МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ФЕРГАНСКИЙ ФИЛИАЛ
ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ МУХАММАДА АЛ-ХОРАЗМИЙ

«Утверждаю»
Заместитель директора по учебной и воспитательной работе
__________ **И.Тожибоев**
«_____» ______________ 2019 год

МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ

ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

Для бакалавров по направлениям

5330500 – “Компьютерный инжиниринг”,
5350100 – “Технология телекоммуникации”,
5330300 – “Безопасность информации” (Информация, технология коммуникации и сервис),
5350400- “Профессиональное обучение в сфере ИКТ”
5330600 – “Програмный инжиниринг”.

Фергана - 2019 г

Методическое указание составлена на основе типовой программы утвержденной приказом Министерства В и ССО Республики Узбекистан от «___» ______________ 201__ года (регистрационный № ____________________________)

Методическое указание утверждена на заседание Совета Ферганского филиала ТУИТ, протокол за № 1 от «____»___________________ 2019 г.

Составители : ______________ к.ф.-м.н. К. А. Акбаров

______________ к.ф.-м.н. М. Мирзажанов

______________ ст.преп. П. Мавлонов

Рецензент: ______________ проф. С.Отажонов

Методическое указание программа обсуждена на заседание кафедры Естественных наук, протокол №1 от «___»_________________ августа 2019 г.

заведующий кафедрой ______________________ доцент С.С.Сабиров

Методическое указание программа подтверждена на заседание учебно-методического Совета факультета Компьютерный Инжиниринг, протокол №1 от «____»________________2019 г.

Декан факультета______________________З.Хамракулов

«СОГЛАСОВАНО»

Начальник учебно-методического отдела __________ Ш.Умаров

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

1.ИЗМЕРЕНИЯ-ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ.

1.1.Измерить какую-нибудь величину – значит узнать, сколько раз заключается в ней однородная величина, принятая за единицу измерения.

Измерить физическую величину абсолютно точно невозможно т.к. всякое измерение сопровождается той или иной ошибкой или погрешностью. Погрешности или ошибки измерений бывают систематические и случайные.

1.2. Систематическими называются погрешности, обусловленные одной и той же причиной, которая чаще всего известна заранее. Обычно при многократных измерениях физической величины систематическая погрешность имеет одно и тоже значение, т.е. систематически повторяется. Такие погрешности можно учесть и устранить. Например, шкала измерительной линейки неравномерна, капилляр термометра имеет в различных участках различный диаметр, стрелка амперметра при отсутствии тока через него не стоит на нуле.

Систематические погрешности в большинстве случаев можно устранить либо учитывая их в виде поправок к показаниям приборов, либо, проверив данные приборы по эталонным. Систематические ошибки можно лишь избежать при критическом отношении к методам исследования.

1.3. Случайными называются погрешности, вызванные весьма большим числом отдельных причин, действующих в каждом отдельном измерении различным образом. Каждая из этих причин заранее неизвестна. Такие ошибки можно свести к минимуму, но полностью устранить их невозможно. Случайные погрешности зависят от неточности измерительных приборов, от несовершенства наших органов чувств и от непрерывного действия изменяющихся внешних условий (изменение температуры, давления, влажности и т.д.).

Случайные ошибки устранить нельзя, но благодаря тому , что они подчиняются вероятностным закономерностям при достаточно большом числе измерений всегда можно указать пределы, внутри которых заключается истинное значение измеряемой величины.

2. Определение погрешностей при прямых измерениях.

2.1. Абсолютно точно измерить какую-либо величину невозможно, так как измерительные приборы не являются идеальными, и, кроме того, это еще связано с некоторыми особенностями наблюдателя.

Отклонение приближенного значения величины может быть и в одну и в другую сторону от действительного, поэтому для получения возможно близкого значения величины и действительному, или истинному значению находят среднее арифметическое из нескольких измерений. Скажем, что надо измерить некоторую величину. Пусть N_1 , N_2, N_3….,N_n результаты отдельных измерений данной величины. Среднее арифметическое из этих результатов, т.е.

$\overline{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + ... + N_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} N_i$, где n-число измерений

Эта величина, наиболее близкая к “истинному” значению, называемая средним значением. Отсюда следует, что каждое физическое измерение должно быть повторено несколько раз.

Разности ΔN_1, ΔN_2, $\Delta N_3, \ldots, \Delta N_n$ между средним значением измеряемой величины и значениями N_1, N_2, N_3, …, N_n полученным при отдельных измерениях, т.е.

$$\overline{N} - N_1 = \Delta N_1 \qquad \overline{N} - N_2 = \Delta N_2 \qquad \overline{N} - N_3 = \Delta N_3 \qquad - - - - - - -$$

$$\overline{N} - N_n = \Delta N_n$$

называются абсолютными ошибками, которые обозначены через Δ(прописная греческая буква “дельта”).

Зная абсолютные ошибки измерений, вычисляют сумму модулей абсолютных ошибок, т.е. сумму их абсолютных значений, не обращая внимания на их знаки, а затем определяют среднее арифметическое значение модулей которое называется средней абсолютной ошибкой $\Delta\overline{N}$, т.е.

$$\Delta\overline{N} = \frac{|\Delta N_1| + |\Delta N_2| + |\Delta N_3| + \ldots + |\Delta N_n|}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\Delta N_i| \qquad (2)$$

Для полной характеристики качества измерений определяют относительную ошибку измерений.

Относительной ошибкой измерения называется отношение средней абсолютной ошибки измерении к среднему значению измеряемой величины. Она обозначается буквой δ (строчная греческая буква “дельта”).

$$\delta = \frac{\Delta\overline{N}}{N} \qquad (3)$$

Относительные ошибки можно выражать в процентах: $\delta = \frac{\Delta\overline{N}}{\overline{N}} \cdot 100\%$

Истинное значение измеряемой величины:

$$N_{ucm} - \overline{N} \pm \Delta\overline{N} \qquad (4)$$

В лабораторных работах допускается относительная ошибка 3-5%.
Измерение величины считается достаточно качественным, если относительная ошибка не превышает 0,5%.

3.Выполнение работы.

3.1.Внимательно читают описание работы.
3.2.Знакомятся с приборами и принадлежностями, которые необходимо использовать для проведения работы, а затем приступают к установке приборов или сборке установки в соответствии с описанием.
Чаще всего работа проводится на готовой установке.
3.3. Проводят наблюдения, отсчеты. Эта часть работы является наиболее ответственной и ее надо проводить очень аккуратно и тщательно, согласно указаниям, которые даны по каждой работе для измерения и наблюдения данной физической величины. Все результаты измерений записываются в таблицу.
3.4.Обратывают результаты измерений, вычисляют измеряемую величину по формулам, дают оценку погрешностей измерения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ НА МАШИНЕ АТВУДА

Цель работы

В результате выполнения работы студент должен:

- знать смысл таких физических величин как скорость, ускорение, масса, сила, импульс, содержание трех законов Ньютона;
- уметь делать простейшие измерения и применять законы кинематики и динамики для описания движения системы связанных грузов.

Задание

1. Изучить устройство машины Атвуда и метод измерений.
2. Проверить закон пути.
3. Проверить закон скорости.
4. Проверить второй закон Ньютона.
5. Оценить точность проделанных измерений.

Описание лабораторной установки

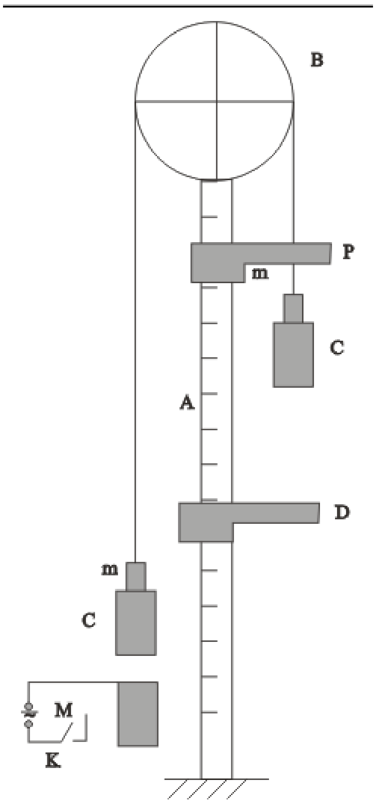


рис.1

Машина Атвуда (рис.1) состоит из длинной вертикальной стойки A с разделенной на сантиметры шкалой. Наверху стойки укреплен очень легкий, вращающийся с малым трением блок B. Через блок перекинута легкая нить с грузами C и C’ на концах, имеющими одинаковые массы m. Внизу стойки укреплен электромагнит M, который может удерживать груз C’ в нижнем положении. На стойке также имеются две платформы – верхняя P с круглым отверстием для свободного прохождения груза C (кольцевая платформа) и нижняя D (сплошная платформа), которые можно перемещать вдоль стойки A и крепить в нужных положениях стопорными винтами.

Для работы нужны два перегрузка, снимающиеся кольцевой платформой и имеющие разные массы m_1 и m_2 , в несколько раз отличающиеся друг от друга. Кроме того, имеется секундомер. Если один или оба перегрузка положить на груз C или более тяжелый перегрузок положить на груз C, а более легкий - на груз C’, удерживаемый электромагнитом, и выключить ток в электромагните, то

система начнет двигаться равноускоренно, так как действующие силы постоянные. Для наблюдения равномерного движения перегрузки надо класть только на груз С. Тогда после снятия перегрузков кольцевой платформой система начнет двигаться равномерно до удара груза С о сплошную платформу.
Если же более легкий перегрузок лежит на грузе С’, то после снятия перегрузка кольцевой платформой с груза С движение будет равнозамедленным.
По второму закону Ньютона ускорение материальной точки пропорционально равнодействующей силе, которая равна векторной сумме всех действующих на нее сил, и обратно пропорционально ее массе. Грузы движутся поступательно, и поэтому их можно считать материальными точками. Нить практически нерастяжима, и поэтому ускорения (как и скорости) грузов С и С’ отличаются только направлениями. Если предположить, что блок В невесом, то натяжение нити будет одинаково справа и слева.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

I. ПРОВЕРКА ЗАКОНА ПУТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ ТЕЛА ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ ПОКОЯ С ПОСТОЯННЫМ УСКОРЕНИЕМ $S = \frac{at^2}{2}$.

1. На груз С кладут перегрузок, замыкают цепь электромагнита и устанавливают систему в начальном положении так, чтобы груз С’ находился внизу и удерживался электромагнитом. Устанавливают сплошную платформу D на некотором расстоянии от нижнего основания груза С. Кольцевую платформу ставят выше перегрузка.
2. Выключая ток в электромагните, одновременно пускают секундомер. Он останавливается в момент удара груза С о сплошную платформу D. Опыт повторяют 5 раз. Записывают в таблицу 1 результаты измерений и вычисляют среднее время.
3. Передвигают сплошную платформу на 10 – 20 см, измеряют расстояние от нее до нижнего основания груза и снова определяют 5 раз время прохождения этого расстояния при том же перегрузке и вычисляют среднее время.

Опыт нужно проделать для трех различных расстояний.

Таблица 1

N	S_1=			S_2=			S_3=			$\vec{a} = \frac{1}{3}\sum_1^3 a$	δ
	t_{1i}	$\langle t_1 \rangle$	$\langle a_1 \rangle$	t_{2i}	$\langle t_2 \rangle$	$\langle a_2 \rangle$	t_3	$\langle t_3 \rangle$	$\langle a_3 \rangle$		
1											
:											
5											

4. При одном и том же перегрузке ускорение системы будет одинаковым (приближенно)

$$\vec{a} = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \frac{2S_3}{t_3^2}$$

5. Для оценки точности проверки закона пути при равноускоренном движении надо вычислить относительную погрешность определения ускорения из различных пройденных путей

$$\delta = \frac{<\Delta a>}{<a>} 100\% \qquad ,$$

где $< \Delta a \geq \frac{1}{2}\{|< a > -a_1| + |< a > -a_2| + |< a > -a_3|\}$

II. ПРОВЕРКА ЗАКОНА СКОРОСТИ

1. На некотором расстоянии от верхнего основания груза С помещают кольцевую

платформу Р. Ниже нее (сантиметров на 30) закрепляют сплошную платформу D. Включают ток в электромагните, устанавливают систему в начальном положении, на груз С кладут перегрузок.

2. Выключают ток в электромагните и одновременно пускают секундомер. Останавливают секундомер в момент снятия перегрузка платформой Р. Отсчитывают время t равноускоренного движения системы на пути S. Время измеряют не менее 5 раз.

3. Чтобы определить скорость, с которой верхнее основание груза проходит кольцевую платформу (скорость груза в момент снятия перегрузка), определяют скорость равномерного движения системы после снятия перегрузка кольцевой платформой. Для определения ее находят путь l при равномерном движении, равный расстоянию между платформами за вычетом высоты груза С, и время τ равномерного движения. Для определения последнего дополняют измерения пункта 2 следующим образом. Выключают ток в электромагните и одновременно включают секундомер. Секундомер останавливают в момент удара груза С о платформу D и отсчитывают время t'. Измерения времени t' повторяют не менее 5 раз для данных значений S и l. Время равномерного движения определяют как

$$< \tau > = < t' > - < t >.$$

Тогда $\qquad v = \frac{l}{t} \qquad$ и $\qquad a = \frac{v}{<t>} = \frac{l}{<\tau><t>}$

Выше описанный опыт проделывают не менее, чем для трех различных положений кольцевой платформы Р. Сплошную платформу D можно либо оставлять на месте, либо передвигать, например, на такое расстояние, чтобы сохранилось прежним l.

Результаты измерений записывают в таблицу 2.

Таблица 2

№№	S_1=			l_1=		$< a > = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$	$< \Delta a >$
	t'$_1$	t_1	<τ>	$v_1 = \frac{l_1}{\tau_1}$	$a_1 = \frac{v_1}{< t_1 >}$		
1							
:							
5							
	<t'>	<t >					

Аналогично для S_2 , l_2 и S_3, l_3 .

4. При одном и том же перегрузке ускорение системы одинаково. Поэтому имеет место соотношение (приближенно)

$$a_1 = \frac{v_1}{< t_{1>}} = \frac{v_2}{< t_2 >} = \frac{v_3}{< t_3 >}$$

Если перегрузок в первом и во втором опытах один и тот же, то $a_1 + a_2 + a_3$ (приближенно).

5. Оценку точности определения ускорения надо сделать аналогично пункту 5 предыдущей части I.

III. ПРОВЕРКА ВТОРОГО ЗАКОНА НЬЮТОНА

На машине Атвуда можно изменять движущую силу, не меняя массы движущейся системы, если перекладывать перегрузки с одного груза на другой. Для проверки основного закона динамики нужно иметь два различных перегрузка.

1. Поднимают кольцевую платформу выше начального положения груза С с перегрузками и устанавливают сплошную платформу на некотором расстоянии S от нижнего основания груза С.

2. Замыкают цепь электромагнита, устанавливают в начальное положение грузы и кладут оба перегрузка на правый груз С.

3. Размыкают ток в электромагните и одновременно пускают секундомер. Останавливают секундомер в момент удара груза С о сплошную платформу D. Измеряют время t 5 раз.

Для этого случая $$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2} \qquad (1)$$

и $$m_c a_1 = (m_1 + m_2)g = F_1 , \qquad (2)$$

где $$m_c = 2m + m_1 + m_2 .$$

Записывают все значения t_1 и квадрат их среднего значения $< t_1 >^2$, а также S_1 в таблицу 3.

4. Повторяют пункты 1, 2, 3 для других значений $S_1{}'$ и $S_1{}''$ и записывают результаты измерений в таблицу 3.

5. Все проведенные измерения повторяют для случая, когда более легкий перегрузок $(m_2 < m_1)$ положен на левый груз С', а более тяжелый на правый груз С. Для этого случая

$$S_2 = \frac{a_2 t_2^2}{2}, \qquad (3)$$

$$m_c a_2 = (m_1 - m_2)g = F_2 \ . \qquad (4)$$

Записывают результаты измерений в правую половину таблицы 3, находят среднее значение времени $< t_2 >$ по пяти измерениям и $< t_2 >^2$.

6. Из (1) и (3) имеем

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2} \qquad (5)$$

а из (2) и (4) получим

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2} \qquad (6)$$

Если измерения покажут равенство правых частей уравнений (5) и (6), то равны и левые. Следовательно, найденное из опытов отношение ускорений (5) такое же, как вычисленное по второму закону Ньютона (2,4).

Для этого по результатам измерений находят отношение $\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$- шесть разных комбинаций или три. Все они должны быть примерно равны между собой и близки к отношению $\frac{F_1}{F_2}$.

Таблица 3

№№	Для $F_1 = (m_1 + m_2)g$			Для $F_2 = (m_1 - m_2)g$			$\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$	$\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}$	δ
	S_1	t_1	$<t_1>^2$	S_2	t_2	$<t_2>^2$			
1									
:									
5									

……………….сред...............................сред...и т.д.

То же для S_1'' и S_2''.

№№	Для $F_1 = (m_1 + m_2)g$			Для $F_2 = (m_1 - m_2)g$			$\frac{S_1 < t'_2 >^2}{S_2 < t'_1 >^2}$	$\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}$	δ’
	S'_1	t'_1	$<t'_1>^2$	S'_2	t'_2	$<t'_2>^2$			
1									
:									
5									

<table>
<tr><td rowspan="2">№№</td><td colspan="3">Для
$F_1 = (m_1 + m_2)g$</td><td colspan="3">Для
$F_2 = (m_1 - m_2)g$</td><td>$\frac{S_1 < t''_2 >^2}{S_2 < t''_1 >^2}$</td><td>$\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}$</td><td>δ’’</td></tr>
<tr><td>S''_1</td><td>t''_1</td><td>$<t''_1>^2$</td><td>S''_2</td><td>t''_2</td><td>$<t''_2>^2$</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>1</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>:</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5</td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

Надо вычислить отношения

$$\delta = \frac{\left(\left|\frac{m_1+m_2}{m_1-m_2}\right| - \frac{S_1<t_2>^2}{S_2<t_1>^2}\right)}{\frac{m_1+m_2}{m_1-m_2}} \qquad (7)$$

и среднее значения их, умноженное на 100 %

$$<\delta> = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \delta_i \cdot 100\%$$

Для упрощения вычислений опыт можно проводить так, чтобы $S_1 = S_2,\ S_1' = S_2',\ S_1'' = S_2''$, то есть после пункта 3 выполнять 5 и т.д. Расстояния могут быть, конечно, и разные, но тогда они в формулах (5) и (7) не сократятся.

Контрольные вопросы

1. Какое движение твердого тела называют поступательным? Что такое материальная точка? Почему поступательное движение твердого тела можно рассматривать как движение материальной точки?
2. Что такое траектория, перемещение, скорость и ускорение?
3. Что такое сила, импульс силы, момент силы? Что такое равнодействующая сила? Сформулируйте три закона Ньютона.
4. Что такое масса? Какую величину называют импульсом материальной точки? Как формулируется основной закон динамики?
5. Какие системы отсчета являются инерциальными? Что такое силы инерции и для чего их вводят?
6. Расскажите об устройстве машины Атвуда. Как на ней наблюдать равномерное, равноускоренное, равнозамедленное движение грузов?
7. Как на машине Атвуда проверяется формула пути при равноускоренном движении?
8. Как на машине Атвуда проверяется закон скорости при равноускоренном движении?
9. Как с помощью машины Атвуда можно проверить второй закон Ньютона?

4.4.Определяют высоту h_2, на которую груз поднимается по инерции.
4.5.Опыт повторяют для других различных грузов.
4.6.Данные измерения заносят в таблицу и, подставляя в формулу (14) и (19), определяют силу трения и момент инерции маховика.

№	m, кг	h_1, м.	H_2, м.	T, с.	f, Н.	Δf	δ,%	I,кгм^2	ΔI	δ, %
1. 2. 3. 4.										
с⁄з	х	х	Х	х			Х			х

5.Контрольные вопросы.

5.1. Что называется моментом инерции? В каких единицах он измеряется?
5.2. На основе какого закона выведена расчётная формула?
5.3. Каков будет характер движения махового колеса при отсутствии трения?
5.4. На каких участках движение груза является равноускоренным, а на каких
равнозамедленным?
5.5. Как определить линейное ускорение груза и угловое ускорение колеса?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МАХОВОГО КОЛЕСА И СИЛЫ ТРЕНИЯ В ОПОРЕ

1. Приборы и принадлежности.

1.1. Маховое колесо, электросекундомер, масштабная линейка, штангенциркуль.

2. Теоретическое обоснование

2.1. При рассмотрении вращения твёрдого тела понятие о силах заменяется понятием о моментах сил, понятие о массе – понятием о моменте инерции. Рассмотрим движение материальной точки массой m по окружности радиуса r (рис.1).

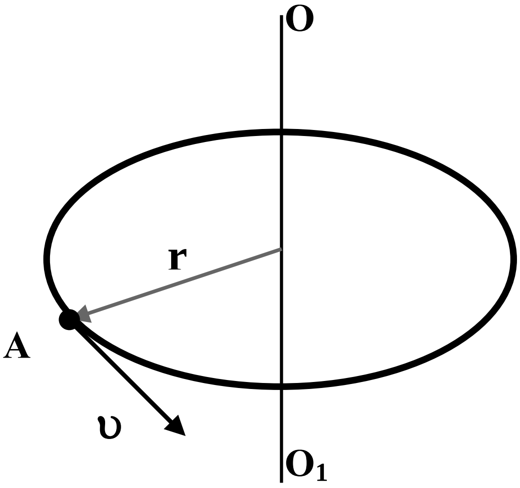


Рис.-1

Точка движется под действием постоянной силы f, направленной по касательной к окружности. Тогда эта сила сообщает точке постоянное тангенциальное ускорение a_τ и определяется по формуле

$$f = m \cdot a_\tau \quad (1)$$

Угловое ускорение связано с тангенциальным ускорением зависимостью

$$\varepsilon = \frac{\alpha_\tau}{r} \quad (2)$$

Тогда

$$f = mr\varepsilon \quad (3)$$

Умножив обе части уравнения (3) на r, получим

$$fr = mr^2 \cdot \varepsilon \quad (4)$$

Величина $M = f \cdot r$, численно равная произведению силы на длину, перпендикулярно опущенного из центра вращения на линию действия силы, называется моментом вращения.

Величина $J = mr^2$, численно равная произведению массы материальной точки на квадрат расстояния от её центра вращения, называется моментом инерции точки.

2.2. Для твёрдого тела момент инерции выражается суммой моментов инерции всех точек, образующих вращающееся тело:

$$J = \sum_{i=1}^{h} m_i r_i^2 . \quad (5)$$

Основной закон динамики вращательного движения записывается в виде:

$$M = J \cdot \varepsilon \quad (6)$$

Вращающийся момент силы прямо пропорционален произведению момента инерции тела на сообщённое телу угловое ускорение.

2.3. Одним из простых методов определения момента инерции является динамический, основанный на применении к вращающемуся телу закона сохранения энергии. При подъёме груза массой m на некоторую высоту h_1, полная энергия системы определяется законом потенциальной энергии поднятого груза.

$$E_n=mgh_1 , \tag{7}$$

где g – ускорение свободного падения.

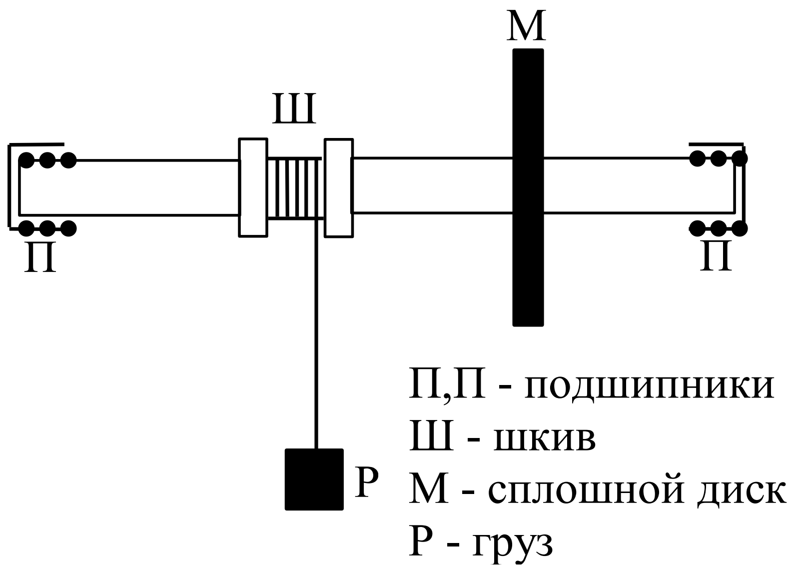


Рис. 2

Если этот груз подвесить к нити, намотанной на шкив, к которому прикреплено маховое колесо, то он будет падать, заставляя вращаться колесо со шкивом (рис.2).

Падающий груз будет обладать кинетической энергией

$$E_{k1}=\frac{m\upsilon^2}{2} \tag{8}$$

где υ - скорость падения груза.

Вращающаяся система так же будет обладать кинетической энергией

$$E_{k2}=\frac{J\omega^2}{2} \tag{9}$$

где ω - угловая скорость системы.

Кроме того, в подшипниках возникает сила трения, работа по преодолению которой равняется.

$$A=f\cdot h_1 \tag{10}$$

где f - сила трения в подшипниках.

Потенциальная энергия E_n расходуется на увеличение кинетической энергии системы $E_{k1}+E_{k2}$ и на преодоление силы трения. По закону сохранения энергии:

$$mgh_1 = \frac{m\upsilon^2}{2}+\frac{I\omega^2}{2}+ fh_1 \tag{11}$$

Уравнение (11) справедливо для самого низкого положения груза.

Когда груз подойдёт к нижней точке, маховое колесо по инерции будет продолжать вращение и груз поднимается на высоту h_2.

На высоте h_2 система будет обладать потенциальной энергией

$$E_{n_2} = mgh_2 \tag{12}$$

Убыль потенциальной энергии $E_{n1} – E_{n2}$ равна работе сил трения.

Учитывая (7) и (12) и работу по преодолению сил трения на пути h_1, h_2, получим уравнение

$$mgh_1 - mgh_2 = f(h_1 - h_2) \qquad (13)$$

Откуда сила трения

$$f = mg\,\frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \qquad (14)$$

Преобразуем решение (11) и получим формулу для определения момента инерции. При падении груза с высоты h_1 система участвует в равноускоренном движении, следовательно

$$\upsilon = a\,t\ , \qquad (15)$$

где a – ускорение; t – время, в течении которого изменяется скорость υ, т.е. время опускания груза. С другой стороны

$$h=\frac{a\,t^2}{2}\ , \qquad \text{тогда} \qquad \upsilon = \frac{2h_1}{t} \qquad (16)$$

Угловая скорость

$$\omega=\frac{\upsilon}{r}\ , \qquad (17)$$

где r – радиус шкива.

Из (16) и (17) получим

$$\omega = \frac{2h_1}{rt}\ . \qquad (18)$$

Подставляя (14), (16), (18) в уравнение (11), и решая его относительно момента инерции, находим

$$J = m\,r^2\left(gt^2\,\frac{h_2}{h_1(h_1 - h_2)} - 1\right) \qquad (19)$$

3. Описание установки.

3.1. Прибор для определения момента инерции и силы трения в подшипниках состоит на сплошного диска М, скреплённого с валом и осью вращения в подшипниках П. (рис.2). На шкив Ш наматывается нить, к которой подвешен груз Р. Груз опускаясь под действием силы тяжести, приводит во вращение систему диск-шкив. Дойдя до нижней точки, груз поднимается на некоторую высоту за счет сил инерции вращательного движения.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Радиус шкива измеряется штангенциркулем.

4.2. На шкив Ш наматывается нить ровным слоем и подвешивают к её концу груз, удерживая маховое колесо неподвижным. Освобождают колесо и пускают электросекундомер.

4.3. Когда груз придёт в крайнее нижнее положение, останавливают секундомер и производят отсчет времени падения груза. Параллельно определяют высоту падения груза h_1.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

1. Приборы и принадлежности

1.1.Прибор для определения модуля упругости, набор грузовой, масштабная линейка, штангенциркуль.

2. Теоретическое обоснование.

2.1.Под действием внешней силы, приложенной к твёрдому телу, изменяется его форма и объём. Изменение форма и объёма твердого тела под действием внешней силы называется деформации растяжения, сжатия, сдвига кручения и изгиба.

Величина деформации тела оценивается отношением изменения размера и его первоначальному размеру. Это отношение называется относительно деформацией:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell}$$

При действии на твердые тела различных но величине сил, деформация будет неординарной.

Отношение силы (в данном случае Р). Вызывающей деформацию к площади поперечного сечения называется механическим напряжением

$$\delta = \frac{\ell}{\mathrm{B}}$$

Упругие деформации твердых тел подчиняются закон: Гука, выражающему пропорциональность деформации, т.е.

$$\delta = \mathrm{E} \cdot \varepsilon$$

где Е – модуль упругости

Величина модуля упругости зависит от материла, из которого изготовлено тело. Модуль упругости называется модулем Юнга . модуль Юнга можно определить, пользуясь выражением

$$\mathrm{E} = \frac{\delta}{\varepsilon} \;\; \textit{или} \;\; \mathrm{E} = \frac{\frac{\mathrm{P}}{2}}{\frac{\Delta\varepsilon}{\ell}}$$

где В – площадь поперечного сечения стержня:

$\Delta\ell$- увеличение его длины под действием силы Р:

ℓ- первоначальной длина стержня.

Численно модуль Юнга равен величине нагрузки, которую надо приложить к образцу с единичной площадью поперечного сечения, чтобы удвоить его длину.

В данном работе модуль упругости определяется методом изгиба стержня. Если прямой упругий стержень неподвижно закрепить одним концом в твердой неподвижной стрелке (рис.1,2), а другой конец нагрузить грузом Р, то в тот конец опустится, т.е. стержень согнется.

Легко понять, что при изгибе верхние слои будет растягиваться, а нижние – сжиматься, а некоторый средний блок, который называют нейтральным слоим, сохранит длину и только претерпит искривление.

I – индикатор; 2- стержень; 3- чаша.

Перемещение λ, которое получает свободный конец стержня, называется стрелой прогиба. Стрела прогиба будет тем больше, чем больше, чем больше нагрузка и, кроме того, она должна зависеть от формы и размеров стержня и от его модуля упругости. Для стержня длины L , ширины а и высоты 6 стрела прогиба выражается формулой

$$\lambda = \frac{4PL^3}{Eaa^3} \qquad (2)$$

Откуда

$$E = \frac{4PL^3}{ав^3 A}.$$

3. Порядок выполнения работы

3.1. Измеряется толщина в и ширина α стержня.

3.2. Чашка с грузом устанавливается на расстоянии L от точки опори стержня.

3.3. Индикатор устанавливается на расстоянии L от точки опоры стержня.

3.4. На чашку ставят груз P и записывают показания индикатора

3.5. Стрелку прогиба стержня, где подвешен груз (рис.1) находим по формуле

$$\frac{\lambda}{\lambda^1} = \frac{L}{L^1} \qquad \textit{или} \qquad \lambda = \lambda^1 \cdot \frac{L}{L^1} \qquad (4)$$

3.6. В формулу (3) ставят значения а,в,Р,λ и вычисляют модуль упругости Е.

3.7. Изменяя расстояние, и при различных грузах опыт повторяют несколько раз и данные заносят в таблицу.

Примечание: L,a,в, λ измеряют в миллиметрах, а P в кг.

№ опыта	Р,кг	а,мм	в,мм	L,мм	λ_1мм	Е,кг/м $м^2$	ΔЕ	Б,%
1. 2. 3. 4. 5.								
Среднее ! Значение	X	X	X	X	X			X

4. Контрольные вопросы.

1. Что такое деформация ?
2. Расскажите закон Гука .
3. Что такое стрелка прогиба ?
4. Расскажите порядок выполнения работы .

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

1.Приборы и принадлежности.

1.1.Маятник Обербека, электромагнит, электросекундомер, штангенциркуль, набор грузов, масштабная вертикальная стойка.

2.Теоретическое обоснование.

2.1.Момент инерции тела может быть определён из второго закона динамики вращательного движения

$$M=I\cdot\varepsilon\ . \qquad (1)$$

Таким образом, определение момента инерции I вращающегося тела можно свести к измерению действующего на тело момента силы и сообщённого этому телу углового ускорения ε. Для измерения этих величин применяют крестообразный маятник Обербека (рис.1).

Маятник представляет собой крестовину с четырьмя грузами на концах, скрепленную на одной оси со шкивом, на шкив наматывается нить, к концу которой прикреплён груз.

Поскольку непосредственное измерение крутящегося момента и углового ускорения затруднено, то эти величины заменяют другими более доступными для измерения.

Если груз, подвешенный к нити, падает с высоты h за время t, то

$$h=\frac{at^2}{2}\ , \qquad (2)$$

где a – линейное ускорение на ободе шкива.

Известно, что

$$\varepsilon=\frac{a}{r} \qquad (3)$$

где r –радиус шкива.

Определив из (2) линейное ускорение и подставив его в формулу (3), найдём

$$\varepsilon=\frac{2h}{t^2\cdot r} \qquad (4)$$

Вращающий момент найдём как произведение силы, действующей на шкив, и равной натяжению нити (если пренебречь силой трения) на радиус шкива, т.е.

$$M=F\cdot r\ ,$$

где F-сила натяжения нити.

Сила натяжения нити равна разности между весом подвешенного груза и движущей силой.

$$F=mg-ma\ ,$$

где m-масса подвешенного к нити груза.

Тогда

$$M=(mg-ma)\cdot r=m(g-a)\cdot r\ . \qquad (5)$$

Подставляя ускорение a из (2) в (5), получим

$$M=m\left(g-\frac{2h}{t^2}\right)\cdot r\,. \qquad (6)$$

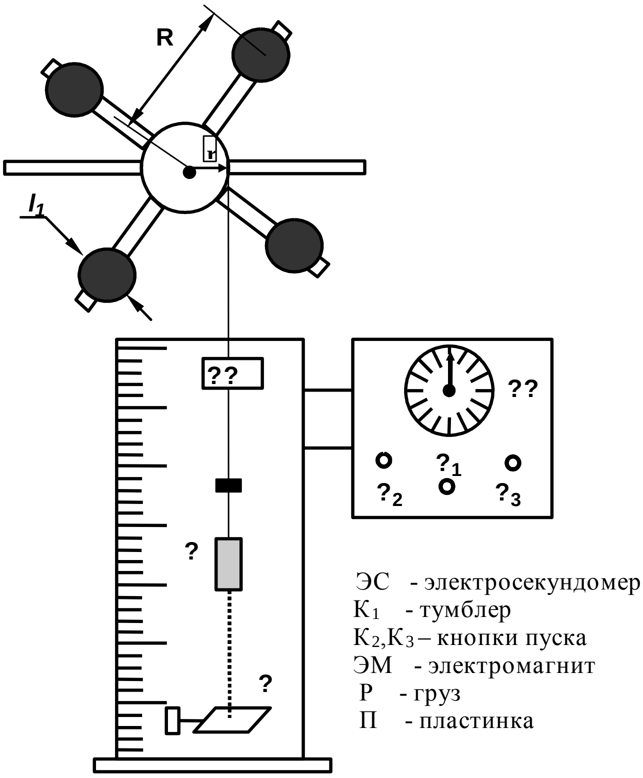


Рис.1

Учитывая (4) и (6) из уравнения (1), находим

$$I=\frac{m\left(g-\frac{2h}{t^2}\right)\cdot r^2t^2}{2h}, \qquad (7)$$

где I – момент инерции маятника с 4-мя грузами;
g – ускорение силы тяжести;
h – высота падения груза;
t – время падения груза;
r – радиус шкив.

2.2. Момент инерции маятника можно найти следующим образом. Если момент инерции крестовины I_0, то момент инерции всего маятника может быть найден как сумма моментов инерции крестовины и четырёх грузов на её концах:

$$I=I_0+I_1\,, \qquad (8)$$

где I_0-момент инерции крестовины;
I_1-момент инерции грузов.

Момент инерции крестовины находится по известной формуле

$$I_0=\frac{4}{3}m_0\ell_0^2\,, \qquad (9)$$

где m_0-масса одного стержня;
ℓ_0-длина одного стержня.

Так как грузы имеют форму сплошного диска с радиусом R_1, момент инерции грузов относительно оси вращения маятника по теореме Штейнера

$$I_1 = 4\cdot\frac{1}{2}m_1\ell_1^2 + 4m_1R_1^2 \quad , \tag{10}$$

где m_1-масса одного груза;

ℓ_1-расстояние от оси вращения до центра грузов;

R_1-радиус одного груза.

Подставляя (9) и (10) в выражение (8), окончательно находим:

$$I=\frac{4}{3}m_0\ell_0^2 + 2m_1\left(\ell_1^2 + 2R_1^2\right) \tag{11}$$

3. Измерения и порядок выполнения работы.

3.1. Штангенциркулем измеряется радиус шкива r.

3.2. На чашку массой m_1 кладется груз массой m_2 и записывается общая масса ($m=m_1 + m_2$).

4.4.Электромагнит (ЭМ) установки включается в электрическую сеть через тумблер $К_I$.

3.4. Нитка наматывается на шкив и чашка устанавливается на начальной высоте h, отсчёт берётся по вертикальной доске, приклеенной миллиметровой бумагой.

3.5. Нажимаются одновременно кнопки электросекундомера $К_I$ и $К_2$. При этом груз отрывается от электромагнита и начинает двигаться вниз. При достижении грузом Р пластинки П, электросекундомер автоматически отключается от ости и останавливается. Время t, затраченное на прохождение расстояния h, отсчитывается по электронному секундомеру.

3.6. Опыт повторяется несколько раз с разными грузами. Полученные данные записываются в таблицу (все в системе СИ), и по формуле (7) вычисляется момент инерции.

3.7. Используя данные: m_1=0,1725кг, ℓ_1=0,1105м, R_1=0,0225м, m_0=0,0588кг, ℓ_0=0,133м, по формуле (11) вычисляется момент инерции и сравнивается со средним значением $I_{ср}$, вычисленным по формуле (7) на основе проведенных опытов.

№ опыта	r, м	m,кг	h, м	t, с	I, кг.м^2	ΔI	δ , %	I ,кг·м^3
1. 2. 3.								
Среднее Значение	X	X	X	X			X	X

4.Контрольные вопросы.

4.1.Что называется моментом инерции и в каких единицах измеряется ?

4.2.Как определить момент инерции крестовины, не снимая с неё груза?

4.3.Какой закон положен в основу вывода расчётной формулы?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕЛ МЕТОДОМ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Принадлежности: трифилярный подвес, исследуемые тела, секундомер

Гармоническим крутильным колебанием тела называется периодическое движение относительно оси, проходящей через центр тяжести этого тела, когда угол отклонения от положения равновесия изменяется по закону синуса или косинуса. Например,

$$\alpha = \alpha_0 \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t. \qquad (1)$$

Моменты инерции различных тел могут быть измерены методом крутильных колебаний с помощью так называемого трифилярного подвеса. Трифилярный подвес состоит из диска массой m радиуса R (рис.1), подвешенного на трех симметрично расположенных металлический нитях. Наверху эти нити симметрично закреплены по краям диска меньшего радиуса r. При повороте верхнего диска на небольшой угол α_0 вокруг вертикальной оси, перпендикулярной к плоскости диска и проходящей через его центр, все три нити принимают наклонное положение, центр тяжести системы несколько приподнимается по оси вращения. Нижний диск начнет совершать крутильные колебания, период которых будет зависеть от момента инерции системы. На оси вращения прибора несколько ниже диска укреплено зеркальце. Поворот диска определяется с помощью светового луча, отраженного от зеркальца и спроектированного на шкалу. При отклонении верхнего диска на некоторый угол нижний начинает совершать крутильные колебания. Резкий поворот верхнего диска осуществляется натяжением шнура, не показанного на рисунке.Этим почти полностью исключаются некрутельные колебания.

Пусть при вращении диск поднялся на высоту $h=h_1 - h_2$ (рис.1). Тогда приращение потенциальной энергии равно

$$\Delta E_П = mgh.$$

При вращении диска в другую сторону потенциальная энергия переходит в кинетическую энергию вращательного движения

$$E_k = \frac{1}{2} J\omega^2.$$

В момент прохождения положения равновесия кинетическая энергия принимает максимальное значение. Пренебрегая трением, можно записать:

$$mgh = \frac{1}{2} J\omega_{\max}^2 \qquad (2)$$

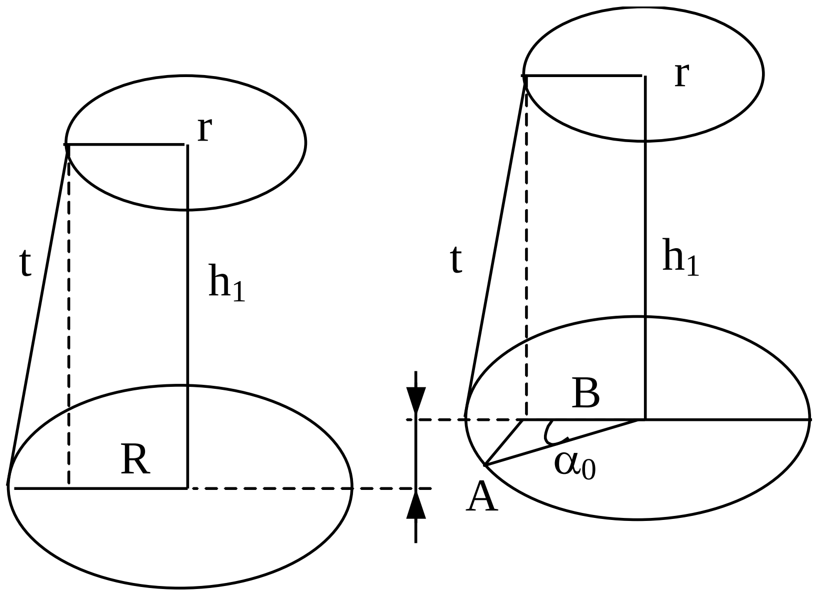


Рис. 1

Угловую скорость диска можно найти взяв производную от угла α по времени t:

$$\omega = \frac{d\alpha}{dt} = \frac{2\pi\alpha_0}{T} \cdot \cos\frac{2\pi}{T} t .$$

Очивидно

$$\omega_{\max} = \frac{2\pi\alpha_0}{T} \tag{3}$$

Найдем величину h при повороте диска на угол α_0, считая, что $h_1+h_2 \approx 2\ l$:

$$h=h_1 - h_2=\frac{h_1^2 - h_2^2}{h_1 + h_2} \approx \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l} \tag{4}.$$

Из рис. 1 ясно, что

$$h_1^2 = l^2 - (R - r)^2 \quad и \quad h_2^2 = l^2 - (AB)^2 =$$
$$= l^2 - (R^2 + r_2 - 2Rr \cdot \cos\alpha_0)$$

Подставля значение h_1^2 и h_2^2 в (4), получим:

$$h = \frac{2Rr(1 - \cos\alpha_0)}{2l} = \frac{4Rr \cdot \sin^2 \frac{\alpha_0}{2}}{2l} .$$

Вследствие малости угла α_0 синус можно заменить аргументом:

$$h = \frac{2Rr\alpha_0^2}{2l} \tag{5}$$

Подставляя выражение (3) и (4) в формулу (2), получим окончательно:

$$J = \frac{mgRr}{4\pi^2 l} T^2. \tag{6}$$

Работу выполняют в следующем порядке.

1. Определяют момент инерции ненагруженного диска, для чего сообщают диску вращательный импульс и секундомером измеряют 20-30 полных колебаний, следя по шкале за отклонением зайчика. Вычисляют период одного колебания T. Зная величины l, R, r и m, находят по формуле (6) момент инерции диска J_0.

2. Помещают на диск исследуемое тело массой m_1, так, чтобы равномерное натяжение нитей не нарушилось. Повторяя измерения, находят по формуле (6) момент инерции системы J_1. Так как момент инерции – величина аддитивная, то $J_1=J_0 + J$. Вычисляют момент инерции данного тела:

$$J_1=J_1 - J_0.$$

3. Проверяют теорему Штейнера, пользуясь двумя одинаковыми телами. Для этого определяют момент инерции одного тела J_2, установленного таким образом, чтобы ось вращения проходила через его центр тяжести (рис.2, а). Сдвигают тело на некоторое расстояние а и устанавливают симметрично такое же тело для сохранения горизонтального положения диска (рис. 2, б). Снова определяют момент инерции системы J_3.

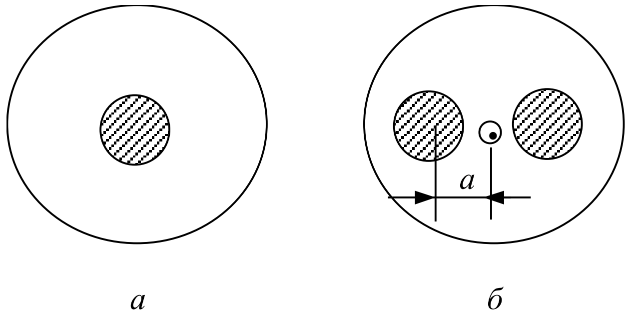


Рис.2.

Обозначим момент инерции одного из грузов относительно оси вращения трифилярного подвеса через J_4. Момент инерции системы равен $J_3=J_0 + 2J_4$, откуда

$$J_4 = \frac{J_3 - J_0}{2}.$$

Сравнивают полученное значение с вычисленным по теореме Штейнера: $J_4=J_2 + m_1a^2$ (расстояние а измеряют штангенциркулем). Вычисляют погрешности.

Контрольные вопросы

1. В чем отличие крутильных колебаний от колебаний физического маятника ?
2. Почему натяжение нитей трифилярного подвеса должно быть одинаковым ?
3. Сформилируйте теорему Штейнера.
4. Под действием какой силы трифилярный подвес совершает крутильные колебания ?
5. Какие колебания называются гармоническими и какими параметрами они характеризуются?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОШЕНИЯ ТЕПЛОЁМКОСТЕЙ ГАЗА
МЕТОДОМ КЛЕМАНА –ДЕЗОРМА

1.Приборы и принадлежности.

1.1.Прибор Клемана-Дезорма, манометр, насос.

2.Теоретическое обоснование.

2.1. Теплоёмкость газов. Состояние газа может быть охарактеризовано тремя величинами параметрами состояния: давлением F, объёмом V, температурой Т. Уравнение, связывающее эти величины, называется уравнением состояния вещества. Уравнение Клайперона-Менделеева, которое для одного моля газа имеет вид

$$PV=RT\ , \tag{1}$$

где R – универсальная газовая постоянная.

Величина теплоёмкости газов зависит от условий нагревания. Выясним эту зависимость, воспользовавшись уравнением состояния (1) и первым началом термодинамики, которое можно сформулировать следующим образом: количество теплоты dQ, переданное системе, затрачивается на увеличение её внутренней энергии du и на работу dA , совершаемую системой против внешних сил

$$dQ=dU+dA\ . \tag{2}$$

По определению теплоёмкости

$$C=\frac{dQ}{dt}=\frac{dU}{dT}+\frac{dA}{dT} \tag{3}$$

Из уравнения (3) видно, что теплоёмкость может иметь различные значения в зависимости от способов нагревания газа, так как одному и тому же значению могут соответствовать различные значения dU и dA. Элементарная работа dA равна

$$dA=P\cdot dV$$

Рассмотрим основные процессы, протекающие в идеальном газе при изменении температуры, когда масса газа остаётся неизменной и равна одному молю. Количество теплоты, необходимое для нагревания одного моля газа на 1^0с определяется молярной теплоёмкостью.

2.2.Изохорический процесс. Процесс называется изохорическим, если объём тела при изменении температуры остаётся постоянным, т.е. V=const. В этом случае dV=0. Следовательно, dA=0 ,т.е. при этом вся подводимая к газу теплота идёт на увеличение внутренней энергии. Тогда из уравнения (3) следует, что молярная теплоёмкость газа при постоянном объёме равна

$$C_v=\frac{du}{dT} \tag{4}$$

2.3.Изобарический процесс. Процесс протекающий при постоянном давлении (P=const), называется изобарическим. Для этого случая формула (3) переписывается в виде:

$$C_p = \frac{du}{dT} + P\frac{dv}{dT} \qquad (5)$$

из уравнения (1) получаем:

$$PdV+Vdp=RdT \qquad (6)$$

Но P= const и dp=0. Следовательно, PdV=RdT. Подставляя это выражение в уравнение (5) и заменяя dU через $C_v dT$, получим окончательно

$$C_p=C_v+R \qquad (7)$$

2.4. Изотермический процесс. Изотермическим процессом называется процесс, протекающий при постоянной температуре (T=const).

В этом случае dT=0 и dQ=dA, т.е. внутренняя энергия газа остаётся постоянной и всё подводимое тепло расходуется на работу.

2.5. Адиабатический процесс. Процесс, протекающий без теплообмена с окружающей средой, называется адиабатическим. Первое начало динамики будет иметь вид (dQ=0 dU+dA=0):

$$dA=-dU=-C_v dT,$$

т.е. при адиабатическим процессе (расширения или сжатия) работа совершается газом только за счёт изменения запаса внутренней энергии. Выведен уравнение адиабатического процесса (уравнение Пуассона):

$$dA= dU$$

но $\quad dA=PdV$ и $dU =C_v \cdot dT$,

значит, $\quad PdV=-C_v \cdot dT$

(8)

Разделив уравнение (6) на (7), получим

$$1+\frac{v}{p}\cdot\frac{dp}{dv} = -\frac{c_p \cdot c_v}{c_v} \qquad \text{или} \qquad \frac{d\ell}{p} = -\gamma\frac{du}{v},$$

где $\quad \gamma=\frac{c_p}{c_v}$

Интегрируя и потенцируя, получим уравнение Пуассона:

$$PV^{\gamma}=\text{const}.$$

3.Определение $\frac{C_p}{C_v}$ для воздуха.

3.1.Величину $\frac{c_p}{c_v}$ можно определить с помощью прибора Клемана-Дезорма, состоящего из теплоизолированного баллона А с воздухом, насоса, водяного манометра К (рис.1). В баллон при закрытом кране закачивается воздух. Давление воздуха в баллоне повысится и станет равным

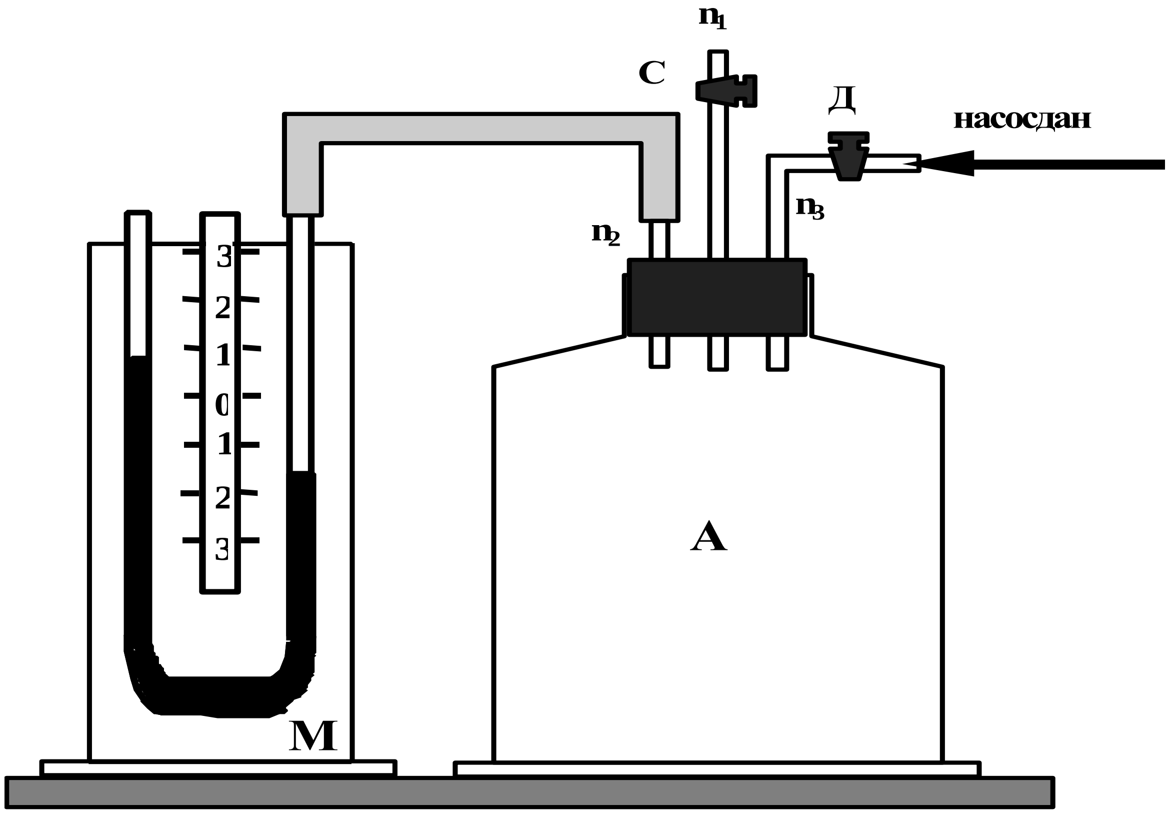
$$P_i=H+h,$$

где P_i – избытом давления воздуха в баллоне над атмосферным давлением на короткое время края С, чтобы давление в баллоне сравнялось с атмосферным (P_2=H), после чего закрывают кран.

Пусть масса воздуха после накачивания насосом в сосуде в объёме V равна m. При открывание крана часть воздуха выходит. Обозначим массу вышедшего воздуха через Δm, тогда масса оставшегося воздуха

$$m_1=m-\Delta m$$

Масса воздуха m_1, которая заключается в объёме V, занимали перед открытием крана мольный объём V_1 т.е. Процесс кратковременный и заметного теплообмена между газом и стенками баллона нет, то его можно считать адиабатическим.



1-рис

Согласно уравнению Пуассона (для массы газа равной m_1) получим

$$P_1V_1\gamma=P_2V_2^{\gamma} \tag{9}$$

При адиабатическом расширении газа температура его охлаждается, а затем в результате теплообмена температура газа через небольшой промежуток времени станет равной комнатной. При этом давление газа поднимется до величины:

$$P_3=H+h_2$$

Начальное и конечное состояние газа наблюдается при одинаковой температуре. Поэтому на основании закона Боиля-Мариотта получим:

$$P_1V_1=P_3V \tag{10}$$

Решая уравнения (9) и (10) относительно γ, получим :

$$\gamma=\frac{\ell qp_1-\ell qp_2}{\ell qp_1-\ell qp_3} \tag{11}$$

Разложив ℓqp_1 и ℓqp_3 в ряд Тейлора, ограничившись в этой случае двумя членами:

$$\ell qp_1 = \ell q(H + h_1) = \ell qH + \frac{h_1}{H} + \ldots,$$

$$\ell qp_3 = \ell q(H + h_2) = \ell qH + \frac{h_2}{H} + \ldots,$$

Подставляя эти значения в формулу (11), получим окончательно

$$\gamma = \frac{h_1}{h_1 - h_2} \qquad (12)$$

4. Порядок выполнения работы.

4.1.Накачивают насосом немного воздуха. При закачивании воздух, сжимаемый под поршнем насоса нагревается, следовательно, необходимо выждать 2-3 мин. пока благодаря теплообмену температура в баллоне не станет равной комнатной. После этого измеряют манометром избыточное давление воздуха h_1 .4.2. Открывать кран С, и когда уровни жидкости в обоих коленах манометра М сравняются, быстро закрывают кран С. Выждав 2-3 мин. (газ, охлажденный при адиабатическом расширении нагревается до комнатной температуры), измеряют избыточное давление h_2 . Следует помнить, что h_1 и h_2 отсчитываются как разность высот жидкости в обоих коленах U-образного манометра.

4.3. Подставляя в формулу (12) значения h_1 и h_2 взятого из каждого отдельного опыта, вычисляют среднее значение γ.

4.4.Все полученные опытом и вычислением результата измерений записываются в таблицу.

№ опыта	h_1, см.	h_2 , см.	γ	$\Delta\gamma$	δ , %
1. 2. 3.					
ср.зн.	X	X			X

1. Контрольные вопросы.

1. Почему теплоёмкости газа зависят от способов и условий нагревания?
2. Почему C_p больше, чем C_v ?
3. Какой процесс называется адиабатическим?
4. Что называется молярной теплоёмкостью газов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

1. Приборы и принадлежности.

4.5.Стеклянный цилиндрический сосуд с исследуемой жидкостью, микрометр, масштабная линейка, электросекундомер, стальные шарики.

2. Теоретическое обоснование.

2.1. Понятие о вязкости.

При движении жидкости между её слоями возникают силы внутреннего трения, действующие таким образом, чтобы уравнять скорости всех слоев.
Природа этих сил заключается в том, что слои, движущиеся с разными скоростями, обмениваются молекулами. Молекулы из более быстрого слоя передают более медленному количество движения, вследствие чего последний начинает двигаться быстрее.

Молекулы более медленного слоя получают в быстром слое некоторое количество движения, что приводит к его торможению.
Рассмотрим жидкость, движущуюся в направлении оси X (рис.1)

Пусть слои жидкости движутся с разными скоростями. Не оси возьмём две точки, находящиеся на расстояние $d\ell$. Скорости потока отличаются в этих точках на величину $d\upsilon$.
Отношение $d\upsilon/d\ell$ характеризует изменение скорости потока в направлении оси Z и называется градиентом скорости.

Сила внутреннего трения (вязкости), действующая между двумя слоями, пропорциональна площади их соприкосновения и градиенту скорости:

$$f=\eta\cdot\frac{d\vartheta}{d\ell}\cdot\Delta S \qquad (1)$$

Величина η называется коэффициентом внутреннего трения или коэффициентом динамической вязкости. Если в формуле (1) положить численно $\frac{d\vartheta}{d\ell}=1$ и $\Delta S=1$, то $\eta=f$, т.е. коэффициент динамической вязкости численно равен силе внутреннего трения, возникающей на каждой единице поверхности соприкосновения скорости, равным единице.

В системе СИ размерность $|\eta| = кг\cdot M^{-1}\cdot C^{-1}$.

В системе СГС размерность градиента скорости 1/ сек. , сила измеряется в динах, поверхность соприкосновения см^2. Тогда размерность η будет:

$$[\eta]=г\cdot см^{-1}\cdot с^{-1}$$

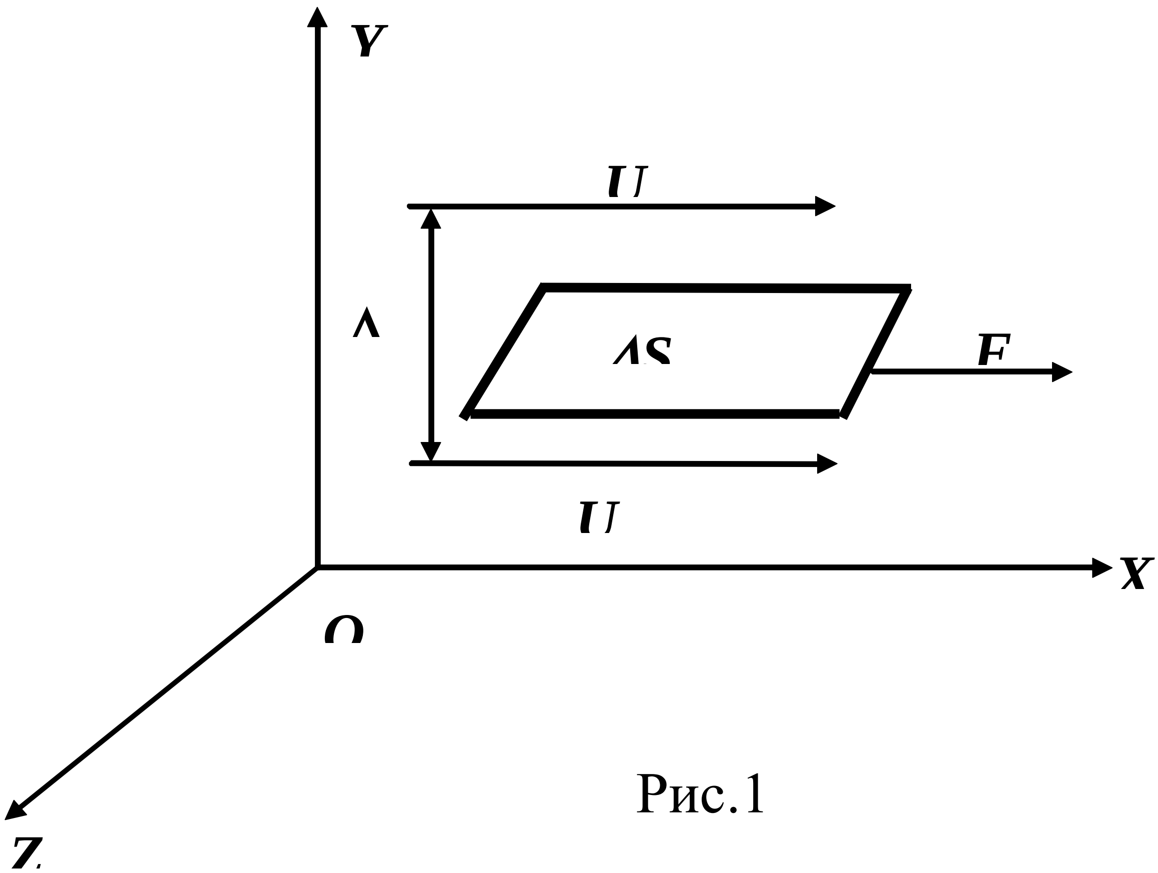


Рис.1

В системе СГС единица коэффициента вязкости называется пуазом. Часто пользуются меньшей единицей – санти пуаз:

1 санти пуаз= 0,01 пуаз

Коэффициент динамической вязкости зависит от природы жидкости и для данной жидкости с повышением температуры вязкость уменьшается.

3. Метод Стокса.

3.1.На движущийся в жидкости шарик действует сила внутреннего трения, тормозящая его движение (рис.2)

При условии, что стенки сосуда находятся далеко от шарика, эта сила по закону Стокса будет равна

$$F=6\pi\eta\tau\,\upsilon,$$

где r – радиус шарика;

υ - его скорость.

Если шарик свободно падает в вязкой жидкости , то на него будут

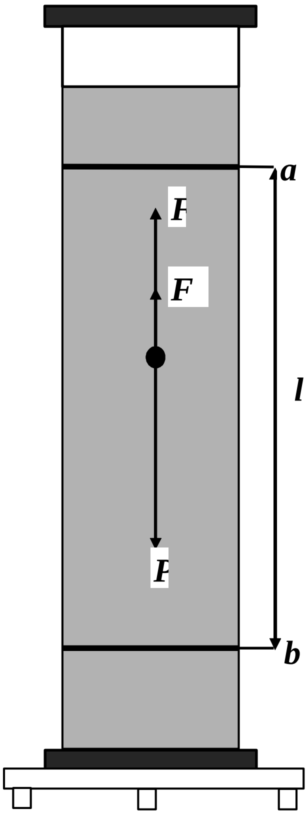


Рис.-2

действовать сила тяжести равная $P=mg=\rho Vg$ и выталкивающая сила $F_A=\rho_1 Vg$, равная весу жидкости в объёме шарика (V- объём шарика, ρ_1- плотность жидкости , ρ- плотность жидкости).

На основании второго закона Ньютона имеем

$$m\cdot\frac{d\vartheta}{dt}=\rho Vg-\rho_1 Vg-6\pi\tau\upsilon$$

Решением полученного уравнения является;

$$\Delta\upsilon=\frac{Vq(\rho-\rho_1)}{6\pi\eta}\left[1-\ell^{-\frac{6\pi\eta r}{m}}\right] \quad , \qquad (2)$$

в чём можно убедиться непосредственной подстановкой. По скольку с течением времени величина $\ell^{-\frac{6\pi\eta\tau}{m}}$ очень быстро убывает, то скорость шарика в начале растёт, но через малый промежуток времени становится величиной постоянной, равной

$$\upsilon_0=\frac{Vq(\rho-\rho_1)}{6\pi\eta r} \quad , \qquad (3)$$

здесь $V=\frac{4}{3}\pi r^3$- объём шарика.

Скорость шарика можно определить, зная расстояние ℓ между метками на сосуде и время t, за которое шарик проходит это расстояние:

$$\vartheta_0=\frac{\ell}{t}$$

Тогда из выражения (3) следует, что коэффициент вязкости равен

$$\eta=\frac{2}{9}\cdot\frac{(\rho-\rho_1)\cdot\tau^2 qt}{\ell} \qquad (4)$$

Для нахождения η измеряют r, ℓ и t.

4. Порядок выполнения работы.

4.1. Линейкой измеряют расстояние ℓ между двумя метками.

4.2. Микрометром измеряют радиус одного из шариков с точностью до 0,01мм.

4.6. Берётся пинцетом шарик и осторожно опускается в верхний слой жидкости, как можно ближе к оси цилиндра.

Глаз наблюдателя в это время должен быть установлен против верхней метки (а) так, чтобы противоположные края сливались в одну линию. В момент прохождения шарика через эту метку (а) включают секундомер. После этого смотрим на нижнюю метку (в) и в момент прохождения шарика через неё секундомер останавливают.

4.7. Найденные из опыта значения ℓ и t подставляются в формулу (4) и вычисляется коэффициент внутреннего трения.

4.5. Опыт повторяется не менее 5-7раз.

4.6. За окончательный результат принимается среднее значение из всех опытов.

4.7. По среднему значению и значениям отдельных измерений вычисляются абсолютная и относительная ошибки.

4.8. Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу.

$G=9{,}81 м/с^2$ $\rho_1=1{,}26x10^3 кг/м^3$ $\rho=7{,}8x10^3$

№ п/п	ℓ ,м.	R, м	t ,с.	$\eta, \frac{кг}{м \cdot с}$	$\Delta\eta$	δ, %
1. 2. 3.						
с/з	Х	Х	Х			Х

5. Контрольные вопросы.

5.1.Что такое вязкость? В каких единицах измеряется коэффициент вязкости?

5.2.Какие силы действуют на шарик, находящийся в жидкости?

5.3. Объясните причину возникновения силы внутреннего трения, и от чего зависит его величина?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ ИСТЕЧЕНИЯ КАПЕЛЬ

1.Приборы и принадлежности

1.1.Штатив, бюретка, стакан, исследуемые жидкости.

2.Теоретическае обоснование.

При сближении молекул друг с другом силы взаимного притяжения до определенного расстояния возрастают: при каком – то расстоянии между молекулами $r=r_0$ силы взаимодействия превращаются в нуль; если же расстояние между молекулами $r< r_0$ то вступают в действие силы отталкивания. В жидкости молекулы в основном находятся на расстоянии друг от друга меньшем r_0, т. е. в жидкости преобладают силы отталкивания. Этим объясняется слабая сжимаемость жидкостей.

Молекулы жидкости, расположенные на поверхности, находятся в особом состоянии, например молекулы M_1 и M_2 . Действие на эти молекулы со стороны молекул жидкости больше, чем со стороны молекул пара или воздуха, и позтому равнодействующая всех действующих на молекулу M_1 и M_2 молекулярных сил направлена внутрь жидкости нормально к ее поверхности. Отсюда следует, что на все мрлекулы , расположенные в тонком поверхностном слое, действуют силы, стремящиеся втянуть их внутрь жидкости. Благодаря этому поверхностный слой давид с ней так называемое внутренне или молекулярное давление. Это давление очень велико (для воды, например, около $11\cdot 10^8$ н/м^2).

Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают избытком энергии сравнительно с молекулами, находящимися внутри жидкости. Эта избыточная энергия называется свободной поверхностной энергией или просто поверхностного слоя обусловлено особое его состояние, стремящейся сократить свою поверхность до малых размеров. Это стремление жидкости сократимь свою свободную поверхность называется поверхностным натяжением.

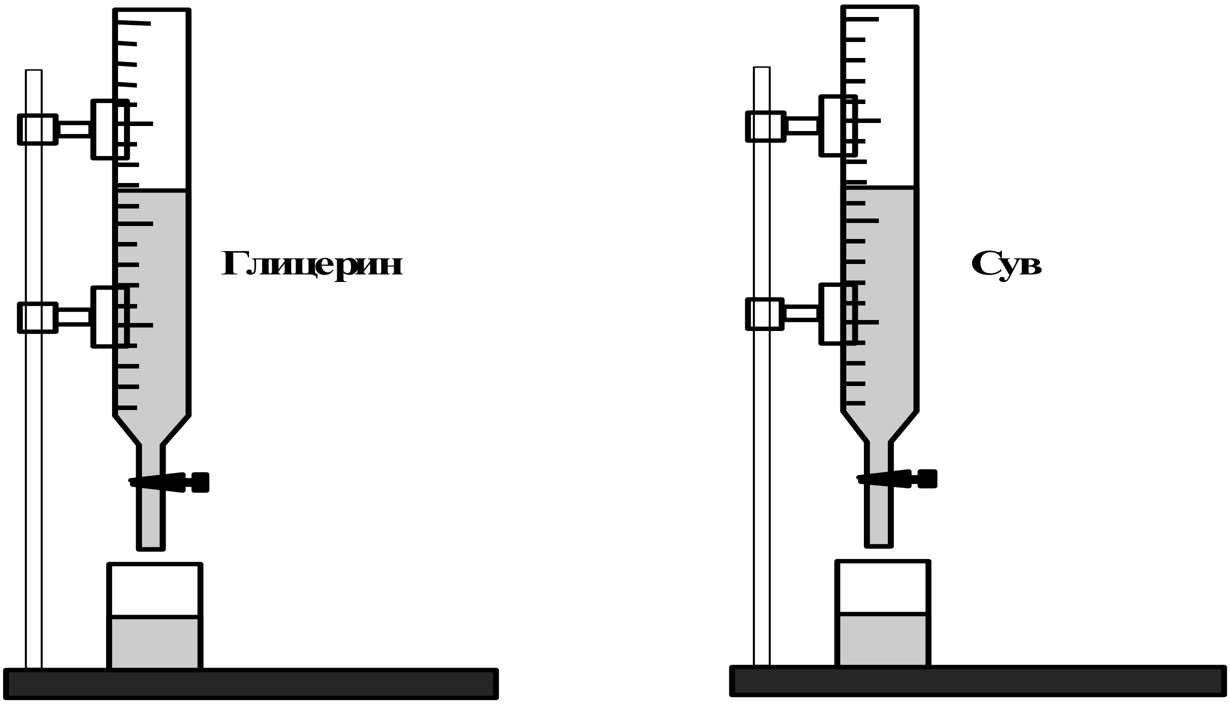
Силы поверхностного натяжения F направлены по касалельной к поверхности жидкости и действуют нормально к любой линии, проведенной на этой поверхности. Для количественной характеристики силы поверхностного натяжения житкости вводят коэффицент поверхнотного натяжения α, который численно равен силе F, действующей на единицу длины произвольной линии L, мысленно проведнной на поверхности жидкости.

$$\alpha = \frac{F}{L} \ .$$

В этом случае коэффициент поверхностного натяжения измеряется в ньютонах на метр (н/м).

2.1.Поверхностное натяжение характеризуется коэффициентом поверхностного натяжения. Представляя поверхностный слой жидкости в виде растянутой плёнки, можно сказать, что для удержания его в равновесии к линии его границы надо приложить силу, касательную к поверхности жидкости.

Коэффициентом поверхностного натяжения называется величина численно равная отношению силы натяжения поверхностного слоя жидкости и направленной к поверхности, к длине этой границы.



2 рис

Разрывая поверхностный слой жидкости по линии ℓ, мы должны приложить силу несколько большую, чем F,определяемую по формуле.

$$F = \sigma l \qquad (1)$$

где σ- коэффициент поверхностного натяжения;

ℓ- длина разрыва, откуда

$$\sigma = \frac{F}{\ell} \qquad (2)$$

Из формулы (2) следует, что единицей его измерений будет Н/м.

3.Метод работы.

3.1.При источении жидкости из отверстия малого диаметра, образование капель происходит в следствии наличия силы тяжести. В момент отрыва капель P=0.

Из формулы (2) d=p/l ,если взвешивать n капель, то $d = \dfrac{p}{n \cdot l}$

Длина отрываемого сечения $l = 2\pi z$,

Тогда $d = \frac{p}{2\pi\tau n}$ или $d = \frac{mq}{2\pi\tau m}$ (3)

Измерение радиуса сложно, поэтому обычно пользуются другим методом. Берутся различные жидкости с одинаковыми объёмами V и, учитывая, что m=ρ·V, где ρ - плотность жидкости,
получим для первой жидкости

$$d_1 = \frac{v\rho_2 q}{n_1 2\pi\tau} \quad , \qquad (4)$$

для второй жидкости

$$d_2 = \frac{v\rho_2 q}{n_2 2\pi\tau} \quad . \qquad (5)$$

Поделив (4) на (5), получим

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \qquad (6)$$

Из формулы (6), зная коэффициент поверхностного натяжения одной жидкости d_2, определим

$$d_2 = d_2 \cdot \frac{n_2}{n_1} \cdot \frac{\rho_1}{\rho_2} \qquad (7)$$

4.Порядок выполнения работы.

4.1. Берутся одинаковые объёмы двух жидкостей и определяется число капель n_1 и n_2 в них.
4.2. Значения ρ_1, ρ_2, d_2 находятся из таблиц.
4.3. Опыт проделать 3-4 раза.
4.4. Результаты наблюдений и вычислений записать в таблицу.

№	n_1	n_2	$d_2, \frac{Н}{м}$	Δd_1	δ,%
1 2 3					
ср. зм	X	X			X

5. Контрольные вопросы.

5.1 Что называется силой поверхностного натяжения и как направлена эта сила?
5.2.Что называется коэффициентом поверхностного натяжения, и в каких единицах он измеряется?
5.3. Зависит ли коэффициент поверхностного натяжения от температуры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10

ИЗУЧЕНИЕ АМПЕРМЕТРА И ВОЛЬТМЕТРА И ИХ ГРАДУИРОВКА

1. Приборы и принадлежности: Выпрямитель ВСА II IБ, амперметр 0÷I А, магазин сопротивлений, реостат 2 А, 100 Ом, милливольтметр 0÷75 мВ, ключ – 1 шт.

II. Цель работы: Знакомство с электроизмерительными приборами и их основными характеристиками.

Все электроизмерительные приборы классифицируются по следующим основным признакам:

а) по роду измеряемой величины: амперметры, вольтметры, омметры, ваттметры и другие приборы;

б) по роду тока: приборы постоянного тока, переменного тока и приборы постоянного и переменного тока;

в) по принципу действия: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, индукционные, тепловые, электростатические и др.;

г) по степени точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0 классов

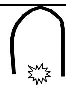
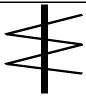
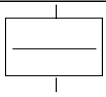
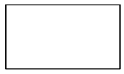
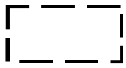
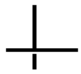
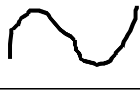
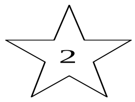
Наиболе распространёнными являются магнитоэлектрические и электромагнитные системы.

Работа приборов магнитоэлектрической системы основана на взаимодействии поля постоянного магнита и измеряемого тока, проходящего по обмотке подвижной катушки, помещённой в это поле.

Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы используются в цепях постоянного тока. Достоинствами приборов этой системы являются: высокая точность (класс точности до 0,05), высокая чувствительность, малое собственное потребление мощности, устойчивость к перегрузкам, равномерность шкалы и малая чувствительность к внешним магнитным полям.

Принцип работы приборов электромагнитной системы основан на взаимодействии магнитного поля тока, протекающего по обмотке неподвижной катушки, с подвижным железным сердечником, помещённый в это магнитное поле.

Недостатками прибора считаются: относительно низкая точность (класс точности 1,0-2,5), повышенная чувствительность к внешним магнитны полям, непригодность для измерения малых токов и низких напряжений. На шкале приборов применяются условные обозначения:

Магнитоэлектрический прибор	
Электромагнитный прибор	
Электродинамический прибор	
Защита от внешних магнитных полей	
Защита от внешний электрических полей	
Горизонтальное положение прибора	
Вертикальное положение прибора	
Класс точности	1,0
Прибор для измерения постоянного тока (напряжения)	
Прибор для измерения переменного тока (напряжения)	
Испытательное напряжения изоляции между электрической целью прибора и корпусом, кВ.	

Класс точности

Согласно ГОСТ 13600-68 все измерительные приборы имеют несколько классов точности: 0,05, 0,1, 0,2 0,5, 1,0 и др. наиболее допустимое значение приведенной погрешности определяется по формуле:

$$\gamma = \pm \frac{\Delta X}{X_m} \cdot 100\%$$

где X_m – предел измерения (максимальное значение показаний прибора); ΔX- максимально допустимая абсолютная погрешность.

Относительная погрешность E_x показаний прибора вычисляется по формуле:

$$E_x = \pm \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%,$$

где X-значение измеряемой величины.

Например, миллиамперметром на 75 мА измерен ток 30mA. Класс точности 0,2 т.е. приведенная погрешности равна 0,2%. Определим абсолютную и относительную погрешность. Максимальная абсолютная погрешность при измерении любого тока от 0 до 75 мА равна:

$$\Delta I = \frac{\gamma I_m}{100\%} = \pm \frac{0{,}2\% \cdot 75mA}{100\%} = \pm 0{,}15mA.$$

Относительная погрешность измерения

$$E = \frac{\Delta I}{I} \cdot 100\% = \pm \frac{0{,}15}{30} \cdot 100\% = \pm 0{,}5\%.$$

Пределы измерения.

Цена деления.

Значения измеряемой величины, при которой стрелка прибора отклоняется до конца шкалы, называется пределом измерения .

Электроизмерительные приборы могут иметь несколько пределов измерения. Измерение таким приборам на различных пределах будет иметь различную цену деления.

Пр: амперметр с наружным шунтом имеет два предела измерения 15 и 30 А. шкала имеет 150 делений. Цена деления для предела 15 А равна 0,1 А/дел., для предела 30 А-0,2 А/дел.

Чувствительность.

Чувствительностью электроизмерительного прибора называется отношение линейного или углового перемещения указателя к измеряемой величине, вызвавшей это перемещение:

$$S = \frac{n}{X},$$

где n – угловое или линейное перемещение; X – измеряемая величина.

Пример: при измерении тока I=2,5 А указатель прибора изменит свое положение на 50 делений. Следовательно, чувствительность прибора на току будет равна

$$S = \frac{n}{I} = \frac{50}{2{,}5} = 20\frac{дел}{A}.$$

Ознакомление с электроизмерительными приборами.

Изучить приборы, находящиеся на рабочем месте: амперметр, волтметр, милливольтметр, выпрямитель, реостат и магазин сопротивлений.

Примечание: реостат, по включенный своими концами паралелльно источнику называют потенциометром. Перемещением движка можно снимать напряжение, даваемое выпрямителом от нуля до максимального. Если выпрямитель плавную регулировку напряжения, то потенциометр не нужен.

Данные амперметра, вольтметра, милливольметра занести в таблицу 1.

№ п/п	Наименование прибора	Фабричный номер	система	Класс точности	Предел измерения	Число делений	Чувствительность	Абсолютная погрешность	Внутрен, сопр. на данном пределе	Примечание

В ту же таблицу 1 занести данные выпрямителя, реостата и магазина сопротивлений.   Для реостата указать сопротиеление и максимальный ток; для выпрямителя – максимальный ток, максимальное напряжение и возможность плавной регулировки; для магазина сопротивление - максимальное сопротивление и минимальную ступень измерения сопротивление

4. Теоретическое сведения.

Градуировка электроизмерительных приборов означает нахождение соотношения между делениями шкалы данного прибора и измеряемого. Это осуществляется с помощью эталонных приборов. При выборе последних следует помнить, что их класс точности должен быть в крайнем мере не ниже класса точности градуируемого прибора.

В данной работе производится работа по пунктам 1 и 2.

1 этап. Производится проверка шкалы амперметра.

2 этап. Производится проверка шкалы вольтметра.

Метод работы.

1 этап. Необходимо собрать схему (рис.1), где А – проверяемый амперметр (0÷1А), Р-реостат (2 А, 100 Ом), К-ключ, $R_Э$ – эталонное сопротивление, подбираемое из магазина сопротивлений mV – эталонный прибор милливольтметр (0÷0,75мА).

Сущность работы заключается в том, что с помощью милливольтметра измеряется разность потенциалов на концах эталонного сопротивления, ток вычисляется по закону Ома:

$$I = \frac{U}{R_Э} \qquad (1)$$

и сопоставляется с величиной тока I_A.

<u>2 этап.</u> Необходимо собрать схему (рис.2), с помощью который производится проверка шкалы градуированного вольтметра с использованием эталонного прибора милливольтметра.

В данной схеме К-ключ, R-реостат, R_1 – магазин сопротивлений, R_a – эталонное сопротивление, V – проверяемый вольтметр, mV-милливольтметр, вольтметр покажет разность потенциалов между А и В, т.е.

$$U_{AB}=\varphi_A - \varphi_B$$

Если известна сила тока I, протекающая через сопротивление R, то по закону Ома для участка цепи:

$$U_{AB}=IR \qquad (2)$$

Силу тока можно найти падение напряжения в цепи:

$$I = \frac{U_{BC}}{R_Э} \qquad (3)$$

Подставляя значение (3) и формулу (2), получим:

$$U_{AB} = \frac{U_{BC}}{R_{,}} R \qquad (4)$$

где U_{BC} – показание милливольтметра; $R_Э$ – эталонное сопротивление, которое является частью общего сопротивление

Для упрощения расчетов следует брать R=201 Ом, тогда из формулы (4)

$$U_{AB} = \frac{201}{1000} \cdot U_{BC}$$

5. Измерения и их обработка.

<u>2 этап.</u> Градуировка амперметра.

1. Собрать схему согласно рис.1 при этом следует подсоединить милливольтметр на клеммы 0÷0,9 Ом.

2. Ручку магазина сопротивления установить на $R_Э$ =0,1 Ом (на 2-этапе R_M+201 Ом), а движок реостата R на среднее положение.

3. Установить стрелку амперметра на положение «0» не установлен.

4. Получив разрешение преподавателя, включить источник питания в электрическую сеть.

5. Замкнув ключ К и передвигая движок реостата, установить стрелку амперметра на первое деление записать показание амперметра и соответствующее показание милливольтметра.

6. Повторив пункт (5) для каждой деления шкалы, полученные результаты занести в таблицу №2. Начертить график №1.

3 этап. Градуировка вольтметра.

1. Собрать схему согласно рис.2. Остальные пункты повторить согласно первому этапу.
2. Для каждого деления шкалы заносить полученные результаты в таблицу №3 и начертить график №2.

5. Контрольный вопрос

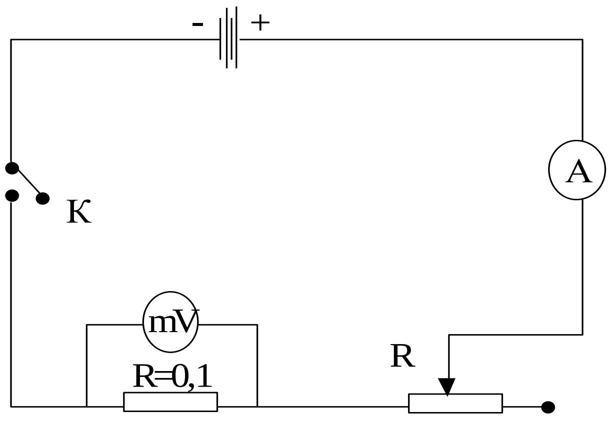
1. Что определяет класс точности прибора, абсолютную или относительную погрешность? Как их рассчитать?
2. Что такое цена деления и чувствительность прибора? Какова связь между ними?
3. Какому по виду шкалы определить прибор магнитоэлектрической системы?
4. Какие приборы называются амперметрами и вольтметрами?
5. В чем заключается закон Ома для участка цепи?
6. Для чего служит шунт и как его подсоединяется?
7. Для чего используют добавочное сопротивление и как его подсоединяют?
8. Как подсоединяют в цепь амперметр и вольтметр? Почему?

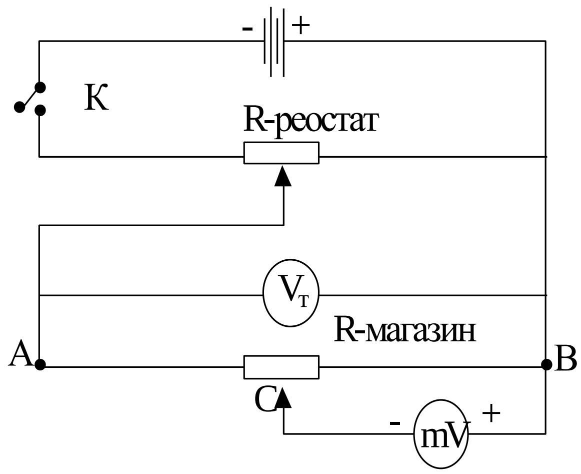
6. ЛИТЕРАТУРА

1. И.В.Савельев. «Курс общей физики». Т.2, с.86-88.
2. Н.Д.Бытько. «Физика» 3 и 4 части.
3. Н.Н.Майсова. «Практикум по курсу общей физики» с.185.

№	Iu(A)	Ul(b)	$I = \frac{U}{R_Э}$	$\Delta I = I - I_n$

№	Un(b)	$U_{CB(\text{млВ})}$	U_{AB}(B)





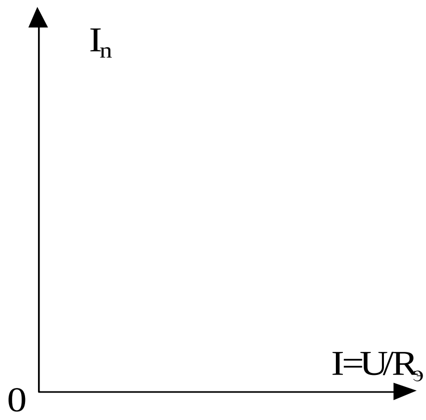


График 1.

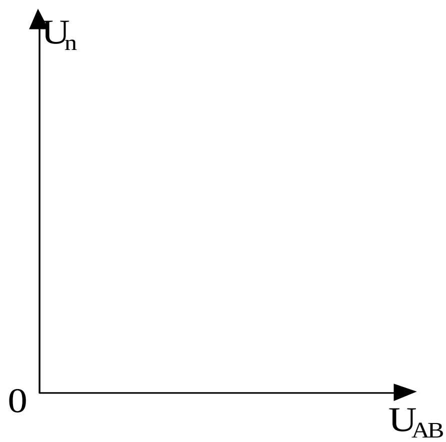


График 2