

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Факультет специальных технологий
Кафедра «Физика»

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ

ЧАСТЬ I. МЕХАНИКА.
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА
ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ОТЧЕТОВ
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Студент _____

Группа _____

Факультет _____

Преподаватель _____

Барнаул 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1.	Изучение законов поступательного движения тел с помощью машины Атвуда	4
Лабораторная работа № 2.	Изучение законов вращательного движения с помощью маятника Обербека	11
Лабораторная работа № 3.	Проверка справедливости теоремы Гюйгенса - Штейнера с помощью физического маятника	17
Лабораторная работа № 4.	Определение момента инерции маятника Максвелла	22
Лабораторная работа № 5.	Определение коэффициента вязкости жидкости методом Стокса	27
Лабораторная работа № 6.	Определение средней длины свободного пробега и эффективного диаметра молекул воздуха	31
Лабораторная работа № 7.	Определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме методом Клемана и Дезорма ..	35
Лабораторная работа № 8.	Определение приращения энтропии при плавлении олова	39
Приложение 1	Таблица коэффициентов Стьюдента	43
Рекомендуемая литература	43

МАРШРУТНАЯ КАРТА

№ звена	НОМЕР РАБОТЫ					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3 (4)	5	7	8
2	1	2	3 (4)	5	7	6
3	1	2	3 (4)	6	8	7
4	1	2	3 (4)	7	5	8
5	1	2	3 (4)	7	6	5
6	1	2	3 (4)	8	6	5
7	1	2	3 (4)	5	8	6
8	1	2	3 (4)	5	7	8
9	1	2	3 (4)	6	8	5
10	1	2	3 (4)	6	7	8
11	1	2	3 (4)	7	5	6
12	1	2	3 (4)	7	6	8
13	1	2	3 (4)	8	5	6

Примечание: номер выполняемой лабораторной работы в третьем столбце уточнить у преподавателя.

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Факультет специальных технологий

Кафедра «Физика»

(обозначение документа)

Отчеты по лабораторным работам

по дисциплине

(название дисциплины)

Отчеты защищены с оценкой

Номер и название работы	Дата защиты	Оценка (баллы)	Подпись преподавателя

Студент группы

(инициалы, фамилия)

Преподаватель

(должность, ученое звание)

(инициалы, фамилия)

БАРНАУЛ 2018

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1
ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ С ПОМОЩЬЮ
МАШИНЫ АТВУДА

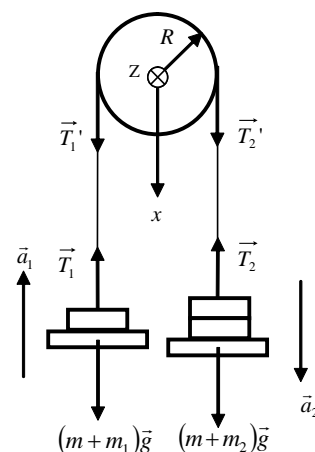
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы и задания

Задание 1. Изучение зависимости ускорения от величины приложенной силы

1. На платформы установите по одинаковому набору перегрузков $m_1=m_2=0,01$ кг. Проверьте равновесие системы.
2. Часть перегрузков с левой платформы переложите на правую платформу (смотри таблицу 1). Рассчитайте силу $F_g=(m_2-m_1)g$, приводящую систему в движение.
3. Измерьте время t движения правого груза от нулевой отметки шкалы до пола (расстояние h). Проведите измерения не менее 3-5 раз. Вычислите среднее время движения грузов по формуле $t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$.
4. Используя значение t_{cp} , рассчитайте ускорение движения грузов по формуле $a = \frac{2h}{t_{cp}^2}$.
5. Повторите пункты 2-4 для пяти различных значений (m_2-m_1) . Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 1.
6. Постройте график зависимости ускорения от силы $a=f_1(F_g)$ (правила построения графиков приведены в теоретическом введении методических указаний пособия).
7. Воспользовавшись графиком, по котангенсу угла наклона прямой определите полную массу $(m_{ном}+m_{бл})$ системы. Используя известное значение $m_{ном}$, найдите эффективную массу $m_{бл}$ блока, необходимую для выполнения задания 2.
8. По графику определите силу трения покоя $F_{тр}^{пок}$ установки.

Таблица 1

№ изм.	$m_1, 10^{-3}$ кг лев.	$m_2, 10^{-3}$ кг прав.	$m_2 - m_1,$ 10^{-3} кг	$F_g,$ 10^{-2} Н	$t_1,$ с	$t_2,$ с	$t_3,$ с	$t_4,$ с	$t_{cp},$ с	$\Delta t_{сл},$ с	$\Delta t,$ с	$a,$ м/с ²	$\Delta a,$ м/с ²	$\varepsilon_a,$ %
1	5+2+3=10	10	0		проверка равновесия системы									
2	5+3=8	10+2=12	4											
3	5+2=7	10+3=13	6											
4	5	10+2+3=15	10											
5	3	10+2+5=17	14											
6	2	10+3+5=18	16											
Данные установки: $h =$ м; $m_{ном} = 0,12$ кг.					$\Delta t_{сум} =$ с ; $\Delta h_{сум} =$ м ; $\alpha = 0,95$; $n =$; $t_{n,\alpha} =$; $m_{бл} =$ кг ; $F_{тр}^{пок} =$ Н .									

Задание 2. Изучение зависимости ускорения от массы системы

1. Установите на правую платформу перегрузок, создающий движущую силу $F_g=0,15$ Н. Затем 3-5 раз измерьте время движения груза с высоты h . Рассчитайте среднее время движения.
2. Повторите пункт 8 для четырех значений массы $m_{\text{пост}}$ грузов, не изменяя величину движущей силы. Результаты измерений и расчетов внесите в таблицу 2.
3. Постройте график зависимости ускорения от величины, обратной общей движущейся массе $a = f_2 \left[1 / (m_{\text{пост}} + m_{\text{бл}}) \right]$. При этом необходимо учитывать массу блока $m_{\text{бл}}$, найденную в предыдущей серии опытов.
4. По тангенсу угла наклона прямой определите экспериментальное значение движущей силы $F_g^{\text{экс}}$ и сравните его с теоретическим значением. Сделайте соответствующие выводы.

Таблица 2

№ изм.	$m_{\text{пр}}=m_{\text{лев}}=m,$ 10^{-3} кг	$m_{\text{пост}} =$ $= 2m + m_2,$ кг	$1/(m_{\text{пост}} + m_{\text{бл}}),$ кг $^{-1}$	$t_1,$ с	$t_2,$ с	$t_3,$ с	$t_4,$ с	$t_{\text{ср}},$ с	$\Delta t_{\text{сл}},$ с	$\Delta t,$ с	$a,$ м/с 2	$\Delta a,$ м/с 2	$\varepsilon_a,$ %
1	50	0,115											
2	50+50=100	0,215											
3	50+100=150	0,315											
4	50+100+50=200	0,415											
Данные установки: $h =$ м; $m_{\text{бл}} =$ кг ; $m_2 = 0,015$ кг ; $F_g = 0,15$ Н .								$\Delta t_{\text{суст}} =$ с ; $\Delta h_{\text{суст}} =$ м ; $F_g^{\text{экс}} =$ Н .					

Задание 3. Расчет погрешностей измерений

1. Познакомьтесь с методами оценок погрешностей прямых и косвенных измерений.
2. По данным приборов определите систематические погрешности $\Delta t_{\text{суст}}$ и $\Delta h_{\text{суст}}$.
3. Случайную погрешность $\Delta h_{\text{сл}}$ примите равной **нулю**, поскольку высота, с которой опускается груз каждый раз, задается одинаковым образом.

4. Для каждой серии экспериментов определите по формуле $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (t_i - t_{\text{ср}})^2}$ стандартные

доверительные интервалы времени движения грузов.

5. Найдите коэффициенты Стьюдента $t_{n,\alpha}$ при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ и соответствующего числа n параллельных измерений по таблице (1) введения.

6. Определите случайные погрешности $\Delta t_{\text{сл}}$ измерений времени по формуле $\Delta t_{\text{сл}} = t_{n,\alpha} \cdot \sigma$ и занесите результаты в таблицы 1 и 2.

7. Рассчитайте полные абсолютные погрешности Δt результатов измерения по формуле $\Delta t = \Delta t_{\text{сл}} + \Delta t_{\text{суст}}$. Результаты вычислений занесите в таблицы 1 и 2.

8. Рассчитайте величины относительных погрешностей ε_a измерения ускорения движения грузов по формуле

$$\varepsilon_a = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h_{\text{ср}}} \right)^2 + \left(2 \frac{\Delta t}{t_{\text{ср}}} \right)^2} \cdot 100\% .$$

9. Вычислите абсолютные погрешности Δa ускорения по формуле $\Delta a = a_{\text{ср}} \cdot \varepsilon_a$, где ε_a – относительная погрешность, представленная в долях целого числа.

10. Для каждой серии экспериментов проведите округление результатов вычислений и занесите их в таблицы 1 и 2 соответственно.

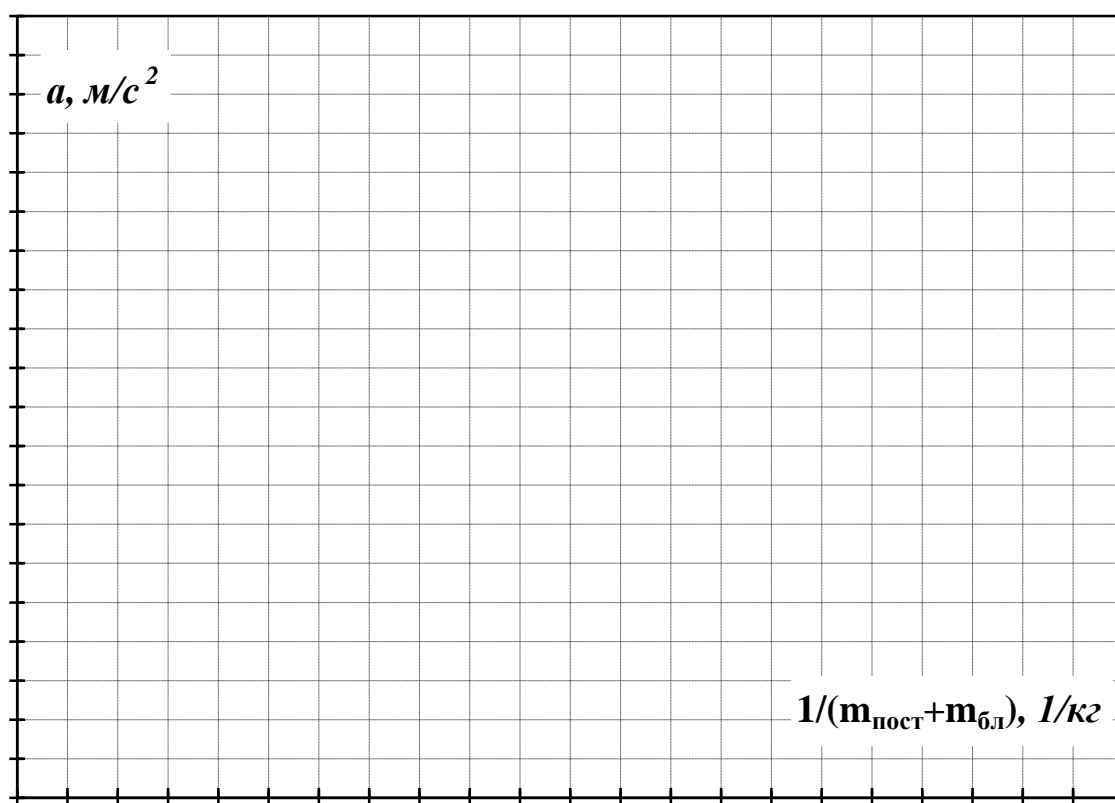
Промежуточные вычисления и анализ результатов работы могут быть выполнены на дополнительных листах формата А4 и представлены для контроля при защите лабораторной работы. Полученные значения измеряемых физических величин с указанием единиц измерения, абсолютной и относительной погрешностей, надежности (см. Введение) запишите в выводах к работе.

Для студентов, стремящихся продемонстрировать повышенный уровень своих знаний, рекомендуется выполнять вычисления и построение графиков с использованием программы Microsoft Office Excel или других программ для работы с электронными таблицами. В этом случае **обязательно** наличие распечатки результатов.

4 Обработка результатов измерений

Blank area for calculations and results, consisting of multiple horizontal dashed lines.

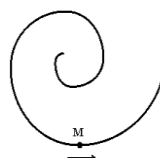
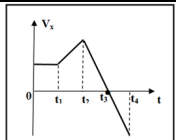
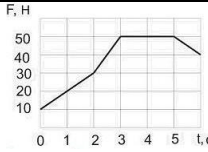
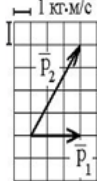
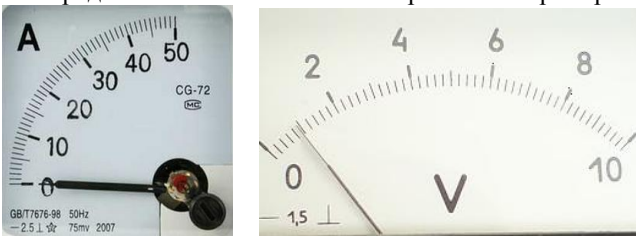

Handwriting practice lines consisting of multiple sets of three horizontal dashed lines for tracing and writing practice.



ВЫВОДЫ:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дайте определение следующих понятий: скорость, ускорение (полное, тангенциальное, нормальное), масса, импульс, сила. Объясните их физический смысл. Укажите единицы измерения.
2. Сформулируйте I, II, III законы Ньютона, объясните их физический смысл и область применения.
3. Поясните устройство и принцип работы машины Атвуда. Какие силы действуют на грузы и блок в машине Атвуда? Запишите уравнения, описывающие движение данной системы. Каким образом можно убедиться в справедливости второго закона Ньютона?
4. Почему ускорение системы определяется по кинематической формуле $a = 2h/t^2$, а не из соотношения $a = F_g/m$? Объясните методику определения ускорения a грузов в данной работе.
5. Какой смысл имеет отрезок, отсекаемый прямой на оси абсцисс, на графике зависимости $a = f(F_g)$?
6. Сформулируйте основные правила построения графиков.
7. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерений? Для чего вводятся эти погрешности?
8. Дайте понятие случайной и систематической погрешностей, класса точности прибора.
9. Как определяются погрешности табличных величин?
10. Какие измерения называются прямыми, косвенными? Методы определения погрешностей прямых и косвенных измерений.

<p>1. При движении точки по окружности радиусом 1 м в некоторый момент времени тангенциальное ускорение равно 3 м/с^2, полное ускорение 5 м/с^2. Найти скорость точки в этот момент времени.</p>	<p>2. Точка М движется по спирали с постоянной по величине угловой скоростью в направлении, указанном стрелкой. Как при этом изменяется величина линейной скорости, нормального и тангенциального ускорения? Ответ пояснить.</p> 
<p>3. Проекция скорости тела изменяется с течением времени так, как показано на рисунке. Изобразите график зависимости проекции силы, действующей на это тело, от времени.</p> 	<p>4. На рисунке приведен график зависимости силы, действующей на тело, от времени. На сколько изменится импульс тела за первые 5 секунд?</p> 
<p>5. Теннисный мяч летит с импульсом \vec{p}_1 (масштаб и направление указаны на рисунке). Теннисист произвел по мячу резкий удар с средней силой 40 Н. Изменившийся импульс мяча стал равен \vec{p}_2. Сколько времени действовала сила на мяч?</p> 	<p>6. Зависимость импульса частицы от времени описывается законом $\vec{p} = 6t^2\vec{i} + 3t\vec{j}$, где \vec{i} и \vec{j} - векторы координатных осей x, y соответственно. Изобразите график зависимости горизонтальной проекции силы F_x, действующей на частицу, от времени.</p>
<p>7. Объем параллелепипеда определяется по формуле $V=abc$, где a, b, c - его стороны, определяемые прямым способом. Получите выражение для расчета абсолютной и относительной погрешности измерения объема.</p>	<p>8. Масса медной проволоки, взвешенная на лабораторных весах равна $2,67 \text{ г}$. Плотность меди - $8,9 \pm 0,1 \text{ г/см}^3$. Определите объем проволоки (в см^3). Запишите результат определения объема с учетом погрешности. Относительная погрешность весов составляет 0,5%.</p>
<p>9. Определите систематические погрешности приборов.</p> 	<p>10. Определите размер тела, представленного на фотографии.</p> 

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОВ ДИНАМИКИ ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

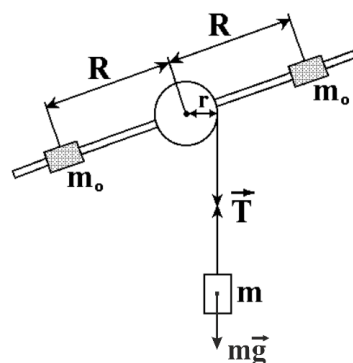
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы и задания

Масса m грузов на нитях может быть набрана из трех грузов: одного основного (платформы) массой **50 г** и двух дополнительных: **50 г** и **100 г**.

В расчётах следует использовать эффективный радиус шкива $r = r_{эфф.}$. Для этого измерьте диаметр выбранного шкива d_1 без нити, а затем диаметр шкива с намотанной на него нитью d_2 . Эффективный радиус $r_{эфф.}$ определите как

$$r_{эфф.} = \frac{d_1 + d_2}{4}.$$

Погрешность в определении радиуса шкива Δr можно считать равной систематической погрешности $\Delta r_{сист.}$.

Задание 1. Изучение зависимости углового ускорения от момента приложенных сил $\epsilon = f(mgr)$.

- По указанию преподавателя выберите один из шкивов радиусом r . Намотайте на него нить с платформой массой $m = 50$ г, которая сама будет грузом, определяющим момент силы тяжести.
- Установите грузы m_0 ($m_0 = 50$ г) на спицах на расстоянии R от оси вращения, равном его среднему значению $R = 10$ см.
- Предоставьте грузу возможность свободного движения вниз с указанной высоты h , измеряя при этом время движения груза t . Опыт повторите три - пять раз, данные занесите в таблицу 1.
- На платформу поместите груз массой **50 г** (общая масса станет равной $m = 100$ г). Измерьте время движения груза t с указанной высоты h . Опыт повторите три - пять раз, данные занесите в таблицу 1.
- На платформу поместите груз массой **100 г** (общая масса $m = 150$ г). Также как в пункте 4, измерьте три - пять раз время движения груза t с указанной высоты h .
- На платформу поместите грузы массами **100 г** и **50 г**, (общая масса станет равной $m = 200$ г). Также как в предыдущих пунктах 4 и 5, измерьте три - пять раз время движения груза t с указанной высоты h .
- Для каждого значения m определите среднее значение времени $t_{ср.}$.
- Используя $t_{ср.}$ по формуле $\epsilon = \frac{2h}{r \cdot t_{ср.}^2}$ определите среднее значение ускорения ϵ (здесь $r = r_{эфф.}$).
- По данным таблицы 1 постройте график зависимости углового ускорения ϵ от момента силы тяжести опускающегося груза mgr , т.е. $\epsilon = f(mgr)$ с соответствующими доверительными интервалами $\Delta \epsilon$.
- Определите момент силы трения по отрезку, отсекаемому прямой $\epsilon = f(mgr)$ на оси моментов сил.

Таблица 1

№ изм.	$m, 10^{-3}$ кг	$mgr, 10^{-2}$ Н·м	$t_1, с$	$t_2, с$	$t_3, с$	$t_4, с$	$t_5, с$	$t_{ср.}, с$	$\Delta t_{сл.}, с$	$\Delta t, с$	$\epsilon, \text{ рад/с}^2$	$\Delta \epsilon, \text{ рад/с}^2$	Отн. пог, %
1	50												
2	50+50=100												
3	50+100=150												
4	50+100+50=200												

Данные установки: $h =$ м ; $\Delta h_{сист.} =$ м ; $R =$ м ;

$r_{эфф.} =$ м ; $\Delta r_{сист.} =$ м ; $\Delta t_{сист.} =$ с ; $M_{тр} =$ Н·м .

Задание 2. Изучение зависимости углового ускорения от момента инерции системы $\frac{1}{\varepsilon} = f(2m_0 R^2)$.

1. По указанию преподавателя выберите один из шкивов радиусом r .
2. Массу груза m на нити установите равной **100 г**.
3. В соответствии с таблицей 2 изменяйте момент инерции системы, меняя расстояния R грузов m_0 до оси вращения.
4. Для каждого из четырех случаев **симметричных** расположений грузов m_0 на спицах маятника (расстояния от центров масс грузов до оси вращения измеряются линейкой) проведите три-пять измерений времени движения груза с заданной высоты h . Результаты занесите в таблицу 2.
5. Для каждого значения R определите среднее значение времени t_{cp} .
6. Используя t_{cp} , по формуле $\frac{1}{\varepsilon} = \frac{r \cdot t_{cp}^2}{2h}$ определите среднее значение $\frac{1}{\varepsilon}$ (в таблице ε^{-1}).
7. По данным таблицы 2 постройте график зависимости $\frac{1}{\varepsilon} = f(2m_0 R^2)$ с соответствующими доверительными интервалами $\Delta\varepsilon^{-1}$.
8. По отрезку, отсекаемому прямой $\frac{1}{\varepsilon} = f(2m_0 R^2)$ на оси моментов инерции, определите момент инерции маятника без грузов m_0 (т.е., момента инерции шкивов и спиц).

Таблица 2

№ изм.	R , 10^{-2} м	$2m_0 R^2$, 10^{-3} кг·м ²	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	t_4 , с	t_5 , с	t_{cp} , с	Δt_{cl} , с	Δt , с	$1/\varepsilon$, с ² /рад	$\Delta(1/\varepsilon)$, с ² /рад	Отн. погр., %
1	5												
2	10												
3	15												
4	20												
Данные установки: $h =$ м; $\Delta h_{сист} =$ м; $r_{эфф} =$ м; $\Delta r_{сист} =$ м; $\Delta t_{сист} =$ с; $m =$ кг; $mgr =$ Н·м; $I_{шк+спиц} =$ кг·м ² .													

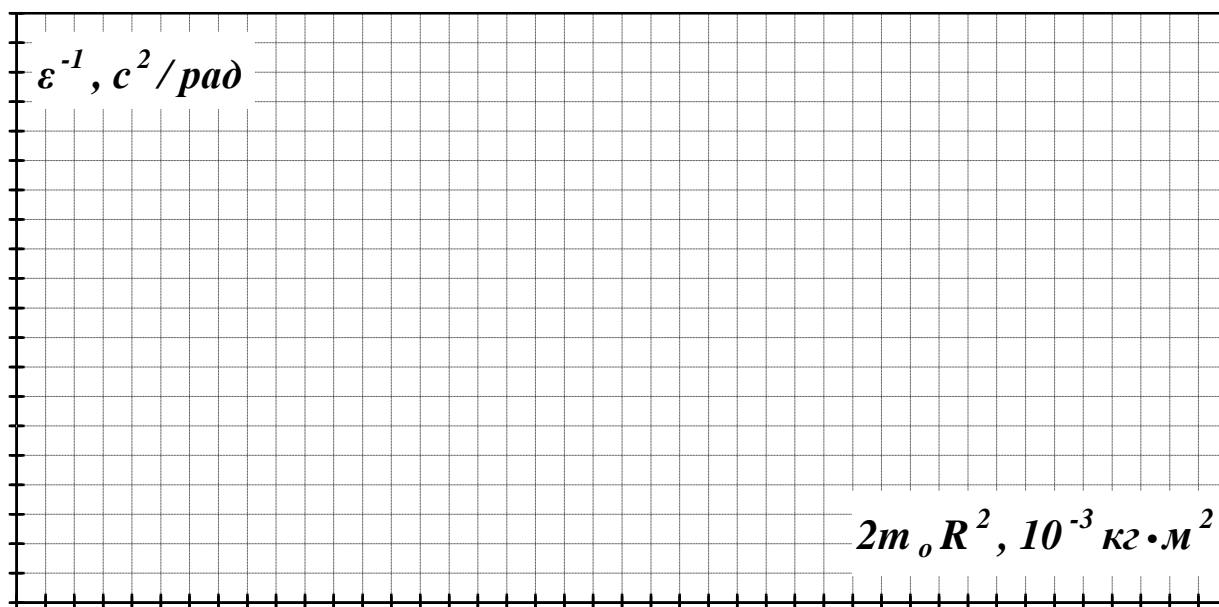
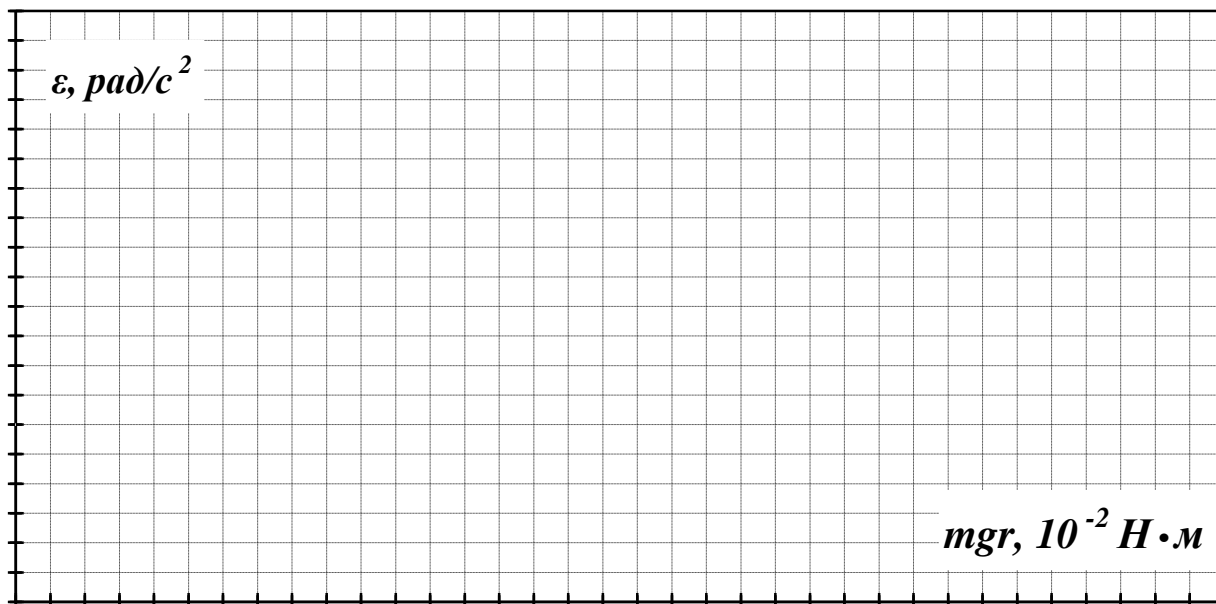
Задание 3. Расчет погрешностей измерений.

1. По данным приборов определите систематические погрешности $\Delta t_{сист}$ и $\Delta h_{сист}$. Поскольку высота, с которой опускается груз каждый раз задается одинаковым образом, то можно считать, что $\Delta h_{cl} = 0$.
2. Рассчитайте случайные погрешности Δt_{cl} в определении времени по формуле $\Delta t_{cl} = t_{n,\alpha} \cdot \sigma$ (σ – стандартный доверительный интервал, $t_{n,\alpha}$ – коэффициент Стьюдента). Результаты вычислений занесите в таблицы 1 и 2.
3. Рассчитайте полные абсолютные погрешности Δt результатов измерения по формуле $\Delta t = \Delta t_{cl} + \Delta t_{сист}$. Результаты вычислений занесите в таблицы 1 и 2 соответственно.
4. Используя полученные значение Δt , рассчитайте относительные погрешности измерений по формуле
$$отн.погр = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{h}\right)^2 + \left(\frac{\Delta r}{r}\right)^2 + \left(2\frac{\Delta t}{t_{cp}}\right)^2} \cdot 100\%.$$
5. Определите абсолютные погрешности $\Delta\varepsilon$ и $\Delta\varepsilon^{-1}$ по формулам $\Delta\varepsilon = \varepsilon \cdot отн.погр$ и $\Delta\varepsilon^{-1} = \varepsilon^{-1} \cdot отн.погр$, (относительную погрешность, взять в долях целого числа).
6. По результатам работы сделайте соответствующие выводы.

Примечания: Для студентов, стремящихся продемонстрировать повышенный уровень своих знаний, рекомендуется выполнять вычисления и построение графиков с использованием программы Microsoft Office Excel или других программ для работы с электронными таблицами. В этом случае **обязательно** наличие распечатки результатов.

4 Обработка результатов измерений

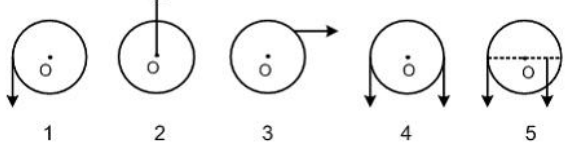
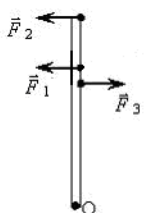
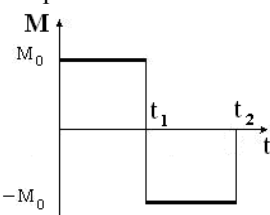
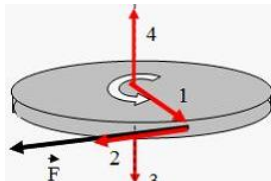
Blank area for calculations and results, consisting of multiple horizontal dashed lines.



ВЫВОДЫ:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Запишите и объясните основной закон динамики вращательного движения. Дайте определения величин, входящих в это уравнение.
2. Как определяются направления векторов углового ускорения и момента сил?
3. Проведите аналогию между характеристиками поступательного и вращательного движения.
4. Каким образом в данной работе доказывается справедливость основного уравнения динамики вращательного движения?
5. Почему в работе угловое ускорение определяется с помощью кинематического уравнения (18), а не с помощью динамического уравнения (16).
6. Какой физический смысл имеют отрезки, отсекаемые прямой на оси абсцисс на графиках $\varepsilon = f(mgr)$ и $1/\varepsilon = f(2m_0R^2)$, соответственно?
7. Каким будет движение маятника при отсутствии трения в блоке?
8. Какая сила создает вращающий момент крестовины, и как он определяется в данной работе?

<p>1. На рисунке к диску, который может свободно вращаться вокруг оси, проходящей через точку О, прикладывают одинаковые по величине силы. В каком положении момент сил будет максимальным?</p> 	<p>2. К стержню приложены три одинаковых по модулю силы, как показано на рисунке. Ось вращения перпендикулярна плоскости рисунка и проходит через точку О. Определить направление вектора результирующего момента сил.</p> 
<p>3. Диск начинает вращаться под действием момента сил, график временной зависимости которого представлен на рисунке. Построить график, отражающий зависимость угловой скорости диска от времени.</p> 	<p>4. Диск равномерно вращается вокруг вертикальной оси в направлении, указанном на рисунке белой стрелкой. В некоторый момент времени к ободу диска была приложена сила, направленная по касательной. Как направлены: вектор углового перемещения, вектор угловой скорости, вектор углового ускорения, вектор момента силы \vec{F}, вектор момента импульса?</p> 
<p>5. Момент силы, приложенной к вращающемуся телу, изменяется по закону $M = \alpha t^2$, где α – некоторая положительная константа. Момент инерции тела остается постоянным в течение времени вращения. Качественно изобразить график зависимости углового ускорения от времени.</p>	<p>6. Диску придали угловое ускорение, приложив силу 5 Н по касательной к ободу диска на расстоянии 1 м от оси вращения в течение 0,4 с. На сколько увеличился момент импульса диска?</p>
<p>7. Момент внешних сил, действующих на тело, изменяется по закону $M = 8t - 3t^2$ (СИ). Определить изменение момента импульса тела за первые 2 с.</p>	<p>8. Шар и полый цилиндр (трубка), имеющие одинаковые массы и радиусы, скатываются без проскальзывания с наклонной плоскости высотой h. Сравнить скорости тел у основания наклонной плоскости.</p>

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3
ПРОВЕРКА СПРАВЕДЛИВОСТИ ТЕОРЕМЫ ГЮЙГЕНТСА - ШТЕЙНЕРА
С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

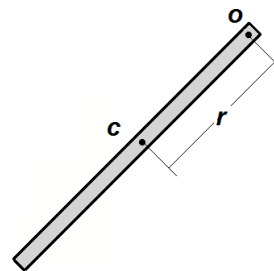
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы и задания

Задание 1. Определение периода колебаний однородного гладкого стержня

1. Измерьте длину стержня L .
2. Рассчитайте теоретическое значение периода колебаний стержня T_m по формуле

$$T_{cm} = 2\pi \sqrt{\frac{mL^2}{3mg\left(\frac{L}{2}\right)}} = 2\pi \sqrt{\frac{2L}{3g}} = 5,130 \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

3. Измерьте 3-5 раз время t 30-40 полных колебаний стержня. Определите экспериментальные значения периодов колебаний T_j по формуле $T_j = \frac{t}{N}$.
4. Найдите среднее значение экспериментального периода колебаний стержня $\overline{T_j}$. Результаты вычислений запишите в таблицу 1.
5. Сравните теоретическое и среднее экспериментальное значения периодов колебаний гладкого однородного стержня.
6. Оцените относительную погрешность измерений T_m и T_j , соответствующую прямым ϵ_j и косвенным ϵ_m измерениям.

Таблица 1.

Тело	Период колебаний										
	T_m , с	ΔT_m , с	ε_m , %	T_j , с					$\overline{T_j}$, с	ΔT_j , с	ε_j , %
стержень $L =$ м											

Задание 2. Определение периода колебаний однородного гладкого обруча

1. Измерьте диаметр обруча D .
2. Рассчитайте по формуле $T_{обр} = 2\pi \sqrt{\frac{2mR^2}{mgR}} = 2\pi \sqrt{\frac{D}{g}}$ теоретическое значение периода колебаний обруча.
3. Измерьте 3-5 раз время t 30-40 полных колебаний обруча и определите экспериментальные значения периода колебаний T_j по формуле $T_j = \frac{t}{N}$.
4. Найдите среднее значение $\overline{T_j}$. Результаты вычислений запишите в таблицу 2.
5. Сравните теоретическое и среднее экспериментальное значения периодов колебаний обруча.
6. Оцените относительную погрешность измерений T_m и T_j , соответствующую прямым ϵ_j и косвенным ϵ_m измерениям.

Таблица 2.

Тело	Период колебаний										
	T_m , с	ΔT_m , с	ϵ_m , %	T_j , с					$\overline{T_j}$, с	ΔT_j , с	ϵ_j , %
обруч $D =$ м											

Задание 3. Определение момента инерции однородного стержня с двумя грузами на концах

- Пять раз определите время 20 полных колебаний маятника. Данные измерений занесите в таблицу 3.
- Определите среднее значение времени 20 полных колебаний и, используя полученное значение, по формуле

$$\overline{T}_9 = \frac{t_{cp}}{N} \text{ найдите среднее значение периода колебаний } \overline{T}_9.$$

3. Снимите маятник с установки. Измерьте с помощью штангенциркуля и линейки с точностью до трех значащих цифр диаметры D_1, D_2, D_3, D_4 , высоты h_1, h_2 и длины L_3, L_4 дисков 1, 2 и стержней 3, 4, составляющих физический маятник (рис. 1). Измерьте расстояние d между центром масс тела 4 и точкой подвеса. Повторите каждое измерение не менее 3-5 раз. Результаты занесите в таблицу 4. Найдите средние значения измеренных величин.

4. Расположите маятник на призме, как показано на рисунке 2, и добейтесь состояния равновесия. В состоянии равновесия точка опоры будет совпадать по вертикали с положением центра масс маятника. Измерьте расстояние L от точки подвеса до центра масс маятника. Результат занесите в таблицу 4.

5. Используя известные значения удельной плотности материала и данные таблицы 4, рассчитайте массы грузов m_1, m_2, m_3, m_4 по формулам:

$$m_1 = \rho_1 \cdot \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot h_1, \quad m_2 = \rho_2 \cdot \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot h_2, \\ m_3 = \rho_3 \cdot \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot L_3, \quad m_4 = \rho_4 \cdot \frac{\pi \cdot D_4^2}{4} \cdot L_4.$$

6. По формуле $I_9 = \frac{mgL \cdot (\overline{T}_9)^2}{4\pi^2}$ и данным таблицы 4 рассчитайте экспериментальное значение момента инерции, приняв, что масса маятника равна

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4.$$

7. Рассчитайте теоретическое значение момента инерции маятника, используя соотношение

$$I_m = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \frac{1}{2}m_1 \frac{D_1^2}{4} + \frac{1}{2}m_2 \frac{D_2^2}{4} + \frac{1}{3}m_3 L_3^2 + \frac{1}{12}m_4 L_4^2 + m_4 d^2$$

8. Оцените погрешности измерений. Сравните результаты, полученные теоретически и экспериментально, пользуясь формулой $\delta = \frac{|I_9 - I_m|}{I_9} \cdot 100\%$.

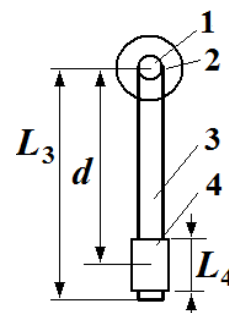


Рисунок 1 – Физический маятник

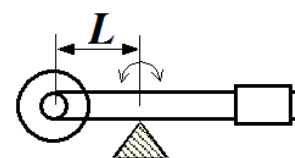


Рисунок 2 – Определение центра масс маятника

Таблица 3

Экспериментальные данные для определения момента инерции тела сложной конфигурации

$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$t_5, \text{с}$	$t_{cp}, \text{с}$	$\overline{T}_9, \text{с}$	$I_9, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\varepsilon, \%$

Таблица 4

Данные для теоретического расчета момента инерции тела сложной конфигурации

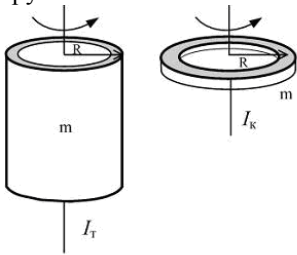
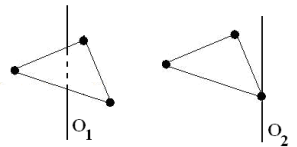
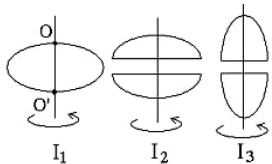
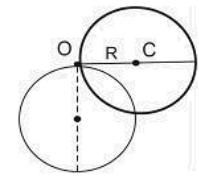
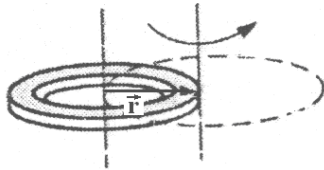
№ изм.	$D_1, \text{м}$	$D_2, \text{м}$	$D_3, \text{м}$	$D_4, \text{м}$	$h_1, \text{м}$	$h_2, \text{м}$	$L_3, \text{м}$	$L_4, \text{м}$	$d, \text{м}$
1									
2									
3									
4									
5									
среднее									
Данные установки : $\rho_{1,2} = 7400 \text{ кг/м}^3$; $\rho_3 = 8000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_4 = 7400 \text{ кг/м}^3$.									
$m_1 =$	$K2,$	$m_2 =$	$K2,$	$m_3 =$	$K2,$	$m_4 =$	$K2,$	$m =$	$K2$
$L =$	$m,$	$I_1 =$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2,$	$I_2 =$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2,$	$I_3 =$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2,$	$I_4 =$	$\text{кг} \cdot \text{м}^2$
$I_m =$ $\text{кг} \cdot \text{м}^2,$ $\delta =$ $\%$									

4 Обработка результатов измерений

ВЫВОДЫ:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется моментом инерции материальной точки, твердого тела и от чего они зависят? Физический смысл момента инерции.
2. Что такое физический маятник?
3. Сформулируйте теорему Гюйгенса-Штейнера.
4. В чем состоит метод проверки справедливости теоремы Гюйгенса-Штейнера, используемый в данной работе?
5. Получите формулы для периода колебаний стержня и обруча.
6. Каким образом теорема Гюйгенса-Штейнера применяется для расчета периода колебаний физического маятника?
7. По указанию преподавателя получите формулу для момента инерции симметричного тела относительно его главной оси симметрии.

<p>1. Тонкостенная трубка и кольцо, имеющие одинаковые массы и радиусы, вращаются с одинаковой угловой скоростью. Отношение величины момента импульса трубки к величине момента импульса колеса равно...</p> 	<p>2. Момент инерции тела массой 1 кг относительно центра масс равен 6 кг·м², а относительно параллельной ей оси 10 кг·м². Найти расстояние между осями.</p>
<p>3. Три маленьких шарика расположены в вершинах правильного треугольника. Момент инерции этой системы относительно оси O_1, перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через его центр – I_1. Момент инерции этой же системы относительно оси O_2, перпендикулярной плоскости треугольника и проходящий через один из шаров – I_2. Как соотносятся моменты инерций I_1 и I_2?</p> 	<p>4. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковое расстояние и расставили симметрично относительно оси OO'. Как соотносятся между собой моменты инерции I_1, I_2 и I_3 относительно оси OO'?</p> 
<p>5. Тонкий обруч радиусом 1 м, способный свободно вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку O перпендикулярно плоскости рисунка, отклонили от вертикали на угол $\pi/2$ и отпустили. В начальный момент времени угловое ускорение (в рад/с²) обруча равно...</p> 	<p>6. Если ось вращения тонкого кольца перенести из центра масс на край, то момент инерции относительно новой оси увеличится в...</p> 

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИИ МАЯТНИКА МАКСВЕЛЛА

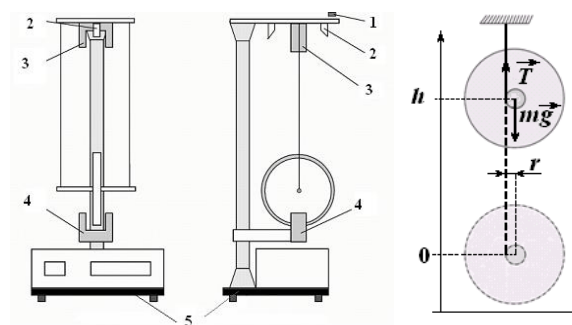
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



ПОДГОТОВКА УСТАНОВКИ К РАБОТЕ

1. Проверьте устойчивость прибора. При необходимости отрегулируйте положения основания 5 при помощи регулировочных опор.
2. Установите при помощи кронштейна 4 высоту падения маятника h . При помощи воротничка с фиксатором 1 отрегулируйте длину нитей маятника Максвелла (обратиться к инженеру!). Следите за тем, чтобы ось маятника была расположена горизонтально.
3. На диск маятника наложите стальное кольцо. Убедитесь, что край кольца находится примерно на 2 мм ниже оптической оси нижнего фотодатчика. Проверьте, соответствует ли нижняя кромка кольца нулю на стойке. Если нет, отрегулируйте высоту нижнего кронштейна с фотодатчиком.
4. Включите кнопку «Сеть». Нажмите кнопку «Сброс» чтобы убедиться, что на табло установились нули.
5. Аккуратно вращая диск маятника, намотайте на его ось нить подвеса, укладывая ее равномерно, плотно прилегающими витками. Зафиксируйте маятник в верхнем положении с помощью электромагнита.
6. Нажмите кнопку «Пуск» на передней панели миллисекундомера. При этом маятник придет в движение, а таймер начнет отсчет времени. В момент пересечения маятником оптической оси фотодатчика отсчет времени прекратится.
7. Прочитайте измеренное значение времени падения маятника и занести его в нужную таблицу.
8. Нажмите кнопку «Сброс» и приведите маятник в исходное положение (зафиксируйте его в верхнем положении с помощью электромагнита).

3 Порядок выполнения работы и задания

Внимание! При проведении опыта нужно следить, чтобы нить наматывалась на ось в **один слой не слишком туго**.

В опытах, проводимых без кольца, к измеренной высоте нужно **добавить** 1 см, т.е. толщину кольца.

Расчеты проводить с точностью до четырех значащих цифр после запятой!

Задание 1. Экспериментальное определение момента инерции I маятника Максвелла.

1. Измерьте время падения маятника с определенной высоты. Опыты провести с разными сменными кольцами не менее 5 раз. Массу колец и время падения запишите в таблицу 1.
2. Вычислите среднее время падения t_{cp} .
3. Используя значение t_{cp} , по формуле $I = m(r + r_n)^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right)$ определите момент инерции маятника.
4. Рассчитайте погрешности измерений моментов инерции.

Таблица 1

№ изм.	$m_k, \text{кг}$	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$t_4, \text{с}$	$t_5, \text{с}$	$t_{cp}, \text{с}$	$I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\Delta I, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	$\varepsilon, \%$
1										
2										
Данные установки: $h =$ м ; $R_1 =$ м ; $R_2 =$ м ; $r =$ м ; $r_n =$ м .										

Задание 2. Исследование зависимости $I(h)$.

- 1 Для указанного преподавателем кольца провести измерение времени падения маятника с 3-х различных высот.

- 2 Используя выражение $I = m(r + r_h)^2 \left(\frac{gt^2}{2h} - 1 \right)$, рассчитайте момент инерции I маятника Максвелла для

этих высот. Результаты расчетов запишите в таблицу 2. Опишите зависимость момента инерции маятника от высоты, сделайте выводы.

Таблица 2

№ изм.	$h, м$	$t_1, с$	$t_2, с$	$t_3, с$	$t_4, с$	$t_5, с$	$t_{cp}, с$	$I, кг·м^2$	$I_{теор}, кг·м^2$	$\delta, \%$
1										
2										
3										

Данные установки: $m =$ кг; $R_1 =$ м; $R_2 =$ м; $r =$ м; $r_H =$ м.

Моменты инерции: $I_d =$ кг·м²; $I_{cm} =$ кг·м²; $I_K =$ кг·м².

Задание 3. Теоретический расчет момента инерции маятника Максвелла.

- 1 По формулам $I_d = \frac{m_d R_d^2}{2}$, $I_{cm} = \frac{m_{cm} r^2}{2}$, $I_k = \frac{m_k}{2} (R_1^2 + R_2^2)$ рассчитайте моменты инерции всех элементов маятника (диска, стержня, кольца).

- 2 По формуле $I = I_{cm} + I_d + I_k$ вычислите теоретическое значение момента инерции маятника Максвелла.

- 3 Сравните теоретическое значение момента инерции с экспериментальным значением, оценив величину относительного отклонения по формуле $\delta = \frac{|I_{теор} - I|}{I_{теор}} \cdot 100 \%$. Объясните возникшие расхождения.

4 Обработка результатов измерений

[illegible]

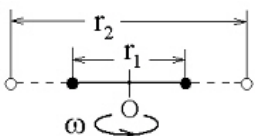
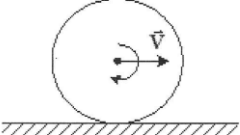
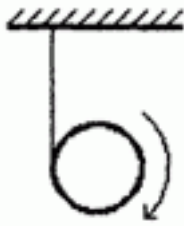
Blank lined area for writing.

ВЫВОДЫ:

Blank lined area for writing conclusions.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- 1 Что такое момент инерции материальной точки, абсолютно твердого тела?
- 2 Что такое энергия? Какие виды энергии вы знаете?
- 3 Какие системы отсчета называются замкнутыми?
- 4 Какие силы называют консервативными и неконсервативными? Приведите примеры таких сил.
- 5 Сформулируйте и запишите закон сохранения механической энергии применительно для консервативных и диссипативных систем.
- 6 Что представляет собой маятник Максвелла? Какое движение он совершает?
- 7 Запишите закон сохранения энергии для маятника Максвелла.
- 8 Почему, опустившись до нижней точки, маятник снова начинает подниматься вверх? Объясните, почему маятник не поднимается на прежнюю высоту.
- 9 Какая энергия маятника больше – кинетическая энергия поступательного движения или кинетическая энергия вращения? Запишите формулы, раскройте смысл величин, входящих в них.
- 10 Как изменяются ускорение, скорость и сила натяжения нитей при движении маятника.

<p>1. Два шарика закреплены на невесомом длинном стержне на расстоянии r_1 друг от друга. Стержень может вращаться без трения в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей посередине между шариками. Стержень раскрутили до угловой скорости ω_1, при этом была совершена работа A_1. Шарика раздвинули симметрично на расстояние $r_2=2r_1$ и раскрутили до той же угловой скорости. При этом была совершена работа A_2...</p> 	<p>2. Обруч массой $m=0,3$ кг и радиусом $R=0,5$ м привели во вращение, сообщив ему энергию вращательного движения 1200 Дж, и опустили на пол так, что его ось вращения оказалась параллельной плоскости пола. Если обруч начал двигаться без проскальзывания, имея кинетическую энергию поступательного движения 200 Дж, то сила трения совершила работу, равную...</p> 
<p>3. Два цилиндра, изготовленных из различных материалов, имеют одинаковую массу $m_{\text{спл}}=m_{\text{пол}}=80$ кг. Их наружные диаметры $d_{\text{спл}}=D_{\text{пол}}=240$ мм, а внутренний диаметр полого цилиндра $d_{\text{пол}}=200$ мм. Полый цилиндр вращается вокруг собственной оси с угловой скоростью $\omega_{\text{пол}}=20$ рад/с. С какой угловой скоростью должен вращаться сплошной цилиндр, чтобы оба цилиндра имели одинаковую кинетическую энергию?</p>	<p>4. Момент импульса равномерно вращающегося диска равен 10 кг · м² / с. Определить кинетическую энергию диска (в Дж), если его угловая скорость 4 рад/с.</p>
<p>5. С наклонной плоскости одновременно начинают скатываться без скольжения сплошной цилиндр и шар одинаковых масс и одинаковых радиусов. Отношение скоростей цилиндра и шара в некоторый момент времени равно...</p>	<p>6. На однородный диск массой m намотана нить. Свободный конец нити привязали к потолку и диск отпустили. Сила натяжения нити в процессе опускания диска равна ... (нить все время вертикальна)</p> 

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ МЕТОДОМ СТОКСА

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки

3 Порядок выполнения работы и задания

1. Опустите пробный шарик в цилиндр с исследуемой жидкостью как можно ближе к его оси и пронаблюдайте движение шарика. В процессе наблюдения за шариком в момент прохождения им верхней метки глаз должен находиться на одном уровне с меткой.
2. Опустив исследуемый шарик в цилиндр, измерьте секундомером время t равномерного движения шарика между двумя метками с точностью не менее $0,01$ с. Повторите опыт с остальными исследуемыми шариками пять раз.
3. Измерьте расстояние l , пройденное шариком. Результаты измерений запишите в таблицу.
4. Используя значения l , t_{cp} , D , по формуле $\eta = \frac{(\rho_1 - \rho)}{18 \cdot l} D^2 \cdot t \cdot g$ вычислите коэффициент динамической вязкости жидкости. Сравните значение полученной вязкости жидкости с её табличным значением.
5. Используя значение η_{cp} , по формуле $\nu = \eta / \rho$ вычислите кинематическую вязкость жидкости ν .
6. Оцените значение числа Рейнольдса Re по формуле $Re = \frac{\rho \cdot \nu \cdot D}{\eta}$, где ν – скорость равномерного движения шарика. Сделайте вывод о характере обтекания шарика жидкостью (ламинарное или турбулентное) в данных условиях.
7. Вычислите погрешность определения вязкости по формулам, соответствующим косвенным измерениям с независимыми наблюдениями аргументов. Результаты вычислений запишите в таблицу.

Таблица 1

№ изм.	t , с	t_{cp} , с	l , м	η_{cp} , Па·с	$\Delta\eta$, Па·с	ε_η , %
1						
2						
3						
4						
5						
Данные установки: $D = (76 \pm 2) \cdot 10^{-5}$ м ; $\rho_1 = (1500 \pm 5)$ кг/м ³ ; $\rho = (1000 \pm 5)$ кг/м ³ .						
$\nu =$ м ² /с ; $\nu =$ м/с ; $Re =$.						

4 Обработка результатов измерений

Blank lined area for writing.

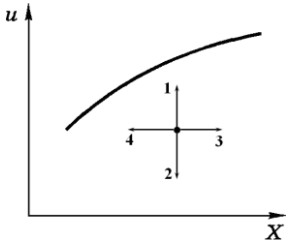
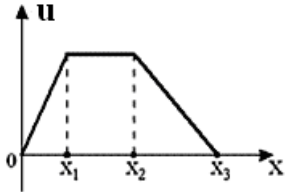
ВЫВОДЫ:

Blank lined area for writing conclusions.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните механизм возникновения внутреннего трения в жидкостях и газах.
2. Сформулируйте закон Ньютона для вязкости. Поясните физический смысл коэффициента динамической вязкости.
3. От каких факторов зависит коэффициент динамической вязкости в жидкостях и газах?
4. Что называется кинематической вязкостью? От каких факторов зависит кинематическая вязкость газов и жидкостей?
5. Почему скорость течения вязкой жидкости различна в различных точках сечения потока? Что такое градиент скорости?
6. Какое течение называется ламинарным, турбулентным? Какая безразмерная физическая величина является критерием перехода от ламинарного течения жидкости к турбулентному?
7. В чем заключается метод Стокса? Запишите закон Стокса и укажите область его применения.
8. Опишите движение шарика, падающего в жидкости. Какие силы действуют на движущийся шарик?
9. Почему измерение времени падения шарика начинается не от поверхности жидкости, а от метки, достаточно удаленной от поверхности?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

<p>1. На рисунке приведена зависимость скорости течения u газа от координаты x. Какой вектор указывает направление плотности потока импульса \vec{j}_p? ...</p> 	<p>2. На рисунке показан график зависимости скорости течения газа u от координаты x. Построить график зависимости проекции плотности потока импульса от координаты x.</p> 
<p>3. Какой наибольшей скорости v может достичь дождевая капля диаметром $D=0,3$ мм, если динамическая вязкость воздуха $\eta = 1,2 \cdot 10^{-5}$ Па·с?</p>	<p>4. Перенос чего осуществляется в явлениях диффузии, внутреннего трения, теплопроводности?</p> <p>Какое из приведенных уравнений соответствует закону теплопроводности Фурье, закону диффузии Фика, закону Ньютона для вязкости? Дать пояснения величин, входящих в эти формулы.</p> $j_p = -\eta \frac{dv}{dx} \quad j_m = -D \frac{d\rho}{dx} \quad j_E = -\lambda \frac{dT}{dx}$
<p>5. Стеклянный шарик объемом 1 см^3 равномерно падает в воде. При перемещении шарика на 10 м выделяется $0,17$ Дж тепла. Найдите плотность стекла.</p>	<p>6. Шарик всплывает с постоянной скоростью v в жидкости, плотность которой в 4 раза больше плотности материала шарика. Во сколько раз сила трения, действующая на всплывающий шарик, больше силы тяжести, действующей на него?</p>

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДЛИНЫ СВОБОДНОГО ПРОБЕГА И ЭФФЕКТИВНОГО
ДИАМЕТРА МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА

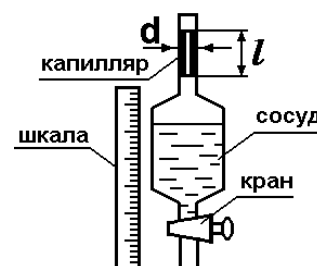
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы и задания

1. Заполнить сосуд водой. Поместить под кран стакан. Открыть кран и, дождавшись, когда вода начнет вытекать из сосуда **каплями**, заменить стакан на мерную колбу, одновременно включив секундомер. В момент начала падения капель измерить высоту начального уровня h_1 воды в сосуде.
2. Когда в мерной колбе объем жидкости станет равным $V=50$ мл, перекрыть кран и остановить секундомер. Записать время t истечения воды в таблицу. Измерить новый уровень h_2 воды в сосуде.
3. Опыт повторить три раза. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Таблица

№ изм.	h_1 , м	h_2 , м	t , с	ΔP , Па	$\langle \lambda \rangle$, м	$\Delta \langle \lambda \rangle$, м	$\varepsilon_{\langle \lambda \rangle}$, %	D , м
1								
2								
3								
среднее	—	—						
Данные установки: $V=(50 \pm 0,5)$ мл ; $\rho_1=(1000 \pm 5)$ кг/м ³ ; $l=$ мм ; $r=$ мм ; $T=$ К ; $P=$ Па .								

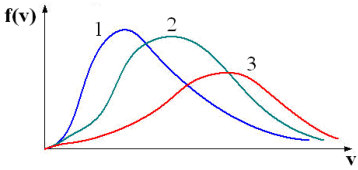
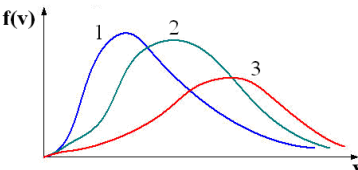
4. Рассчитать разность давлений на концах капилляра по формуле $\Delta P = \rho_l \cdot g \frac{h_1 - h_2}{2}$, где ρ_l – плотность воды.
5. По средним значениям времени t_{cp} и разности давлений ΔP_{cp} вычислить среднюю длину свободного пробега молекулы воздуха по формуле $\langle \lambda \rangle = \frac{3\pi \cdot r^4 \cdot \Delta P_{cp} \cdot t_{cp} \cdot \sqrt{\pi \cdot R \cdot T}}{16 \cdot V \cdot l \cdot P \cdot \sqrt{2M}}$.
6. Оценить погрешность измерений, как результат косвенных измерений.
7. По среднему значению длины свободного пробега определить эффективный диаметр молекулы воздуха по формуле $D = \sqrt{\frac{T \cdot P_0}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot n_0 \cdot P \cdot T_0 \cdot \langle \lambda \rangle}}$.

4 Обработка результатов измерений

Blank lined paper for writing.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое средняя длина свободного пробега и эффективный диаметр молекулы?
2. Записать формулу, связывающую коэффициент внутреннего трения со средней длиной свободного пробега молекулы.
3. В чем заключается метод Пуазейля?
4. Записать формулу распределения молекул по скоростям, дать пояснения.
5. Дать определения средней арифметической скорости, наиболее вероятной скорости и средней квадратичной скорости.
6. Вывести выражение для эффективного диаметра молекулы.
7. От чего зависят средняя длина свободного пробега и эффективный диаметр молекулы?

<p>1. В трех одинаковых сосудах при равных условиях находится одинаковое количество водорода, гелия и азота.</p> <div style="text-align: center;"> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">H₂</div> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">He</div> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">N₂</div> </div> <p>Какая кривая будет описывать распределение скоростей молекул гелия?</p> 	<p>2. В трех одинаковых сосудах находится одинаковое количество газа, причем $T_1 > T_2 > T_3$.</p> <div style="text-align: center;"> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">T₁</div> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">T₂</div> <div style="display: inline-block; border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 2px;">T₃</div> </div> <p>Распределение скоростей молекул в сосуде с температурой T_1 будет описывать кривая...</p> 
<p>3. В закрытом сосуде находится газ, давление которого составляет 100 кПа. После нагревания давление стало равным 225 кПа. Как изменилась при этом средняя квадратичная скорость молекул газа?</p>	<p>4. В колбе объемом 100 см³ находится 0,5 г азота. Определить среднюю длину свободного пробега молекул азота при этих условиях.</p>
<p>5. Определите наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет 0,35 кг/м³.</p>	<p>6. Определить среднюю арифметическую скорость $\langle v \rangle$ молекул газа, если их средняя квадратичная скорость $\langle v_{кв} \rangle = 1000$ м/с.</p>

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА ВОЗДУХА
МЕТОДОМ АДИАБАТИЧЕСКОГО РАСШИРЕНИЯ

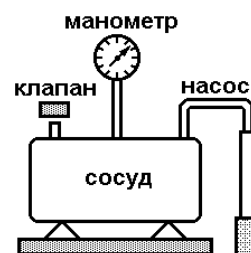
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



3 Порядок выполнения работы и задания

1. При закрытом клапане накачать воздух в сосуд так, чтобы измеряемое манометром избыточное давление стало равным 100 – 130 мм. рт. ст.
2. Через некоторое время, когда давление перестанет падать, записать в таблицу величину давления ΔP_1 .
3. Открыть на мгновение клапан сосуда и, когда стрелка манометра упадет до нуля, быстро закрыть его. Через некоторое время, когда давление перестанет расти, записать величину давления ΔP_3 в таблицу.
4. Повторить пункты 1-3 пять раз.

5. По формуле $\gamma = \frac{\Delta P_1}{\Delta P_1 - \Delta P_3}$ рассчитать коэффициент Пуассона для каждого опыта. Вычислить среднее значение

коэффициента Пуассона $\gamma_{\text{ср}}$.

6. Найти теоретическое значение коэффициента Пуассона $\gamma_{\text{теор}}$ для воздуха, считая его молекулы жесткими двухатомными (*указание*: воспользоваться определениями коэффициента Пуассона и молярных теплоемкостей при постоянном объеме и давлении).

7. Сравнить теоретическое и среднее экспериментальное значения коэффициента Пуассона, оценив величину

относительного отклонения по формуле $\delta = \frac{|\gamma_{\text{теор}} - \gamma_{\text{ср}}|}{\gamma_{\text{теор}}} \cdot 100 \%$.

Таблица

№ изм.	ΔP_1 , мм. рт. ст.	ΔP_3 , мм. рт. ст.	γ	$\gamma_{\text{ср}}$	$\gamma_{\text{теор}}$	$\Delta \gamma$	δ , %
1							
2							
3							
4							
5							

4 Обработка результатов измерений

Blank lined area for writing.

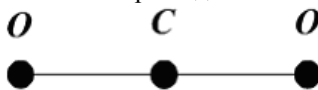
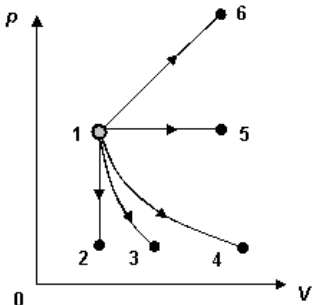
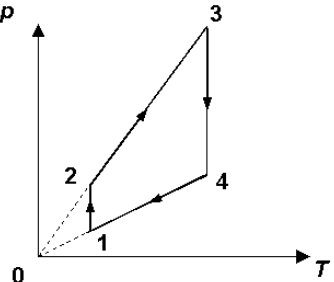
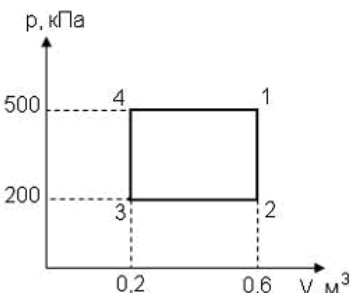
ВЫВОДЫ:

Blank lined area for writing conclusions.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое изопроцессы и каким законам они подчиняются? Нарисуйте графики этих процессов.
2. Сформулируйте первое начало термодинамики. Запишите этот закон применительно к изопроцессам и дайте пояснения.
3. Что такое удельная и молярная теплоемкости вещества? От чего они зависят, в каких единицах измеряются?
4. Что такое внутренняя энергия идеального газа? Дайте определение работы газа и количества теплоты. От чего зависят эти характеристики.
5. Выведите уравнение Майера. Каков физический смысл универсальной газовой постоянной?
6. Выведите формулу для молярных теплоемкостей C_V и C_p идеального газа.
7. Дайте определение числа степеней свободы молекулы. Чему равна величина i для 1-, 2-, 3- и многоатомного идеальных газов?
8. Что такое коэффициент Пуассона γ ? Рассчитайте теоретическое значение показателя адиабаты для 1-, 2- и 3- атомного идеального газа.
9. В чем заключается адиабатический метод Клемана и Дезорма для определения γ ?
10. Опишите рабочий цикл экспериментальной установки по P - V диаграмме. Как и почему изменяется температура газа в колбе при проведении опыта?

ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ

<p>1. Молярная теплоемкость молекулы идеального газа при постоянном давлении равна $C_p = 9R/2$, где R – универсальная газовая постоянная. Число вращательных степеней свободы молекулы равно...</p>	<p>2. Кинетическая энергия вращательного движения линейной молекулы углекислого газа CO_2 (см. рис.), согласно модели жесткой связи атомов в молекуле, составляет от полной энергии долю...</p> 
<p>3. Идеальному двухатомному газу сообщили 1000 Дж теплоты при постоянном давлении. Определить работу, совершенную газом и изменение внутренней энергии газа.</p>	<p>4. На рисунке показаны различные процессы изменения состояния в идеальном одноатомном газе. Укажите процессы, в которых внутренняя энергия идеального газа убывает. Кривая 1-4 – изотерма, кривая 1-3 – адиабата.</p> 
<p>5. На рисунке показан график процесса в координатах $P(T)$. Какие участки графика соответствуют случаю, когда газ получает тепло извне?</p> 	<p>6. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы за весь цикл к работе при нагревании газа равно...</p> 

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИРАЩЕНИЯ ЭНТРОПИИ ПРИ ПЛАВЛЕНИИ ОЛОВА

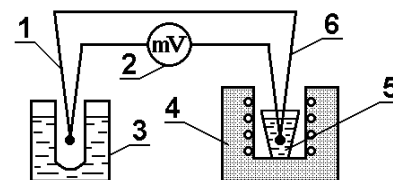
ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

Приборы и оборудование:

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Теоретическое обоснование работы

2 Описание лабораторной установки



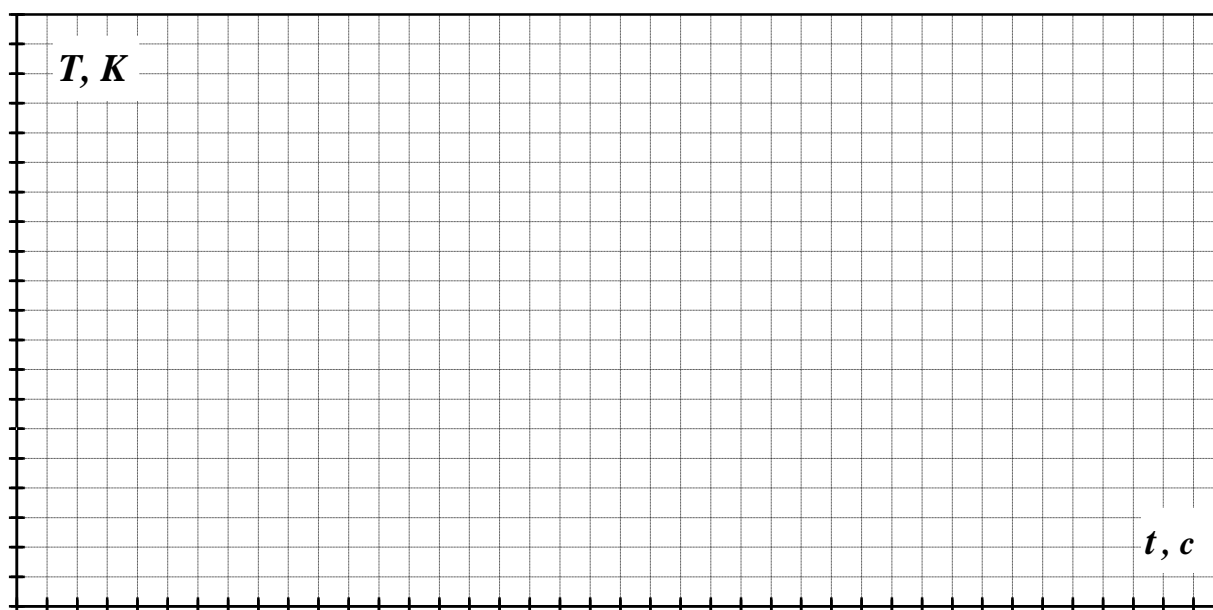
3 Порядок выполнения работы и задания

1. Включите установку в сеть. Запишите показания милливольтметра через каждые **10 секунд** при нагревании и плавлении олова. Результаты измерений занесите в таблицу.
2. Когда олово расплавится выключите установку и, продолжая отсчет времени, снимите аналогичные измерения при охлаждении олова.
3. По приведенному на установке градуировочному графику переведите показания милливольтметра в значения температуры.
4. Постройте график зависимости температуры от времени $T=f(t)$.
5. По графику определите температуру плавления олова. Этой температуре соответствует участок кривой, параллельной оси времени.
6. По формуле $\Delta S = c \cdot m \cdot \ln\left(\frac{T_{пл}}{T_к}\right) + \frac{\lambda \cdot m}{T_{пл}}$ вычислите приращение энтропии при нагревании и плавлении олова.

Таблица

№ изм.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Время, с										
Показ. милливольтметра, мВ										
Температура, К										
№ изм.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Время, с										
Показ. милливольтметра, мВ										
Температура, К										
№ изм.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Время, с										
Показ. милливольтметра, мВ										
Температура, К										
№ изм.	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Время, с										
Показ. милливольтметра, мВ										
Температура, К										
Данные установки: $m = (0,0020 \pm 0,0005) \text{ кг}$; $T_к = 293 \text{ К}$;										
$c = (0,230 \pm 0,001) \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{К)}$; $\lambda = (58,6 \pm 0,1) \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}$.										
Температура плавления: $T_{пл} =$ К ; Приращение энтропии: $\Delta S =$ Дж/К .										

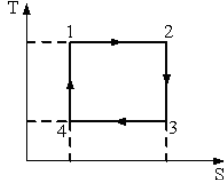
4 Обработка результатов измерений



ВЫВОДЫ:

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое термодинамическая система, термодинамические параметры?
2. Какая система называется равновесной?
3. Какие процессы называются обратимыми, какие необратимыми? Приведите примеры таких процессов.
4. Что такое энтропия? Статистическая и термодинамическая интерпретация энтропии.
5. Сформулируйте второе и третье начала термодинамики.
6. Запишите неравенство Клаузиуса.
7. Назовите основные свойства энтропии.
8. Как изменяется энтропия при переходе из одного агрегатного состояния в другое?
9. Что называется фазой? Что такое фазовый переход первого и второго рода? Приведите примеры фазовых переходов.
10. Объясните суть метода измерения приращения энтропии в данной работе.

<p>1. При температуре 500 К к телу подвели тепло в количестве 15 Дж. При этом энтропия тела увеличилась на...</p>	<p>2. На рисунке изображен цикл Карно в координатах (T, S), где S – энтропия. На каком этапе происходит адиабатное расширение, на каком этапе теплота подводится к системе?</p> 
<p>3. 1 моль одноатомного идеального газа при постоянном объеме 10 м³ увеличил свою температуру в 2 раза. Изменение энтропии газа равно... (Принять R=8,31 Дж/(моль·К), ln2 = 0,693).</p>	<p>4. 1 моль одноатомного идеального газа при постоянной температуре 100 К увеличил свой объем в 2 раза. Изменение энтропии газа равно... (Принять R=8,31 Дж/(моль·К), ln2 = 0,693)</p>
<p>5. Кусок льда, находившийся при температуре -10 °С, нагрели до 0°С и превратили в воду той же температуры. Как изменялась энтропия системы лед-вода?</p>	<p>6. Чтобы расплавить некоторую массу меди, требуется большее количество теплоты, чем для плавления такой же массы цинка, так как удельная теплота плавления меди в 1,5 раза больше ,чем цинка (λ_{Cu}=180 кДж/кг, λ_{Zn}=120 кДж/кг). Температура плавления меди примерно в 2 раза выше чем у цинка (T_{Cu} =1356 К, T_{Zn}=693К). Разрушение кристаллической решетки металла при плавлении приводит к возрастанию энтропии. Если энтропия цинка увеличилась на ΔS, то изменение энтропии меди будет равно...</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. ТАБЛИЦА КОЭФФИЦИЕНТОВ СТЬЮДЕНТА

число измерений n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
надежность $\alpha=0,95$	12,7	4,3	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4	2,3	2,3

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. **Савельев И.В.** Курс общей физики. В 3-х тт. Т.1. Механика. Молекулярная физика. 2008.- 352 с. Доступ из ЭБС «Лань».
 2. **Трофимова Т.И.** Курс физики. М.: Высшая школа. – 2003. 542 с.
 3. **Курбачев Ю.Ф.** Физика: учебное пособие / Ю.Ф. Курбачев. – М.: изд. центр ЕАОИ, 2011. - 216 с. Доступ из ЭБС «Университетская библиотека online».
 4. **Грабовский Р. И.** Курс физики [Электронный ресурс] : учебное пособие. Электрон. Дан. – СПб. : Лань, 2012. - 608 с. Доступ из ЭБС «Лань».
 5. **Кузнецов С.И.** Курс физики с примерами решения задач. Часть I. Механика. Молекулярная физика. Термодинамика. 2014.- 464 с. Доступ из ЭБС «Лань».
-

Сергей Леонидович Кустов
Вероника Викторовна Романенко
Евгения Владимировна Черных
Наталья Михайловна Гурова

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ФИЗИКЕ

ЧАСТЬ I. МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ ОТЧЕТОВ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

Издано в авторской редакции.
Подписано в печать 05.09.18. Формат 60×84 1/8.
Печать – ризография. Усл.п.л. 4,2.
Тираж 100 экз. Заказ 2018 -

Издательство Алтайского государственного
технического университета им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.