле (2.1);

б) найти среднеквадратичное отклонение S_n по формуле (2.5);

в) задать доверительную вероятность ***a*** в пределах от 0,7 до 0,95;

г) по таблице найти коэффициент Стьюдента для заданной *a* и известного числа измерений;

д) рассчитать доверительный материал по формуле (2,4).

3 Рассчитать общую ошибку прямых измерений по формуле (2,6) (при этом Δ_{ins} и Δ_d должны быть найдены с одной и той же доверительной вероятностью).

4 Записать результат в виде:

$$x = x \pm \Delta_m.$$

Примечание:

1) величина ошибки Δ_m округляется всегда с избытком до двух значащих цифр, если первая цифра меньше трех, и до одной значащей цифры, если первая цифра три и больше.

2) среднее значение округляется до сомнительной цифры (с учетом ошибки). (Цифра называется верной, если половина единицы ее разряда превышает погрешность измерения. Первая неверная цифра называется *сомнительной.)*

Варианты индивидуальных заданий

Рассчитать случайную ошибку по методу Стьюдента. Результат записать в системе СИ.

Вариант 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d, мм	2,01	2,00	2,03	2,00	2,02	1,99	2,01	1,98	2,03	1,99

Вариант 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H, м	12,3	12,4	12,6	12,0	12,5	12,1	12,4	12,3	12,2	12,5

Вариант 3

№-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m, г	21,18	21,09	21,24	21,17	21,03	21,23	21,00	20,98	21,36	21,15

Вариант 4

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m, кг	0,184	0,190	0,181	0,195	0,187	0,185	0,191	0,196	0,188	0,193

Вариант 5

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T, c	4,86	4,79	4,90	4,81	4,87	4,82	4,81	4,85	4,90	4,87

Вариант 6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l, м	6,03	5,95	6,08	5,99	6,01	6,09	5,97	6,05	6,11	5,93

Вариант 7

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C, **мкФ**	0,512	0,506	0,508	0,504	0,507	0,509	0,505	0,506	0,510	0,505

Вариант 8

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
***I*, мА**	100,8	99,5	101,0	98,7	100,9	101,5	99,3	100,3	99,1	100,6

Вариант 9

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U, **В**	**10**,25	10,36	10,28	10,15	10,31	10,20	10,17	10,35	10,18	10,24

Вариант 10

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R,Ом	1520	1525	1519	1524	1528	1515	1521	1524	1520	1526

Вариант 11

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L,мГн	2,08	2,04	2,10	2,02	2,10	2,01	2,06	2,09	2,07	2,05

Таблица 2.1 – Коэффициенты Стьюдента $t_{a,n}$

n a	0,7	0,8	0,9	0,95
2	2,0	3,1	6,3	12,7
3	1,3	1,9	2,9	4,3
4	1,3	1,6	2,4	3,2
5	1,2	1,5	2,1	2,8
6	1,2	1,5	2,0	2,6
7	1,1	1,4	1,9	2,4
8	1,1	1,4	1,9	2,4
9	1,1	1,4	1,9	2,3
10	1,1	1,4	1,8	2,3
11	1,1	1,4	1,8	2,2
12	1,1	1,4	1,8	2,2

Лабораторная работа №3

Погрешности при косвенных измерениях

Цель работы: освоить методику расчета погрешностей при косвенных измерениях.

Косвенным измерением называется такой вид измерений, при котором исследуемая величина рассчитывается по результатам прямых измерений других величин с помощью известной функциональной зависимости между ними.

Пусть в общем случае искомая величина U является функцией параметров $x, y, \ldots v$. определяемых с помощью **прямых** измерений

$$U = U\left(x, y, \ldots v\right). \tag{3.1}$$

Тогда среднее значение функции U может быть вычислено путем подстановки в соотношение (3.1) средних значений аргументов. Определив с помощью прямых измерений $x, y \ldots v$ и подставив их средние значения в соотношении(3.1),получим

$$\overline{U} = U\left(\overline{x}, \overline{y}, \ldots \overline{v}\right). \tag{3.2}$$

После вычисления среднего значения функции определяют по приведенным в лабораторной работе №3 правилам значения общих ошибок аргументов $\Delta_{mx}, \Delta_{mY}, \Delta_{mz} \ldots \Delta_{mv}$. При этом величины случайных ошибок (доверительные интервалы) должны быть рассчитаны при одной и той же выбранной доверительной вероятности a, а затем высчитывают ошибку ΔU для функции U, используя соотношение

$$\Delta_m U = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 \left(\Delta_m x\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial ó}\right)^2 \left(\Delta_m ó\right)^2 + \ldots + \left(\frac{\partial U}{\partial U}\right)^2 \Delta_m v} \tag{3.3}$$

В формуле (3.3) $\partial U / \partial x ... \partial U / \partial v -$ так называемые частные производные функции U по соответствующим аргументам x…v в предположении, что остальные аргументы являются постоянными величинами.

ПРИМЕР

Вычисляемая величина f является комбинацией физических величин X, Y, Z

$$f = k\frac{\left(X-Y\right)}{Z^n}.$$

Зачем вычисляют частные производные

$$\frac{\partial f}{\partial X} = \frac{k}{Z^n}, \quad \frac{\partial f}{\partial Y} = \frac{-k}{Z^n}, \quad \frac{\partial f}{\partial Z} = -kn\frac{X-Y}{Z^{n+1}}.$$

Пользуясь формулой (3.3), записывают погрешность косвенного измерения

$$\Delta_{mf} = \sqrt{\left(\frac{k}{Z^n}\Delta_m X\right)^2 + \left(\frac{-k}{Z^n}\Delta_m Y\right)^2 + \left(-kn\frac{X-Y}{Z^{n+1}}\Delta_m Z\right)^2}.$$

Умножив это выражение на 1/f и преобразовав правую часть, получаем относительную погрешность.

$$\frac{\Delta_m f}{f} = \sqrt{\frac{\left(\Delta_m X\right)^2 + \left(\Delta_m Y\right)^2}{\left(X-Y\right)^2} + n^2\left(\frac{\Delta_m Z}{Z}\right)^2}.$$

Из приведенного примера следует, что относительную погрешность можно записать для любой функции, не прибегая к вычислению частных производных. В конечном выражении, как легко видеть, исчезают постоянные коэффициенты. Показатель степени возводится в квадрат и умножается на относительную погрешность той величины, показателем которой он является. Погрешности величин, с какими бы знаками они не входили в исходное выражение, складываются. Перечисленные особенности можно использовать в качестве практических правил при нахождении погрешности.

Упрощенные правила вывода формулы
Погрешности косвенного измерения

1 Рабочая формула дифференцируется.
2 Знаки дифференциалов d заменяют на знаки Δ, а все знаки минус на знак плюс.
3 Каждое слагаемое возводится в квадрат.
4 Вычисляются абсолютная и относительные погрешности.

Задания

Вывести формулы расчета погрешностей косвенных измерений.

$$E = \frac{mv^2}{2};$$

$$a = \frac{2s}{t^2};$$

$$T = 2\pi \frac{l}{g};$$

$$F = \mu\mu_0 \frac{I_1 I_2}{2\pi R}$$

$$v = \sqrt{2g\left(h_1 - h_2\right);}$$

$$u = v\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2};$$

$$A = PV\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right);$$

$$u = \frac{\left(m_1 - m_2\right)v_1 + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2};$$

$$\varepsilon_0 = \frac{r}{4\pi\left(l + r\right)\varphi};$$

$$g = \frac{4\pi^2\left(L - r\right)}{T^2}.$$

Варианты индивидуальных заданий

Вывести формулу расчета погрешности при косвенных измерениях. Рассчитать искомую величину и ее погрешность.

Вариант 1

$$D = \frac{4m}{\pi d^2 L}$$

						a_{max}	γ	Ц.д.
m,г	74	73	71	75	72	500г	1,5	
D,мм	5,5	5,4	5,5	5,6	5,7			1 мм
L,см	37,0	37,5	38,0	38,5	38,8			1 см

Вариант 2

$$Q = \frac{U^2 t}{R}$$

						a_{max}	γ	ц.д
U,В	60	59	58	61	63	100 В	0,5	
R, Ом	99	100	101	103	97	500Ом	1,0	
t, с	36	39	35	38	34			1 с

Вариант 3

$$I = \frac{mglT^2}{4\pi^2}$$

						a_{max}	γ	ц.д
m,г	50	52	51	49	54	100 г	0,5	
T, с	2,00	2,20	2,30	2,15	2,40			0,1 см
I,м	1,03	1,01	1,03	1,05	1,07			1 см.

Вариант 4

$$f = \frac{\pi^2 m d^2}{2T^2}$$

						a_{max}	γ	ц.д.
T, c	10,0	9,5	9,8	10,2	10,1	30 с	0,5	
m, кг	1,430	1,445	1,458	1,440	1,500			1 г
d, см	15,0	14,8	15,3	15,6	15,1			1 мм

Вариант 5

$$L = \frac{r^2 T^2 G}{8\pi J}$$

$$G = 8,5 \cdot 10^8 \, Н / м^2$$

						a_{max}	γ	ц.д.
T,c	10,0	9,8	9,9	10,1	10,3	30 с	1,5	
J,г $см^2$	200	209	203	207	31			4 г $см^2$
r,см	0,020	0,018	0,017	0,025	0,022			0,001см

Вариант 6

$$\sigma = \frac{hpgr}{2}$$

$$g = 9,8\grave{i}\ /\ \tilde{n}^2$$

						a $_{max}$	γ	ц.д
P,г/$см^3$	1,000	0,987	0,990	1,010	1,030	10г/$см^3$	0,5	
h,мм	30	28	27	32	31			1мм
r,см	0,10	0,08	0,09	0,12	0,14			0,01см

Вариант 7

$$m = \frac{\mu^2{}_0 R^2 e H^2}{2U}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \, Кл; \qquad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \, Гн / м.$$

						A_{max}	γ	ц,д
R,	5,37	5,32	5,40	5,42	5,38			0,01см
U,B	400	401	399	404	402	500В	1.5	
H,A/м	1000	1004	1008	1002	1005	2000А/м	1,0	

Вариант 8

$$\mathbf{Q} = \frac{(L/C)^{1/2}}{R}$$

						a_{max}	γ	ц,д
R,Ом	**70**	68	69	72	**75**	100Ом	0,5	
С,мкФ	4,00	3,95	3,85	3,90	4,00			0,01мкФ
L,мГн	0,40	0,45	0,48	0,41	0,50	1 мГн	0,2	

Вариант 9

$$g = \frac{8\pi^2 n^2 H}{\varphi^2}$$

						a_{max}	γ	ц,д
H,	49	50	51	48	52			1 см
n,Об/с	0,31	0,37	0,29	0,32	0,34	1 об/с	1,5	
Ф,^{0}	230	225	235	240	220			5,0^0

Вариант 10

$$v = 2v\left(n_2 - n_1\right)$$

						a_{max}	γ	ц.д
v,кГц	1,700	1,698	1,690	1,75	1,702	5 кГц	0,1	
n_1,см	22,0	21,0	23,0	22,5	21,5			0,5 см
n_2,см	32,0	31,0	33,0	32,6	31,8			0,5 см

Вариант 11

$$J = \frac{1}{3}m_1 l_1^2 + m_2 l^2{}_2$$

						a_{max}	γ	ц.д.
m,кг	0,342	0,34	0,345	0,341	0,342	0,5 кг	1,0	
m,кг	0,678	0,670	0,672	0,680	0,660	1 кг	1,0	
$l_{1,}$м	1,00	1,01	1,03	0,99	0,98			1,0см
$l_{2,}$м	0,60	0,61	0,59	0,58	0,62			1,0 см

Лабораторная работа №4
Измерение линейных размеров тел

Цель работы: провести измерения линейных размеров с помощью штангенциркуля и микрометра.

Для увеличения точности измерения линейных и угловых размеров масштабные линейки снабжаются нониусами, т.е. дополнениями к обычному масштабу, позволяющими повысить точность измерений в 10 - 100 раз.

Примерами приборов, снабженных нониусами являются штангенциркуль и микрометр.

Штангенциркуль состоит из разделенного на миллиметры масштаба, вдоль которого перемещается подвижная ножка с зажимным винтом, служащим для ее закрепления (рисунок 5.1). На этой подвижной части напротив основного масштаба нанесен нониус. Цена деления нониуса обычно указывается на самом нониусе. Цена деления нониуса также может быть вычислена по формуле:

$$b = \frac{a}{n}, \qquad (4.1)$$

где α – цена деления масштабной линейки,

n – число делений носиуса.

Когда ножки штангенциркуля сдвинуты, нуль нониуса должен совпадать с нулем основного масштаба. Измеряемый предмет зажимается между рабочими частями подвижной и неподвижной ножек штангенциркуля.

Для измерения внутренних размеров используются наружные поверхности ножек. При этом к отсчету по нониусу необходимо прибавить суммарную толщину ножек, которая указана на штангенциркуле.

Отсчет производят следующим образом:

по основному масштабу отсчитывают целое число миллиметров до нуля нониуса - ***k;***

находят, какое деление нониуса (m) наиболее точно совпадает с некоторым делением основного масштаба;

3)искомую величину (размер предмета) рассчитывают по формуле:

$$L = k \cdot a + m \cdot b, \qquad (4.2)$$

где α – цена деления масштабной линейки,

n – число делений носиуса.

Микрометр имеет вид скобы 1 с пяткой 2 и трубкой 3 (рисунок 4.2). На стержне винта укреплен барабан 4 с нанесенной на нем шкалой (нониусом). Измеряемый предмет помещают между винтом и противоположным им упором (пяткой). Вращая винт за головку 5, доводят его до соприкосновения с исследуемым предметом. Момент соприкосновения фиксируется слабым треском. Вращение барабана 4 после этого - недопустимо.

Основная шкала микрометра обычно имеет цену деления α = 0,5 мм. При этом половинные деления нанесены над прямой линией основной шкалы.

Один полный оборот барабана смещает винт на 0,5 мм. Шкала барабана разбита на 50 делений. Цена деления барабана *b* = 0,01 мм.

Отсчет производят следующим образом:

1) отсчитывают число видимых делений основной шкалы - ***k;***

2) находят, какое деление барабана совпадает с прямой чертой основной шкалы - ***m;***

3) искомую величину рассчитывают по формуле (4.2).

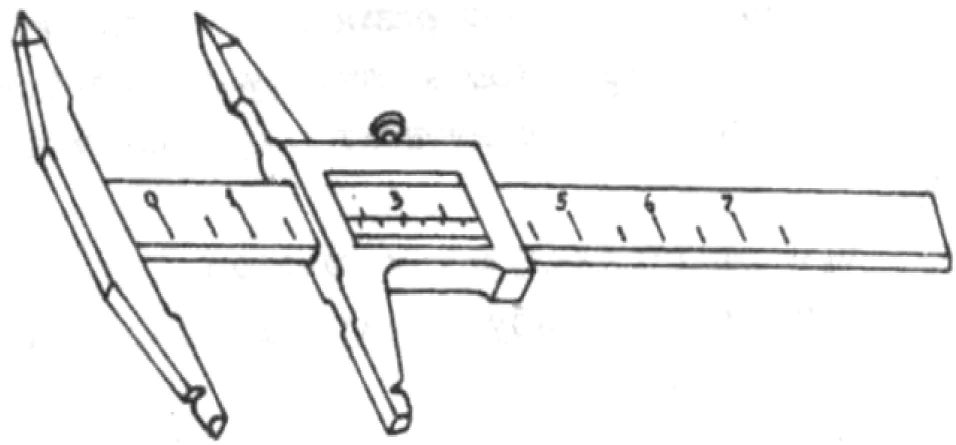

Рисунок. 4.1 – Штангенциркуль

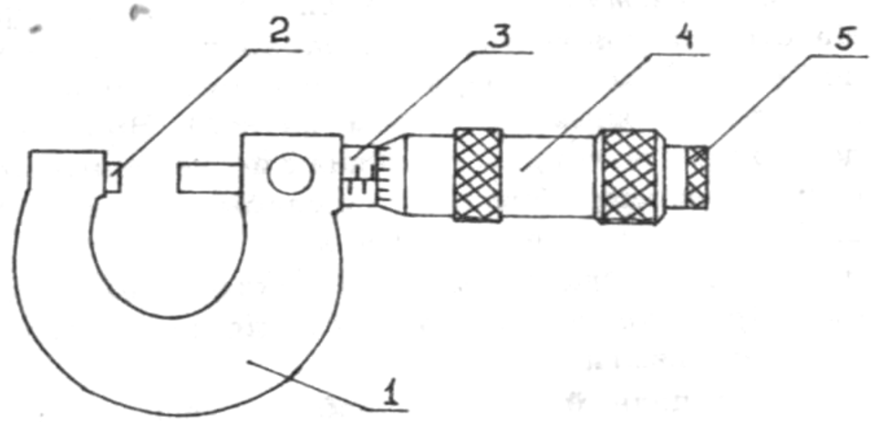

Рисунок 4.2 – Микрометр

Задание 1 Определение линейных размеров бруска

1 С помощью штангенциркуля измерить длину *I,* ширину *d* и высоту *h* бруска. Измерения каждой величины провести не менее 5 раз в различных точках. Данные занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

№	*l*	*d*	*h*

2 Рассчитать инструментальную, случайную, максимальную и относительную ошибки всех измеренных величин

3 Рассчитать объем бруска по формуле:

$$V = l \cdot d \cdot h$$

4 Вывести формулу расчета погрешности объема, рассчитать ошибку измерения V.

Задание 2 Определение объема шайбы.

1 Измерить высоту Н, внутренний диаметр d и внешний D шайбы с помощью штангенциркуля и микрометра. Измерение провести не менее 5 раз в различных точках Данные занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

№	H	d	D

2 Рассчитать инструментальную, случайную, максимальную и относительную ошибки всех измеренных величин.

3 Рассчитать объем шайбы по формуле:

$$V = \frac{\pi\left(D^2 - d^2\right)H}{4},$$

используя среднее значение измеренных величин.

4 Вывести формулу отчета погрешности объема, рассчитать ошибку измерения V.

Лабораторная работа №5

Представление экспериментальных результатов в виде графиков

1 Графический способ представления экспериментальных результатов находит чрезвычайно широкое применение на практике. При построении графиков целесообразно руководствоваться следующими правилами.

2 Графики экспериментальных зависимостей строят на бумаге, снабженной координатной сеткой. Характер используемой сетки (миллиметровый, логарифмический, полулогарифмический) определяется спецификой исследуемой зависимости.

3По оси абсцисс откладывают ту величину, которую в процессе эксперимента меняют сами (независимая переменная), а по оси ординат – зависимую величину. (Это требование не является строго обязательным, так как в конечном счете все определяется удобством решения поставленной задачи).

4 При построении графиков большое значение имеет выбор масштаба по осям координат. Его следует выбирать так, чтобы экспериментальные точки располагались по всей плоскости координатного листа и экспериментальные кривые не были слишком растянуты или сжаты вдоль одной из осей. При этом не обязательно, чтобы начало координат соответствовало нулевым значениям измеряемых величин. Следует помнить, что используя слишком большой координатный лист, при незначительном количестве экспериментальных точек трудно уловить характер экспериментальной зависимости и провести через экспериментальные точки соответствующую кривую. С другой стороны, слишком маленький координатный лист затруднит работу с полученной зависимостью.

5 Выбранный масштаб должен быть удобен для нанесения на координатную плоскость координатных точек. Так, одна клеточка миллиметровой бумаги

может соответствовать 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5; 10 ... единицам измеряемой величины, но не 0,6; 3; 4,7 и т.д. При неудобном масштабе нанесение экспериментальных точек на график и работа с ним требует неоправданно большого времени и нередко сопровождается ошибками.

6 Каждая точка графика соответствует значениям экспериментальных величин, определенных с той или иной степенью точности (погрешности). Погрешность измерения данной точки изображается на графике с помощью крестиков соответствующего размера. Размеры креста равны удвоенным погрешностям в определении величин, отложенных на соответствующих осях. Выбирая масштаб, необходимо стремиться к тому, чтобы погрешность измеряемых величин представлялась на графике отрезками достаточной длины. Это способствует правильному проведению кривой через экспериментальные точки. Кривые должны лежать в пределах их погрешности. Часто нет необходимости указывать погрешность каждой точки, достаточно отметить ее для нескольких точек, равномерно распределенных по всему исследуемому диапазону. Если к моменту построения графика погрешности неизвестны, то экспериментальные данные изображаются просто жирными точками.

7 Оси графика должны иметь ясные, четкие обозначения. Наименования величин либо пишутся вдоль осей графика, либо заменяются условными обозначениями, которые вместе с единицами измерений располагаются на концах координатных осей вне плоскости графика (слева от вертикальной и снизу от горизонтальной осей). Расшифровка обозначений дается либо в тексте, либо в надписи под графиком. Рядом с делениями, нанесенными на координатные оси, располагаются цифры, позволяющие установить значение величин, соответствующих делениям шкал. Цифры можно ставить не около каждого деления, а через определенное их число (например, под каждым вторым, пятым, десятым и т.д.). Это не вызывает неудобств, так как пропущенные значения легко восстановить.

Кроме того, на стандартной миллиметровой бумаге линии, соответствующие интервалам 0,5; 1; 5 см, выделены посредством различной толщины. Для удобства нанесения и считывания экспериментальных точек масштабные метки следует наносить так, чтобы они совпадали с этими линиями.

8 Точки, наносимые на график, нужно изображать четко и ясно. Никаких линий и отметок, поясняющих построение точек, на 1 график наносить нельзя, так как они загромождают рисунок и мешают анализировать результаты.

9 Кривая, описывающая полученную зависимость, должна проходить как можно ближе ко всем экспериментальным точкам, нанесенным на график. В то же время ее следует проводить плавно, избегая резких изломов и перегибов, если только на их выделение нет достаточных оснований. Экспериментальные точки должны располагаться равномерно по обе стороны от кривой. Ни в коем случае нельзя проводить кривую путем простого соединения точек.

10 Задание. По результатам измерений построить графики зависимостей $v = f(T), p = f(h)$.

$$v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}; \qquad p = p_0 e^{-\mu g h/RT}.$$

н, км	Т, К	**р,** кПа	**v,** м/с
0	288	101,0	498
0,5	285	95,6	495
1,0	282	89,9	492
2,0	275	79,9	486
5,0	256	54,0	469
10,0	223	26,5	438

Варианты индивидуальных заданий

Построить график зависимости по экспериментальным результатам

Вариант 1

$$R = R_0 \cdot e^{-W/kT}$$

Т,К	239	303	313	323	333
$R \cdot 10^{-3}$,Î ì	17,6	13,7	10,6	8,5	6,8

Вариант 2

$$x(t) = A \cdot \cos(\pi t + \pi / 3)$$

t,c	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
x,см	-0,5	-3,3	-5,0	-4,4	-2,6

Вариант 3

$$R = R_0 \cdot e^{-w/kT}$$

Т,К	295	308	315	328	343
$R \cdot 10^{-3}$,Î ì	15,2	12,1	10,3	6,4	4,3

Вариант 4

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

1,м	1,0	1,2	1,4	1,8	2,0
Т,с	1,6	2,0	2,4	2,8	2,9

Вариант 5

$$x(t) = A \cdot \cos(\pi t + \pi / 3)$$

t,c	0,1	0,7	1,4	2,3	3,1
x,см	2,8	-14.0	9,4	-5,5	-2,9

Вариант 6

$$A = A_0 \cdot e^{-\beta t}$$

t,c	0	2	4	6	8
A,см	40	30	25	20	10

Вариант 7

$$P = S \cdot \sigma \cdot T^n$$

T,K	100	120	135	150	200
P,Вт	10	12	14	16	18

Вариант 8

$$x(t) = A \cdot \cos(\pi t + \pi / 3)$$

t,c	0,3	0,7	1,3	1,9	2,2
x, см	-3,8	-8,7	3,4	6,7	-1,0

Вариант 9

$$I = I_0 + mr^2$$

r,m	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
I,кг м^2	0,6	0,9	1,1	1,3	1,4

Вариант 10

$$A = A_0 \cdot e^{-\beta t}$$

t,c	0	2	4	6	8
A, см	200	180	160	130	125

Вариант 11

$$P = S \cdot \sigma \cdot T^n$$

T,K	105	115	117	130	140
P, Вт	15	17	20	24	28

Лабораторная работа № 6

Измерение ускорения свободного падения с помощью падающего цилиндра

Оборудование: прибор для определения ускорения свободного падения; источник переменного тока частотой 50 Гц и напряжение 36 В; линейка измерительная 30 см с миллиметровыми делениями; отвес; вазелин с ватным тампоном; кусок ткани.

Содержание работы

При свободном падении тела с начальной скоростью, равной нулю, модули перемещения s и ускорения g, а также время падения t связаны соотношением

$$g = \frac{2s}{t^2} \; . \qquad (6.1)$$

Отсюда можно определить модуль ускорения, если знать модуль перемещения и время падения тела:

$$g = \frac{2s}{t^2} \; . \qquad (6.2)$$

В данной работе падающим телом служит металлический цилиндр. Модуль перемещения цилиндра измеряют с помощью линейки с миллиметровыми делениями. Время падения цилиндра с небольшой высоты мало, и непосредственно измерить его трудно. Поэтому для измерения времени падения цилиндра применяют графический метод. Сущность этого метода состоит в записи на поверхности падающего цилиндра колебаний вибратора, имеющего известную частоту.

Прибор для измерения ускорения свободного падения (рисунок 6.1) состоит из треноги с уравнительным винтом 1, трубчатой стойки 2 с надетым на нее металлическим цилиндром 3, спускового механизма с кнопкой 4 и штанги 5 с вибратором 6.

Цилиндр удерживается на трубчатой стойке в верхнем положении двумя проволочными пружинящими скобками. При нажиме на кнопку проволочные скобы убираются внутрь стойки, и цилиндр свободно падает на резиновую пробку 7, надетую на нижний конец стойки прибора.

На поверхности цилиндра сделаны кольцевые риски, которые делят цилиндр на три участка длиной 3,9 и 15 см, т.е. в отношении 1:3:5. Таким образом, время падения каждого участка будет одинаково.

Вибратор состоит из катушки с сердечком, укрепленной на металлической скобе, стальной пластинки с якорем и «пером» из капроновой лески с шариком на конце. Длина свободной части равна 5-7 мм.

Установка для выполнения работы показана на рисунке 6.1.Если вибратор привести в колебательное движение и предоставить возможность цилиндру свободно падать, то колеблющиеся перо вычертит на поверхности цилиндра волнообразную линию – график колебаний вибратора. Если подсчитать число всех записанных полных колебаний и разделить его на частоту колебаний вибратора, то можно найти время падения цилиндра. Однако подсчитать число колебаний на первом малом участке затруднительно. Но поскольку время падения каждого участка цилиндра одинаково, то и число колебаний на этих участках должно быть одинаковым. Поэтому для определения времени падения цилиндра поступают так: число колебаний *n* на втором и третьем участках вместе и вычисляют время по формуле

$$t = \frac{3n}{2v}, \qquad (6.3)$$

где 3 n – число колебаний во всем цилиндре, а 2 v - частота колебаний вибратора. Она равна 100 Гц.

Порядок выполнения работы

1Ознакомьтесь с устройством прибора.

Предупреждение. Работая с прибором, не подставляйте руки под падающий цилиндр.

2 Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

Перемещение цилиндра S,м	Число колебаний n	Частота колебаний вибратора v, Гц	Время падения цилиндра t, с	Ускорение свободного падения g, м/с^2
		100		

3 Измерьте модуль перемещения цилиндра при свободном падении (расстояние между нижним краем цилиндра и верхней риской) и результаты запищите в таблицу.

4 На поверхность цилиндра ватным тампоном нанесите тонкий слой вазелина.

5 Соберите установку по рисунку 6.1 Проверьте вертикальность установки с помощью отвеса. Отклонение рисунка от вертикали устраните с помощью уравнительного винта. Вибратор расположите так, чтобы его «перо» заходило на 1,5-2 мм под основание

6 Сделайте запись колебаний вибратора на падающем цилиндре. Для этого подключите вибратор к источнику переменного тока частотой 50 Гц и напряжением 36 В и нажмите на спусковую кнопку прибора. Опыт повторите 2-3 раза, поворачивая каждый раз цилиндр так, чтобы записи не накладывались друг на друга.

7 Расположите цилиндр горизонтально, выберите наиболее удачный график и сосчитайте число колебаний на втором и третьем участках.

8 Вычислите время падения цилиндра по формуле (6.3), а затем модуль по формуле (6.4 - 6.5); результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

9 Вычислите абсолютную Δg и относительную ε погрешности измерения модуля ускорения по формулам

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta s}{s} + \frac{2\Delta t}{t} \qquad (6.4)$$

$$\Delta g = \varepsilon g \qquad (6.5)$$

В формуле (6.4) при определении Δs необходимо учесть основную погрешность линейки (0,5 мм на всю длину) и погрешность отчета, которая не может быть меньше толщины кольцевых риск. Абсолютная погрешность измерения Δt не может быть меньше половины колебаний вибратора.

Рассчитав абсолютную погрешность Δg, проверьте, входит ли известное вам значение ускорения свободного падения в интервал: [g – Δg ; g+ Δg].

Контрольные вопросы

1 Какая из измеряемых величин больше всего влияет на измеряемую погрешность?

2 Как изменится точность измерения модуля ускорения, если взять вибратор с другой частотой колебаний?

3 Почему трудно подсчитать число колебаний вибратора записанных на первом участке цилиндра?

4 Почему перо вибратора нужно располагать непосредственно под основанием цилиндра?

5 Почему частота колебаний вибратора в два раза больше частоты колебаний переменного тока?

Рисунок 6.1 – 6.2. Прибор для измерения ускорения свободного падения

Лабораторная работа № 7

Изучение закона сохранения механической энергии

Цель работы: обнаружить экспериментальный факт сохранения механической энергии.

Оборудование: прибор для демонстрации независимости действия сил; весы технические ВТ2=200; гири Г4-210; линейка измерительная 30 см с миллиметровыми делениями; отвес; 6) белая и копировальная бумага; штатив для фронтальных работ.

Содержание работы

В работе надо экспериментально установить, что полная механическая энергия замкнутой системы остается неизменной, если между телами действуют только силы тяготения и упругости.

Установка для опыта показана на рисунке 7.1. При отклонении стержня А от вертикального положения шар на его конце поднимется на некоторую высоту h относительно начального уровня. При этом система взаимодействующих тел «Земля – шар» приобретает дополнительный запас потенциальной энергии

$$\Delta E_p = mgh\,. \tag{7.1}$$

Если стержень освободить, то он возвратится в вертикальное положение, где будет остановлен специальным упором. Считая силу трения очень малой, можно принять, что во время движения стержня на шар действуют только гравитационные силы и силы упругости. На основании закона сохранения механической энергии можно ожидать, что кинетическая энергия шара в момент прохождения исходного положения будет равна изменению его потенциальной энергии: $\dfrac{mv^2}{2} = mgh$.

Вычислив кинетическую энергию шара и изменение его потенциальной энергии и сравнив полученные результаты, можно экспериментально проверить закон сохранения механической энергии. Чтобы вычислить изменение потенциальной энергии шара, нужно определить его массу m на весах и измерить с помощью линейки высоту h подъема шара.

Для определения кинетической энергии шара необходимо измерить модуль его скорости v. Для этого прибор укрепляют на лапке штатива на высоте H над поверхностью стола, отводят стержень с шаром в сторону от высоты H + h и затем отпускают. При ударе стержня об упор шар соскакивает со стержня.

Скорость шара во время падения изменяется, однако горизонтальная составляющая скорости остается неизменной и равной по модулю скорости v шара в момент удара стержня об упор. Поэтому скорость v шара в момент срыва со стержня можно определить из выражения $v = \frac{l}{t},$

где l – дальность полета шара, t – время его падения. Время t свободного падения с высоты (рисунок 7.1) H равно

$$t = \sqrt{\frac{2H}{g}},$$

$$v = \frac{l}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}.$$

Поэтому, зная массу шара, можно найти его кинетическую энергию

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \tag{7.2}$$

и сравнить ее с изменением потенциальной энергии ΔE_p.

Порядок выполнения работы

1 Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

№ опыта	m, кг	h, м	$\Delta E_p = mgh$, Дж	l, м	H, м	$v = \frac{l}{\sqrt{2H/g}}$ м\с	$E_k = \frac{mv^2}{2}$ Дж
1 2 3							

2 Укрепите прибор в штативе на высоте 20-30 см над столом, как показано на рисунке 7.1. Наденьте шар отверстием на стержень и сделайте предварительный опыт. На месте падения шара закрепите липкой лентой лист белой бумаги и накройте его копировальной бумагой.

3 Надев снова шар на стержень, отведите стержень в сторону, измерьте высоту подъема шара h по отношению к первоначальному уровню и отпустите стержень. Сняв лист копировальной бумаги, определите расстояние l между точкой на столе под шаром в его начальном положении, найденной по отвесу, и отметкой на листе бумаги в месте падения шара.

4 Измерьте высоту шара над столом в начальном положении. Взвесьте шар и вычислите изменении его потенциальной энергии ΔEр и кинетическую энергию Ек в момент прохождения шаром начального положения (положения равновесия)

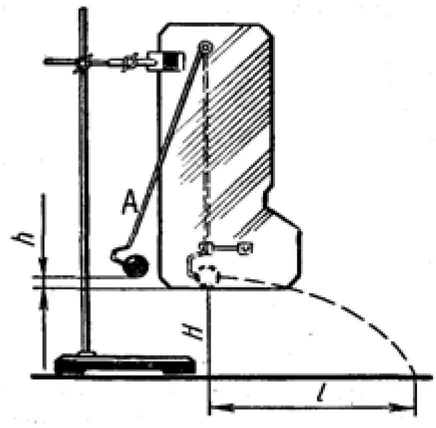

Рисунок 7.1 – Прибор для иллюстрации
закона сохранения энергии

5 Повторите опыт при двух других значениях высоты h и сделайте измерения и вычисления. Результаты занесите в таблицу.
6 Оцените абсолютные погрешности измерений потенциальной и кинетической энергии шара в ваших опытах.
7 Сравните значение изменений потенциальной энергии шара с его кинетической энергией и сделайте вывод о результатах вашего эксперимента.

Контрольные вопросы

1 Сформулируйте закон сохранения механической энергии.
2 Какие потери энергии не учитываются при выполнении данной работы?
3 Как объяснить, что при расчете модуля скорости шара были использованы уравнение равномерного движения l = vt и уравнение равноускоренного движения $H = \frac{gt^2}{2}$?
4 При каких условиях применим закон сохранения механической энергии?

Лабораторная работа № 8
Определение коэффициента поверхностного натяжения жидкости

Цель работы: изучить явление поверхностного натяжения жидкости.

Оборудование: динамометр типа ДПН, штатив, дистиллированная вода, линейка, стиральный порошок.
Задание: определите коэффициент поверхностного натяжения воды с помощью динамометра типа ДПН.

Содержание работы

На молекулы, находящиеся в поверхностном слое жидкости, действуют силы притяжения других молекул, направленные внутрь жидкости. Для выхода молекул из внутренних слоев в поверхностный слой необходимо совершение работы против действия молекулярных сил притяжения. В результате молекулы в поверхностном слое жидкости обладают избытком энергии. Эта энергия называется свободной поверхностной энергией жидкости.

Поверхностная энергия в состоянии равновесия жидкости стремится к минимуму, а свободная поверхность жидкости — к сокращению.

При образовании тонкой пленки жидкости шириной l (рисунок 8.1) вдоль границы поверхности жидкости действует сила поверхностного натяжения F, равная по модулю:

$$F = \sigma 2l, \tag{8.1}$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения. Множитель 2 стоит по той же причине, что пленка имеет две поверхности.

$$\sigma = \frac{F}{2l}. \tag{8.2}$$

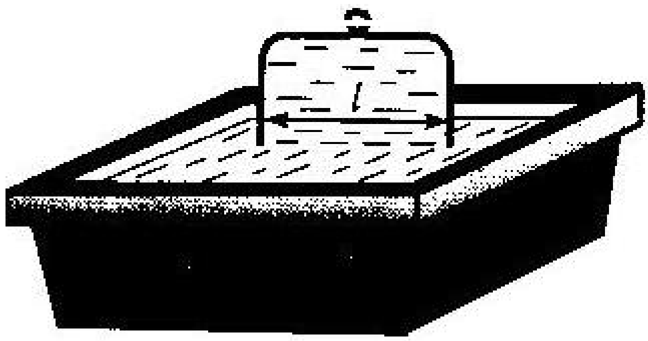

Рисунок 8.1 – Схема экспериментальной установки

Силу поверхностного натяжения *F* измеряют чувствительным динамометром типа ДПН, а ширину пленки (равную ширине проволочной петли) — линейкой.

Динамометр типа ДПН (рисунок 8.2) состоит из корпуса *3,* внутри которого находится измерительная пружина 5, имеющая прямой конец с открытым зацепом *7.* Зацеп предназначен для соединения петли *8* с измерительной пружиной динамометра. Для отсчета показаний по шкале на измерительной пружине закреплена стрелка *6.* Исследуемую жидкость наливают в стеклянную чашку *9.*

Для измерения коэффициента поверхностного натяжения проволочную петлю полностью погружают в жидкость, а затем медленно вытягивают из жидкости. При этом на петле образуется пленка. Когда сила упругости пружины динамометра станет равной силе поверхностного натяжения *F,* пленка разрывается.

Порядок выполнения работы

1 Изучите устройство динамометра ДПН.

2 Подготовьте прибор к выполнению измерений. Для этого наденьте на открытый зацеп *7* петлю *8* (рисунок 8.2). Придерживая установочный винт 1, отверните стопорный винт *2.* Вращая стакан *4* и нажимая на головку винта 1,

установите стрелку динамометра на нулевое деление шкалы. Завинтите стопорный винт.

3 Налейте в чашку *9* дистиллированную воду и установите ее на подставку *10.* Вращая винт держателя 11, поднимите чашку с жидкостью до такого уровня, чтобы петля полностью погрузилась в воду.

4 Медленно опускайте чашку с водой. Для этого выворачивайте винт держателя 11 до тех пор, пока не разорвется пленка жидкости, тянущаяся за петлей. Заметьте по шкале динамометра, при каком значении силы происходит разрыв пленки.

5 Вычислите коэффициент поверхностного натяжения.

6 Повторите измерения три раза. Вычислите среднее значение коэффициента поверхностного натяжения.

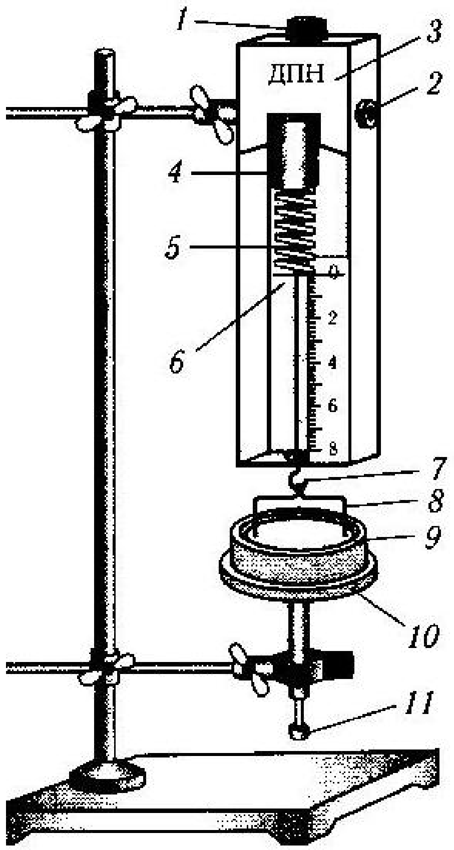

Рисунок 8.2 - Динамометр ДПН

Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу.

№ опыта	l, м	F, H	σ, H /м	$\sigma_{cp,} H$ /м
1 2 2				

После выполнения измерений с поверхностей петель и прямого конца измерительной пружины удалите оставшуюся жидкость чистой тряпочкой или чистой промокательной бумагой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Исследуйте влияние на поверхностное натяжение воды растворенных в ней веществ, например, мыла или стирального порошка.

После выполнения измерений промойте петлю, прямой конец пружины и чашку дистиллированной водой и осушите.

1 Что такое поверхностное натяжение жидкости и в чем оно проявляется?
2 Почему одни тела смачиваются водой, а другие не смачиваются?
3 Как зависит коэффициент поверхностного натяжения от температуры?
4 Почему опыт проводился не с прямолинейным куском проволоки, а с петлей, имеющей П–образную форму?

Лабораторная работа №9
Измерение электрического сопротивления проводников.

Цель работы: ознакомление с мостовым методом измерения электрического сопротивления проводников.

Оборудование: реохорд, гальванометр, резистор с известным электрическим сопротивлением, электрическая лампа мощностью 100-200 Вт, источник электропитания ИЭПП-2, соединительные провода, ключ замыкания тока.

Задание: определите мостовым методом электрическое сопротивление нити электрической лампы.

Содержание работы

Сущность мостового метода измерения электрического сопротивления заключается в сравнении известного сопротивления R_x с эталонным сопротивлением R. Для выполнения такого сравнения собирают электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке 9.1, где АС – длинная однородная проволока со скользящим контактом D, укрепленная на подставке (реохорд); G - источник постоянного тока; S - кнопка для замыкания электрической цепи.

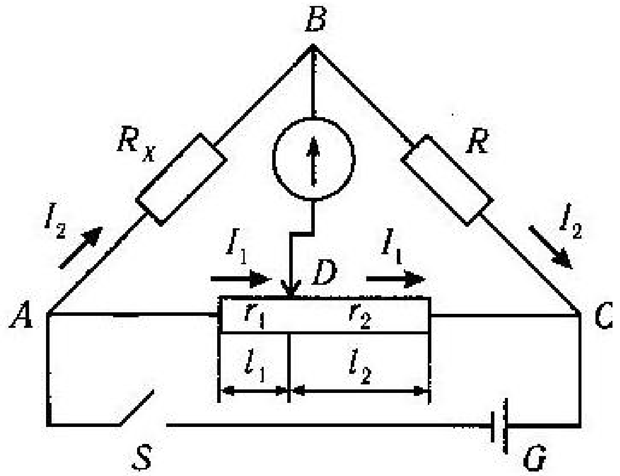

Рисунок 9.1 - Схема экспериментальной установки

Поскольку площадь поперечного сечения проволоки реохорда по всей длине неизменна, то электрические сопротивления r_1 и r_2 участков AD и DC прямо пропорционально их длинам l_1 и l_2:

$$\frac{r_1}{r_2}=\frac{p\frac{l_1}{S}}{p\frac{l_2}{S}} \quad . \qquad (9.1)$$

При нажатой кнопке S движок D реохорда передвигают и устанавливают в такое положение, при котором сила тока через гальванометр равна нулю. Отсутствие тока через гальванометр является следствием разности потенциалов в точках B и D и указывает на то, что падение на участке AB равно падению напряжения на участке $AD(I_2R_x=I_1r_2)$ и падение напряжения на участке $DC\left(I_2R=I_1r_2\right)$.

Из этих соотношений следует:

$$\frac{R_x}{R}=\frac{r_1}{r_2},$$

откуда

$$R_x=R\frac{r_1}{r_2}=R\frac{l_1}{l_2} \quad . \qquad (9.2)$$

Таким образом, для нахождения неизвестного сопротивления R_x необходимо измерить длины плеч l_1 и l_2 реохорда при отсутствии тока через гальванометр.

Порядок выполнения работы

1 Соберите электрическую цепь по схеме рисунка 9.1, включив в цепь электрическую лампу с неизвестным электрическим сопротивлением R_x. Установите на выходе источника постоянного тока небольшое напряжение (порядок нескольких десятых вольта). Передвигая ползунок D реохорда при нажатой кнопке S, найдите такое его положение, при котором стрелка гальванометра не отклоняется от нулевого деления шкалы. Во избежание повреждения гальванометра держать кнопку S нажатой в течение длительного времени не рекомендуется.

2 Измерьте длины плеч l_1 и l_2 по шкале реохорда. По измеренным значениям l_1 и l_2 и известному значению электрического сопротивления R определите электрическое сопротивление R_x.

3 Оцените погрешность измерения сопротивления. Так как

$$R_x=R\frac{l_1}{l_2}, \text{ то } \varepsilon_{R_x}=\varepsilon_R+\varepsilon_{l_1}+\varepsilon_{l_2}.$$

При оценке слагаемых в этой сумме необходимо учесть следующее. Относительная погрешность ε_R сопротивления резистора закодирована в его маркировке. Границе допускаемой погрешности 1% соответствует буква *Р*, 2% - Л, 5% - И, 10% - С, 20% - В; на резисторах старых выпусков граница относительной погрешности указана непосредственно.

При оценке $\varepsilon_{l_1} = \dfrac{\Delta l_1}{l_1}$ и $\varepsilon_{l_2} = \dfrac{\Delta l_2}{l_2}$ следует учесть погрешность отсчета, которая не меньше ширины скользящего контакта реохорда. По сравнению с этой погрешностью отсчета можно пренебречь допускаемой погрешностью шкалы реохорда.

Контрольные вопросы

1. Как влияет на точность измерений увеличение длины реохорда?
2. Как влияют на точность измерений электрического сопротивления мостовым методом изменения напряжения источника тока?

Лабораторная работа №10
Измерение мощности электрического тока

Цель работы: ознакомиться с принципом действия электронагревательных приборов и способами измерения мощности электрического тока.

Оборудование: источник постоянного тока, проволочная спираль, амперметр, вольтметр, калориметр, вода, термометр, секундомер, электрический ключ, измерительный цилиндр.

Задание: измерьте мощность электрического тока в проволочной спирали с помощью амперметра и вольтметра. Определите мощность электрического тока, измеряя количество, выделяемое проволочной спиралью за определенное время.

Сравните значения мощности, полученные двумя методами.

Содержание работы

При прохождении электрического тока в металле свободные электроны сталкиваются с отдельными атомами и передают им часть своей кинетической энергии. В результате таких столкновений происходит нагревание проводника. Количество выделяющейся в проводнике теплоты Q равно работе электрического тока А:

$$A = Q. \tag{10.1}$$

Если напряжение на проводнике U, а сила тока в проводнике I, то мощность тока P равна:

$$P = I \cdot U, \tag{10.2}$$

а работа электрического тока за время t равна:

$$A = P \cdot t = I \cdot U \cdot t. \tag{10.3}$$

Если выделившееся в проводнике за время t теплота Q израсходована на нагревание вещества массой m и удельной теплоемкостью с на ΔT градусов, то мощность P электрического тока можно вычислить по формуле

$$P = \frac{A}{t} = \frac{Q}{t},$$

$$P = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T}{t} \ . \tag{10.4}$$

Порядок выполнения работы

1 Налейте в измерительный цилиндр 100 см^2 воды и вылейте эту воду в стакан калориметра.

2 Установите в калориметре термометр. Измерьте начальную температуру t_1 воды. Опустите проволочную спираль в воду.

3 Соедините проволочную спираль, источник тока, ключ, амперметр и вольтметр по схеме, изображенной на рисунке 1. Замкните цепь ключом и одновременно включите секундомер. Запишите показания амперметра и вольтметра в отчетную таблицу. Вычислите мощность P_1 тока по формуле (10.2) и запишите результаты в таблицу.

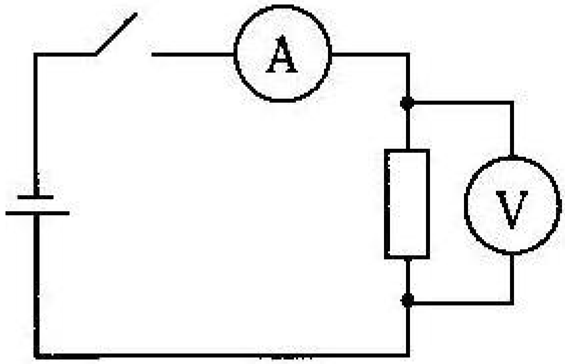

Рисунок 10.1 – Схема экспериментальной установки.

4 Следите за изменением показаний термометра и, когда температура воды в калориметре повысится на $\Delta T = 10K$, остановите секундомер и определите время t нагревания.

5 По известным значениям удельной теплоемкости воды с, ее массы m, изменением температуры ΔT и времени нагревания t вычислите мощность P_2 электрического тока по формуле (10.4).

Результаты измерений и вычислений занесите в отчетную таблицу.

I, A	U, B	P_1, Вт	с, Дж/ $(кг \cdot K)$	m, кг	$\Delta T, K$	t, c	P_2 Вт

Сравните полученные значения мощности P_1 и P_2 и сделайте выводы.

Контрольные вопросы

1 Почему при прохождении электрического тока по проводнику происходит его нагревание?
2 Почему результаты, полученные при определении мощности электрического тока по формулам (2) и (4), несколько отличаются?
3 Какое из двух полученных значений мощности электрического тока P_1 и P_2 вы считаете более точными и почему?

Лабораторная работа № 11
Снятие температурной характеристики терморезистора

Цель работы: исследовать зависимость электрического сопротивления полупроводника от температуры.

Оборудование: терморезистор на колодке; омметр М-471 или ампервольтметр АВО-63; термометр лабораторный от 0 до 1000С с делениями 10 С; Нагреватель электрический; стакан высокий со льдом; источник электропитания для практикума ИЭПП-1; комплект проводов соединительных.

Содержание работы

Терморезистор ММТ-1 (рисунок 11.1), с которым выполняют данную работу, состоит из спрессованной и термически обработанной смеси порошкообразных оксидов металлов. Он имеет форму цилиндрического стержня 6 длиной 12 мм и диаметром 2 мм. На концы стержня надеты металлические колпачки с выводами, а боковая поверхность покрыта слоем эмалевой краски. Выводы терморезистора припаяны к двум медным проволокам 5; концы проволок подведены к двум винтовым зажимам 1, укрепленным на пластмассовой панели 2. В середине панели сделано отверстие, в которое вставлена картонная трубка 4, на верхний конец трубки надето резиновое кольцо 3, а на кольцо - стеклянная пробирка 7.
В этой работе надо измерить сопротивление терморезистора при различных температурах и построить график зависимости его сопротивления от температуры.

Порядок выполнения работы

1 Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений:

Температура t, ^{0} С	0	10	20	30	40	50	60	70
Сопротивление R, Ом								

2 Соберите установку, показанную на рисунке 2. В стакан с водой и тающим льдом погрузите электрический нагреватель и пробирку с терморезистором. В

пробирку вставьте термометр, к зажимам терморезистора подключите омметр с множителем 100, а к электрическому нагревателю – источник электропитания ИЭПП-1 (к зажимам ⊔ 12 или ⊔ 36 В; последние расположены на обратной стороне прибора)

3 Измерьте начальную температуру терморезистора (она равна температуре воды в стакане) и его начальное сопротивление.

4 Включите электрический нагреватель и нагрейте воду в стакане до 70^0С.

5 При температурах 10, 20, 30^0С и т.д. измерьте сопротивление терморезистора. Результаты сопротивления запишите в таблицу.

Примечание. Наблюдая за показаниями приборов следует вести вдвоем; один записывает показания термометра, а другой одновременно снимает показания омметра.

6 По данным таблицы постройте график зависимости сопротивления терморезистора от температуры. По оси абсцисс отложите температуру, а по оси ординат – сопротивление.

Контрольные вопросы

1 Как зависит сопротивление терморезистора от температуры?

2 Во сколько раз изменится сопротивление терморезистора при его нагревании от 0 до 70^0С?

3 Одинаково ли изменяется сопротивление терморезистора в различных интервалах температур?

4 Быстро или медленно надо нагревать воду в стакане, чтобы получить более точный график зависимости сопротивления терморезистора от температуры?

5 Как, пользуясь терморезистором, омметром и полученным графиком, изменить известную температуру воды в стакане? Проделайте опыт и результат его проверьте термометром.

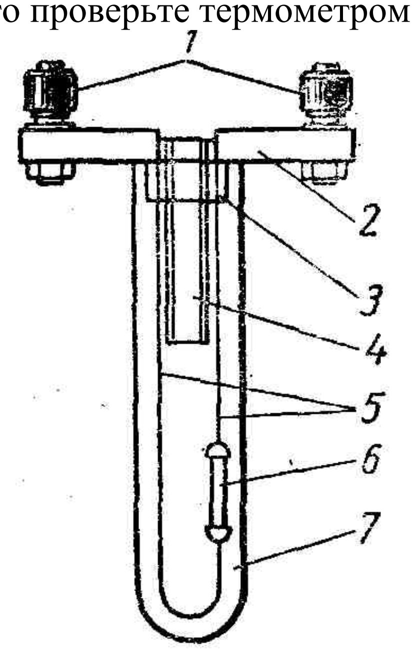

Рисунок 11.1 - Терморезистор ММТ-1

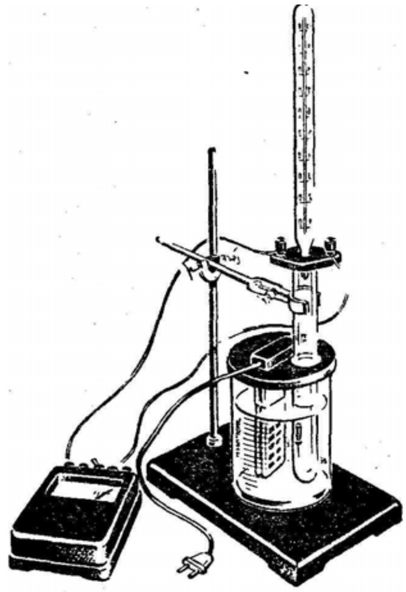

Рисунок 11.2 - Схема экспериментальной установки

Лабораторная работа № 12
Измерение температурного коэффициента сопротивления меди

Цель работы: экспериментально определить температурный коэффициент сопротивления меди.

Оборудование: прибор для измерения термического коэффициента сопротивления проволоки; стакан высокий; ампервольтомметр АВО-63; термометр лабораторный от 0 до 100^{0}С; штатив для фронтальных работ; стаканы с горячей (50-60^{0}С) и холодной водой; стакан со льдом или снегом; комплект проводов соединительных.

Содержание и метод выполнения работы

Температурный коэффициент сопротивления проводника а определяется отношением

$$a = \frac{R_t - R_0}{R_{0t} t},$$

где R_0 - сопротивление проводника при температуре 0^{0}С; Rt - сопротивление проводника при температуре t^{0}С, t - температура проводника.

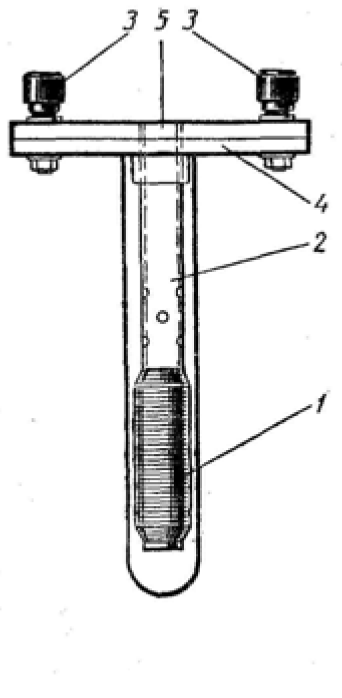

Рисунок 12.1 – Прибор для измерения термического коэффициента

Применяемый в работе прибор (рисунок 12.1) для определения температурного коэффициента сопротивления меди состоит из катушки 1. Катушка представляет собой картонный каркас 2, на который намотан медный изолированный провод. Концы провода выведены к зажимам 3, установленным на пластмассовой колодке 4. В этой же колодке закреплена стеклянная пробирка, в которую вставлен каркас катушки. Сверху в колодке имеется отверстие 5 для термометра, измеряющего температуру обмотки катушки. Помещая пробирку с катушкой в холодную и горячую воду и измеряя ее сопротивление, можно вычислить температурный коэффициент сопротивления меди.

Порядок выполнения работы

1 Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.

№ опыта	t, ^{0} С	R, Ом	а, град$^{-1}$	а $_{гр}$,град$^{-1}$
1 2 3 4				

2 Налейте в стакан воды и охладите ее с помощью льда или снега до 0^0 С.
3 Соберите установку по рисунку 12.2 сначала без термометра. Закрепите прибор в лапке штатива и, отпустив зажим муфты, погрузите пробирку с катушкой в стакан так, чтобы катушка находилась в воде. В этом положении прибор закрепите.
4 Проверьте и подготовьте ампервольтомметр для измерения сопротивлений (шкала со множителем 1)
5 Поместите термометр в отверстие колодки и следите за его показаниями. Когда температура катушки понизится до 0^0С, измерьте ее сопротивление R_0 с помощью ампервольтомметра.
6 Выньте термометр и закрепите прибор на штативе так, чтобы катушка вышла из воды.
7 Холодную воду замените горячей и вновь погрузите пробирку с катушкой в стакан. Поместите в пробирку термометр и наблюдайте за изменением температуры; когда она установиться, измерьте сопротивление катушки Rt. Опыт повторите еще два раза при других температурах (можно делать различную смесь горячей и холодной воды)
8 Используя результаты первого опыта (0^0 С и R_0) и трех последующих (t_1 R_t), вычислите для каждого опыта значение температурного коэффициента сопротивления меди по формуле

$$\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_{0t}}$$

и найдите его среднее значение.
9 Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Контрольные вопросы

1 Что такое температурный коэффициент сопротивления? В каких единицах он измеряется?
2 Как зависит сопротивление проводника от температуры?
3 Как эту зависимость можно представить графически?
4 Как выглядит график зависимости сопротивления проводника от температуры?

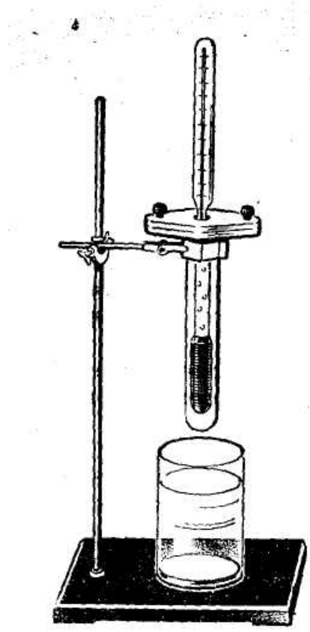

Рисунок 13.2 – Схема экспериментальной установки

Лабораторная работа №13
Измерение показателя преломления стекла линзы

Цель работы: экспериментально определить показатель преломления линзы.
Оборудование: двояковыпуклая линза; штангенциркуль; линейка измерительная.
Задание: измерьте показатель преломления стекла, из которого изготовлена линза.

Метод выполнения работы
Показатель преломления n стекла, из которого изготовлена линза, можно определить из формулы:

$$\frac{1}{F} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right), \qquad (13.1)$$

где F — главное фокусное расстояние линзы, R_1, R_2 — радиусы сферических поверхностей, образующих линзу.

Если линза симметричная и двояковыпуклая, то $R_1 = R_2 = R$ и, следовательно,

$$\frac{1}{F} = (n-1)\frac{2}{R} \qquad (13.2)$$

откуда

$$n = 1 + \frac{R}{2F}. \qquad (13.3)$$

Из формулы (13.3) видно, что для определения показателя преломления n стекла нужно измерить фокусное расстояние F линзы и радиус R ее сферических поверхностей.

Фокусное расстояние линзы можно измерить, получив на экране изображение источника света и измерив расстояние d от предмета до линзы и расстояние f от линзы до изображения. Из формулы линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \qquad (13.4)$$

следует, что если источник света находится на достаточно большом расстоянии от линзы $d \to \infty$, то

$$F \approx f. \qquad (13.5)$$

Радиус кривизны сферических поверхностей линзы можно рассчитать, проведя измерения геометрических размеров линзы: ее толщины H, диаметра D и толщины цилиндрического слоя h_o (рис. 1). Для треугольника ОАВ имеем:

$$R^2 = AB^2 + OB^2 = l^2 + (R-h)^2$$

Проведя преобразования, получим:

$$R = \frac{h^2 + l^2}{2h}, \qquad (13.6)$$

где $l = \frac{D}{2}$, $h = \frac{H - h_o}{2}$.

Следовательно,

$$R = \frac{\left(\frac{H-h_o}{2}\right) + \left(\frac{D}{2}\right)^2}{2\frac{H-h_o}{2}} = \frac{\left(H-h_o\right)^2 + D^2}{4(H-h_o)}. \qquad (13.7)$$

Порядок выполнения работы

1 С помощью линзы получите на экране (стене, листе бумаги) изображение предметов, находящихся за окном классной комнаты. Измерьте расстояние f от линзы до получившегося изображения и оцените фокусное расстояние F линзы.

2 Штангенциркулем измерьте толщину линзы H, толщину ее цилиндрического слоя h_o и диаметр линзы D.

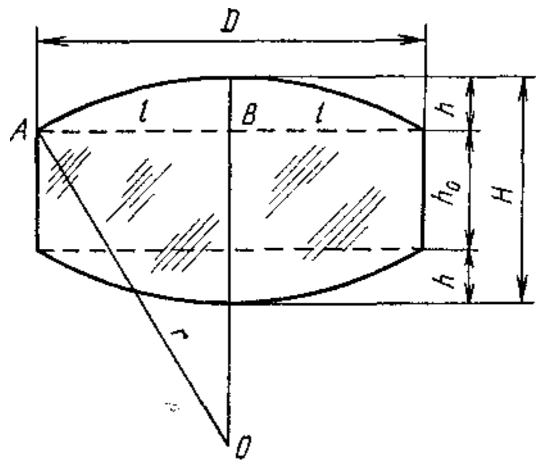

Рисунок.13.1 – Расчет радиуса кривизны линзы

3 Рассчитайте радиус R сферических поверхностей линзы по формуле (13.7).
4 Рассчитайте показатель преломления n стекла, из которого изготовлена линза, по формуле (13.3).
5. Результаты измерений и расчетов занесите в отчетную таблицу.

Контрольные вопросы

1 Сформулировать законы отражения и преломления света.
2 В чем заключается явление полного внутреннего отражения?

Лабораторная работа №14
Определение фокусного расстояния рассеивающей линзы

Цель работы: научиться определять фокусное расстояние рассеивающей линзы.
Оборудование: линейка, источник света, экран, подставка для линз, диапозитив.
Задание: определите фокусное расстояние рассеивающей линзы.

Содержание работы

Рассеивающая линза образует только мнимое изображение, которое нельзя получить на экране, т.е. нельзя измерить расстояние от линзы до изображения. Фокусное расстояние рассеивающей линзы можно определить, если использовать вторую собирающую линзу. Для этого используют собирающую линзу с большей оптической силой. Если оптическая сила собирающей линзы

$$D_1 = \frac{1}{F_1},$$

а рассеивающей линзы

$$D_2 = \frac{1}{F_2},$$

то оптическая сила системы из двух линз равна сумме оптических сил линз:

$$D_3 = D_1 + D_2 \ . \qquad (14.1)$$

Если собирающая и рассеивающая линзы вместе дают действительное изображение, то можно экспериментально определить сначала оптическую силу D_1 собирающей линзы, затем оптическую силу D_3 системы из двух линз и вычислить оптическую силу D_2 рассеивающей линзы:

$$D_2 = D_3 - D_1 \ . \qquad (14.2)$$

Если расстояние d от линзы до предмета в двух опытах не изменять, то

$$D_2 = \frac{1}{d} + \frac{1}{f_3} - \frac{1}{d} - \frac{1}{f_1} = \frac{1}{f_3} - \frac{1}{f_1} = \frac{f_1 - f_3}{f_1 \cdot f_3} \ , \qquad (14.3)$$

где f_1 - расстояние до изображения собирающей линзы; f_3 - расстояние до изображения от системы из двух линз.

Из уравнения (14.3) фокусное расстояние рассеивающей линзы F_2 равно:

$$F_2 = \frac{1}{D_2} = \frac{f_1 \cdot f_3}{f_1 - f_3} \ . \qquad (14.4)$$

Следовательно, для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы достаточно выполнить измерения расстояния f_1 от собирающей линзы до изображения и расстояния f_3 от системы из двух линз до изображения при одинаковом расстоянии от линз до предмета.

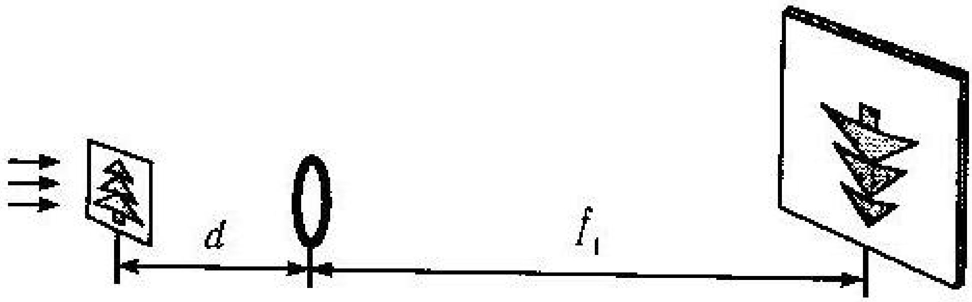

Рисунок 14.1 – Схема экспериментальной установки

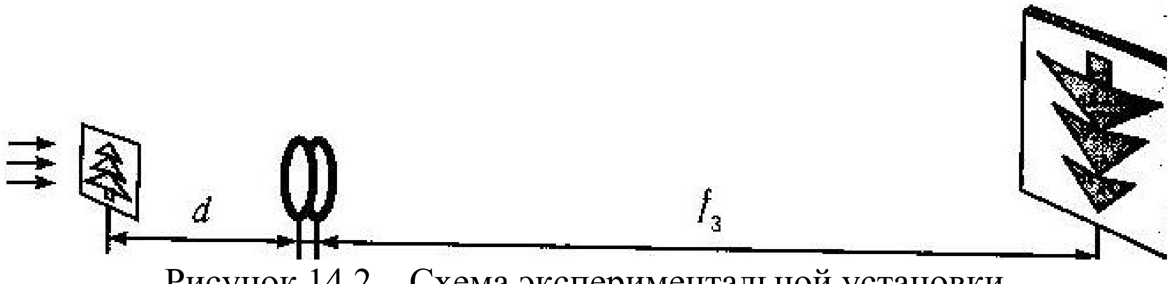

Рисунок 14.2 – Схема экспериментальной установки

Порядок выполнения работы

1 С помощью собирающей линзы получите на экране четкое действительное увеличение изображение диапозитива, освещенного источником света. Измерьте расстояние f_1 от линзы до экрана (рисунок 14.1).
2 Поставьте рядом с собирающей линзой исследуемую рассеивающую линзу. Н изменяя положения линз относительно предмета (слайда), передвиньте экран до получения четкого изображения.
Измерьте расстояние f_3 от линз до экрана (рисунок 14.2)
3 Вычислите фокусное расстояние F_2 рассеивающей линзы, используя выражение (14.4).

Контрольные вопросы

1 Что называется оптической силой линзы?
2 Какой физический смысл можно придать отрицательному знаку полученного значения фокусного расстояния рассеивающей линзы?

Лабораторная работа № 15

Измерение индуктивности катушки по ее ЭДС самоиндукции

Цель работы: ознакомиться с баллистическим методом измерения магнитного потока.
Оборудование: катушка дроссельная индуктивностью 1 Гн; катушка от разборного трансформатора на 220 В; миллиамперметр на 50 мА; микроамперметр на 100 мкА; диод Д226; источник электропитания для практикума ИЭПП-1; ключ замыкания тока; резистор 5 кОм;
комплект проводов соединительных.

Содержание работы

Полный магнитный поток Ф в катушке прямо пропорционален индуктивности катушки L и силе тока I в ее обмотке.

$$\Phi = LI . \qquad (15.1)$$

Поэтому индуктивность катушки L можно определить по изменению магнитного потока $\Delta\Phi$ при изменении силы тока ΔI в катушке:

$$L = \frac{\Delta \hat{O}}{\Delta I} \qquad (15.2)$$

При изменении магнитного потока в катушке возникает ЭДС самоиндукции, прямо пропорциональная скорости изменения магнитного потока:

$$\xi = \frac{\Delta \hat{O}}{\Delta \grave{O}} \,. \tag{15.3}$$

Если подключить к концам катушки микроамперметр и последовательно с ним полупроводниковый диод в обратном направлении по отношению к полярности источника тока (рисунок 1), то сила тока в цепи микроамперметра очень мала. При отключении катушки от источника тока ЭДС самоиндукции приложена к диоду в прямом направлении и создает ток самоиндукции I_c в цепи микроамперметра. Произведение силы тока самоиндукции I_c на интервал времени Δt равно заряду Δq, протекающему в цепи:

$$I_c \cdot \Delta t = \Delta q. \tag{15.4}$$

По закону Ома для полной цепи ЭДС самоиндукции равна произведению силы тока I_c на полное электрическое сопротивление цепи R:

$$\varepsilon = I_c R \tag{15.5}$$

из выражений (15.3) и (15.5) следует равенство

$$\Delta\Phi = I_c \Delta t R, \tag{15.6}$$

из которого, используя формулы (15.4) и (15.2), получаем выражения для изменения магнитного потока $\Delta\Phi$ и для индуктивности L катушки:

$$\Delta\Phi = \Delta q R \tag{15.7}$$

И

$$L = \frac{\Delta q R}{\Delta I} \,. \tag{15.8}$$

Если время Δt протекания тока через микроамперметр значительно меньше периода колебаний его стрелки, то максимальное отклонение стрелки в опыте пропорционально заряду Δq, протекающему через прибор. Имея эталонную катушку с известной индуктивностью L_1, можно определить индуктивность L_2 другой катушки, измерив изменения силы тока ΔI_1 и ΔI_2, вызывающе одинаковые отбросы стрелки прибора.

Порядок выполнения работы

1 Используя дроссельную катушку с известной индуктивностью, равной 1Гн, соберите электрическую цепь по схеме, представленной на рисунке 15.1.

Предупреждение: особое внимание обратите на полярность включения диода Д! Без проверки правильности сборки схемы учителем ключ К не замыкать!

2 После проверки схемы учителем замкните ключ К. Изменяя положение, предаваемое на катушку, установите в ней такую силу тока I_1, чтобы при ее отключении от источника тока происходил отброс стрелки микроамперметра на всю шкалу.

3 Замените в схеме дроссельную катушку катушкой разборного трансформатора на 220 В неизвестной индуктивности L2. Измерьте силу I_2 в

катушке, обеспечивающей такой же отброс стрелки микроамперметра при размыкании цепи, как и в опыте с первой катушкой. При одинаковых отбросах стрелки через микроамперметр в первом и во втором опытах протекает одинаковый заряд Δq. В этом случае при одинаковом полном электрическом сопротивлении R цепи индуктивность L_2 второй катушки определяется из выражения (15.8):

$L\Delta I_1 = \Delta q R = L_2 \Delta I_2,$

$$L2 = \frac{\Delta I_1 L_1}{\Delta I_2}. \qquad (15.9)$$

Изменения силы тока в цепи при размыкании равны соответственно $\Delta I_1 = I_1$ и $\Delta I_2 = I_2$

Чтобы полное электрическое сопротивление R цепи было примерно одинаковым в двух опытах, последовательно с катушкой и микроамперметром включается резистор с электрическим сопротивлением, которое значительно больше сопротивления первой и второй катушек.

Контрольные вопросы

1 Какова причина возникновения электрического тока в цепи микроамперметра при отключении катушки от электрического тока?
2 Каково значение диода в цепи микроамперметра?
3 От каких параметров зависит индуктивность катушки?
4 Почему в данной схеме необходимо строго соблюдать полярность включения диода?
5 Для чего последовательно с катушкой и микроамперметром включается резистор?

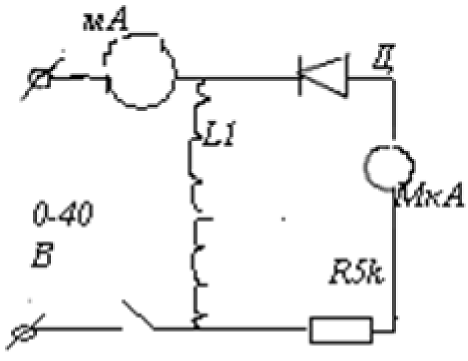

Рисунок 15.1 – Схема экспериментальной установки

Лабораторная работа № 16
Изучение резонанса в электрическом колебательном контуре с помощью звукового генератора

Цель работы: исследовать зависимость силы тока от частоты переменного тока. Выяснить условие электрического резонанса.

Оборудование: генератор звуковой школьный или лабораторный; ампервольтомметр АВО -63; вольтметр переменного тока Э-87; конденсатор бумажный 6 мкФ; катушка разборного электромагнита.

Содержание и работы

Электрическая цепь, состоящая из конденсатора и катушки, соединенных последовательно, называется последовательным колебательным контуром.

При включении колебательного контура в электрическую цепь амплитуда силы тока, протекающего через элементы контура, зависит не только от амплитуды приложенного переменного напряжения, но и от его частоты. При постоянном значении амплитуды напряжения амплитуда силы тока в контуре с возрастанием частоты увеличивается, проходит через максимум и затем убывает. Такая зависимость амплитуды силы тока в цепи от частоты объясняется следующим образом.

На низких частотах емкостное сопротивление Xc конденсатора переменному току очень велико. С увеличением частоты это сопротивление убывает, поэтому сила тока возрастает.

Индуктивное сопротивление катушки X_L на низких частотах мало, но увеличивается с ростом частоты. При некоторой частоте v_0, называемой резонансной частотой цепи, индуктивное сопротивление катушки становится равным емкостному сопротивлению конденсатора:

$X_L = X_c$.

При наиболее высоких частотах X_L превышает Xc. Возрастание индуктивного сопротивления с ростом частоты приводит к убыванию силы тока в цепи на больших частотах, больших резонансной.

Резонанс в последовательной цепи переменного тока наступает при совпадении частоты переменного тока v с собственной частотой v_0 колебательного контура.

$$v_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Задача настоящей работы состоит в том, чтобы обнаружить явление резонанса в электрическом контуре путем исследования зависимости силы тока в нем от частоты переменного напряжения, а также исследовать влияние активного сопротивления на форму резонансной кривой.

Порядок выполнения работы

1 Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений:

Частота Гц	v	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
Сила тока мА	I 1															
	I 2															

2 Соберите электрическую цепь по схеме указанной на рисунке 16.1. Включив звуковой генератор, установите на его ходе напряжение, равное 5 В. Изменяя частоту переменного напряжения от 200 до 3000 Гц, снимите показания миллиамперметра, поддерживая неизменным напряжение на выходе генератора. Результаты измерений запишите в таблицу.
3 Постройте график зависимости силы тока в контуре от частоты и определите резонансную частоту v_0. контура.
4 Включите последовательно с катушкой индуктивности и конденсатором резистор с электрическим сопротивлением 10-30 Ом. Установите сопротивление на выходе из генератора снова 5 В и выполните измерения, описанные в пункте 2.
5 По новым результатам измерений постройте резонансную кривую на том же листе, на котором построена первая кривая, и объясните, чем вызвано различие в кривых.

Контрольные вопросы:
1 Опишите процессы, происходящие в колебательном контуре.
2 Почему амплитуда колебаний силы тока в цепи, состоящей из конденсатора и катушки, при постоянной амплитуде колебаний переменного напряжения сначала возрастает с увеличением частоты, а затем уменьшается?
3 При каком условии наступает электрический резонанс?
4 Где используется явление электрического резонанса?

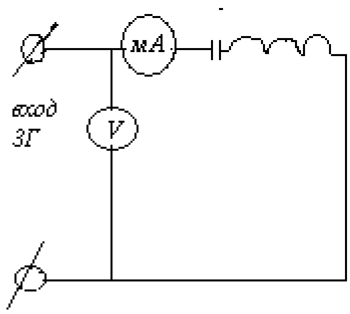

Рисунок 16.1 – Схема экспериментальной установки

Лабораторная работа №18
Определение длины световой волны с помощью дифракционной решетки

Цель работы: определить длины волн для различных видимых лучей спектра.
Оборудование: прибор для определения длины световой волны; дифракционная решетка; подставка от подъемного столика; лампа.

Содержание работы

Помещаем вертикально на демонстрационном столе лампу и включаем ее. В подставке подъемного столика укрепляем прибор для определения длины световой волны и устанавливаем его на столе в 2-3 м от лампы. Дифракционную решетку вставляем в рамку прибора. Шкалу устанавливаем на наибольшем расстоянии от дифракционной решетки. Наводим прибор на нить лампы, смотря на нее через решетку и щель щитка, находящуюся на нулевом делении шкалы. Проверяем правильность расположения спектров на черном фоне над шкалой и, наблюдая смещение их с черного фона, устраняем перекос поворотом рамки с решеткой. Двигаем щиток со шкалой по бруску так, чтобы исследуемый луч достаточно четко проектировался на шкале. Определяем по шкале щитка границы красных и фиолетовых лучей в спектрах первого и второго порядков (a) с правой и левой сторон. Находим их средние значения.

Определяем по бруску расстояние от дифракционной решетки до шкалы (b).
Находим

$$tg\alpha = \frac{a}{b}.$$

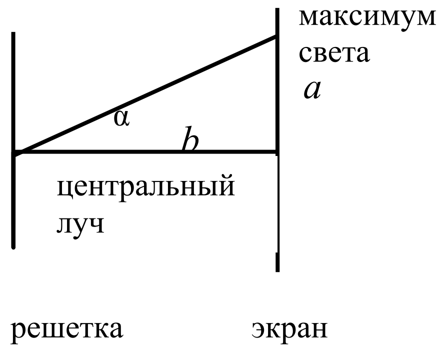

Рисунок 17.1 – Определение спектр первого порядка

Заменяем $tg\alpha$ на $\sin\alpha$ ввиду малости угла α.
Вычисляем длину волны для красных лучей по формуле:

$$n\lambda = d \cdot \sin\alpha \approx d \cdot \frac{a}{b},$$

где n - порядок спектра,
d - постоянная решетки,
λ - искомая длина волны.
Вычисляем длину волны для фиолетовых лучей.
Сравниваем найденные длины волн с табличными данными.
Заносим данные в таблицу 1.

Таблица 17.1

№ опыта	Постоянная решетки, d	Порядок спектра, n	Видимые границы спектра, a						Расстояние от дифракционной решетки до шкалы, мм	$tg\alpha = \frac{a}{b}$		Длина волны, мм	
			слева		справа		средн.			К	Ф	К	Ф
			К	Ф	К	Ф	К	Ф					

Контрольные вопросы

1 Какова природа световых волн?
2 Указать диапазоны длин волн для красных, синих, фиолетовых лучей.
3 Что такое дифракция света?
4 Напишите условия для главных максимумов, главных минимумов и дополнительных минимумов дифракционной решетки.
5 Какого цвета линия в спектре 1-го порядка будет ближайшей к центральному максимуму?
6 Чем отличается дифракционный спектр от призматического?
7 Как изменится дифракционная картина, если изменить ширину щели, не меняя постоянной решетки?
8 Как получить соотношение (2)?
9 Определите, какова длинна волны спектра третьего порядка, совпадающего с длинной волны 750 нм спектра второго порядка?

Список литературы

1 Дик Ю.И., Кабардин О.Ф. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: 10-11 кл. - М.: Просвещение, 2002.
2Овсянов В.М., Новгородова Т.Н. Вводный практикум. Методические рекомендации и контрольные задания к выполнению лабораторных работ для студентов специальности 010400. - М.: Курган, 1997.

Тыщенко Людмила Викторовна

Введение в специальность
Методические указания по выполнению лабораторных работ
для студентов специальности 011200.62 «Физика»

Редактор А.С. Мокина

Подписано в печать 03.09.13	Формат 60*84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл.печ.л. 3,25	Уч.-изд.л. 3,25
Заказ 139	Тираж 25	Цена свободная

РИЦ Курганского государственного университета
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.