

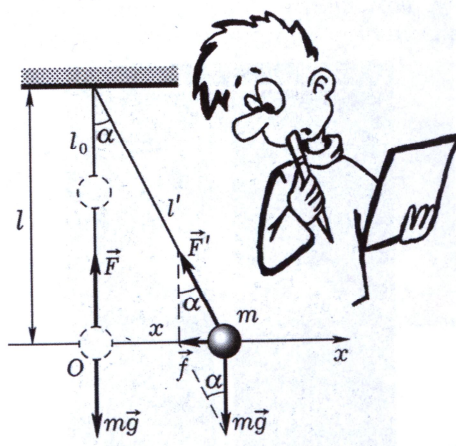
ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра общей физики

# 389-2010

## КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

для зачета по лабораторным работам по дисциплине «Физика»  
«Механика. Молекулярная физика и термодинамика»  
для студентов всех специальностей очной формы обучения



Воронеж 2010

Составители: канд. физ.-мат.наук А.Г.Москаленко, канд. техн. наук М.Н. Гаршина, канд. физ.-мат. наук Е.П. Татьяна, канд. физ.-мат. наук С.В. Бурова

УДК 531 (07)

Контрольные задания для зачета по лабораторным работам по дисциплине «Физика» «Механика. Молекулярная физика и термодинамика», для студентов всех специальностей очной формы обучения / ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.Г. Москаленко, М.Н. Гаршина, Е.П.Татьянина, С.В. Бурова. Воронеж, 2010. 61 с.

Методические указания содержат теоретический минимум и варианты контрольных заданий по дисциплине «Физика» для сдачи зачета по лабораторным работам «Механика. Молекулярная физика и термодинамика».

Предназначены для студентов первого курса очной формы обучения всех специальностей.

Библиогр.: 8 назв.

Рецензент д-р. физ.-мат. наук, проф. Е.В. Шведов

Ответственный за выпуск зав. кафедрой профессор В.С.Железный

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ГОУВПО «Воронежский  
государственный технический  
университет», 2010

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.0

## Расчет погрешностей измерений при определении объема цилиндра

### Теоретический минимум

- Погрешности измерений и их типы.
- Систематическая (приборная) и случайная погрешности. Доверительный интервал и доверительная вероятность.
- Методика расчета погрешностей прямых и косвенных измерений.
- Графическое представление результатов измерений.

### Контрольные задания

#### Вариант 1.

1. Табличное значение плотности свинца  $11,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Какова абсолютная погрешность представленной величины?

2. Какова приборная погрешность цифрового секундомера, если его показания  $t = 15,28 \text{ с}$ ?

3. Получить формулу для вычисления абсолютной систематической погрешности при определении ускорения свободного падения с помощью математического маятника. Расчетная формула имеет вид:

$$g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2}.$$

4. По представленной таблице результатов измерений оценить случайную погрешность и записать в окончательном виде полученный результат. Доверительную вероятность принять равной  $\alpha = 0,9$ .

№ измерения	x, мм	$ \bar{x} - x_i $ , мм	$ \bar{x} - x_i ^2$ , мм <sup>2</sup>
1	30,15		
2	30,10		
3	30,20		
Ср.знач.	$\bar{x} =$		$\Sigma =$

5. Округлить среднее арифметическое значение искомой величины  $\bar{x} = 1,4795$  с учетом полученной абсолютной погрешности  $\Delta x = 0,04$ .

### Вариант 2

1. Табличное значение плотности стали  $7,7 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Какова абсолютная погрешность представленной величины?

2. Чему равна приборная погрешность штангенциркуля с ценой деления  $0,05 \text{ мм}$ ?

3. Получить формулу для вычисления абсолютной систематической погрешности при определении ускорения равноускоренного движения. Расчетная формула имеет вид:

$$a = \frac{2S}{t^2}.$$

4. По представленной таблице результатов измерений оценить случайную погрешность и записать в окончательном виде полученный результат. Доверительную вероятность принять равной  $\alpha = 0,9$ .

№ измерения	$t, \text{ с}$	$ \bar{t} - t_i , \text{ с}$	$ \bar{t} - t_i ^2, \text{ с}^2$
1	12,015		
2	12,021		
3	12,017		
4	12,020		
5	12,018		
Ср.знач.	$\bar{t} =$		$\Sigma =$

5. Округлить среднее арифметическое значение искомой величины  $\bar{x} = 17,0342$  с учетом полученной абсолютной погрешности  $\Delta x = 0,017$ .

### Вариант 3

1. Табличное значение модуля Юнга стали  $2,16 \cdot 10^7 \text{ Па}$ . Какова абсолютная погрешность представленной величины?

2. Чему равна приборная погрешность штангенциркуля с ценой деления 0,1мм?

3. Получить формулу для вычисления абсолютной систематической погрешности при определении плотности шара. Расчетная формула имеет вид:

$$\rho = \frac{3m}{4\pi R^3}.$$

4. По представленной таблице результатов измерений оценить случайную погрешность и записать в окончательном виде полученный результат. Доверительную вероятность принять равной  $\alpha=0,95$ .

№ измерения	x, мм	$ \bar{x} - x_i $ , мм	$ \bar{x} - x_i ^2$ , мм <sup>2</sup>
1	30,15		
2	30,10		
3	30,20		
Ср.знач.	$\bar{x} =$		$\Sigma =$

5. Округлить среднее арифметическое значение искомой величины  $\bar{x} = 17,0342$  с учетом полученной абсолютной погрешности  $\Delta x = 0,05$ .

#### Вариант 4

1. Табличное значение модуля Юнга меди  $1,18 \cdot 10^7$  Па. Какова абсолютная погрешность представленной величины?

2. Какова приборная погрешность цифрового вольтметра, если его показания  $U = 10,575$  мВ?

3. Получить формулу для вычисления абсолютной систематической погрешности при определении момента инерции диска. Расчетная формула имеет вид:

$$I = \frac{mR^2}{2}.$$

4. По представленной таблице результатов измерений оценить случайную погрешность и записать в окончательном

виде полученный результат. Доверительную вероятность принять равной  $\alpha=0,95$ .

№ измерения	$t, \text{с}$	$ \bar{t} - t_i , \text{с}$	$ \bar{t} - t_i ^2, \text{с}^2$
1	2,11		
2	2,13		
3	2,10		
Ср.знач.	$\bar{t} =$		$\Sigma =$

5. Округлить среднее арифметическое значение искомой величины  $\bar{x} = 17,0342 \text{ с}$  с учетом полученной абсолютной погрешности  $\Delta x = 0,017$ .

### Вариант 5

1. Табличное значение температуры плавления алюминия  $659^{\circ}\text{C}$ . Какова абсолютная погрешность представленной величины?

2. Чему равна приборная погрешность микрометра с ценой деления  $0,01\text{мм}$ ?

3. Получить формулу для вычисления абсолютной систематической погрешности при определении удельного сопротивления проволоки. Расчетная формула имеет вид:

$$\rho = \frac{\pi d^2 U}{4 \ell I}.$$

4. По представленной таблице результатов измерений оценить случайную погрешность и записать в окончательном виде полученный результат. Доверительную вероятность принять равной  $0,95$ .

№ измерения	$h, \text{мм}$	$ \bar{h} - h_i , \text{мм}$	$(\bar{h} - h_i)^2, \text{мм}^2$
1	10,30		
2	10,35		
3	10,40		
4	10,30		
Ср.знач.	$\bar{h} =$		$\Sigma =$

5. Округлить среднее арифметическое значение искомой величины  $\bar{x} = 8,40681$  с учетом полученной абсолютной погрешности  $\Delta x = 0,007$ .

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.1 Определение ускорения свободного падения на машине Атвуда

### Теоретический минимум

Основные понятия кинематики материальной точки: система отсчета, траектория, путь, перемещение.

Кинематические характеристики движения: скорость, ускорение. Нормальное, тангенциальное и полное ускорение. Кинематическое уравнение движения.

Угловая скорость и ускорение. Связь между линейными и угловыми характеристиками движения.

Закон всемирного тяготения. Сила тяжести и вес тела. Невесомость. Зависимость ускорения свободного падения от широты местности.

### Контрольные задания

#### Вариант 1

$f(t)$  1. Указать характер движения в случае  $a_n = const$ ,  $a_\tau =$

- 1) прямолинейное равноускоренное;
- 2) равномерное вращение по окружности;
- 3) неравномерное движение по окружности;
- 4) неравномерное криволинейное движение.

2. Какой смысл имеет выражение  $\int_0^t \vec{v} dt$ ?

3. Зависимость радиус-вектора частицы от времени дается уравнением

$$\vec{r} = 3t\vec{i} - 2t^2\vec{j}.$$

Чему равна проекция скорости на ось  $Ox$ ?

4. Материальная точка, двигаясь равноускоренно из состояния покоя, проходит путь  $S_1$  за время  $t_1$ . Путь  $S_2$  от начала движения оно пройдет за время  $t_2$ , равное

$$1) t_2 = t_1 \frac{S_1}{S_2} \quad 2) t_2 = t_1 \sqrt{\frac{S_2}{S_1}} \quad 3) t_2 = t_1 \sqrt{\frac{S_1}{S_2}} \quad 4) t_2 = t_1 \frac{S_2}{S_1}$$

5. Камень бросили со скоростью  $v = 10 \text{ м/с}$  под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Каков радиус кривизны в высшей точке траектории?

6. Зависимость угла поворота колеса радиусом  $R = 0,1 \text{ м}$  от времени дается уравнением

$$\varphi = 3 + 2t + t^3 \text{ (рад)}.$$

Каково нормальное ускорение точек, лежащих на ободе колеса, через 1 с после начала движения?

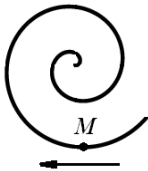
## Вариант 2

1. Перемещение - это

- 1) линия, по которой движется материальная точка
- 2) длина линии, по которой движется материальная точка
- 3) длина траектории материальной точки
- 4) направленный отрезок прямой линии, соединяющий начальное и конечное положение материальной точки.

2. Смысл выражения  $v(t)dt$ .

3. Частица движется со скоростью  $\vec{v} = At(2\vec{i} + 3\vec{j} + 4\vec{k})$ , где  $A = 1 \text{ м/с}$ . Чему равен модуль скорости в момент времени  $t = 1 \text{ с}$ ?



4. Точка  $M$  движется по спирали с постоянной по величине скоростью в направлении, указанном стрелкой. Как изменяется при этом величина нормального ускорения?

5. Мяч брошен вертикально вверх из точки, находящейся на высоте  $h$ . Чему равен модуль его начальной скорости, если известно, что за время движения мяч пролетел путь  $3h$ ?



6. Движение тела с неподвижной осью задано уравнением  $\varphi = 2\pi(6t - 3t^2)$ . Начало движения при  $t = 0$ . Сколько тело сделает оборотов до момента изменения направления вращения?

### Вариант 3

1. При неравномерном движении по окружности справедливы выражения:

1)  $a_n = f(t), a_\tau = const$

3)  $a_n = f(t), a_\tau = f(t)$

2)  $a_n = const, a_\tau = f(t)$

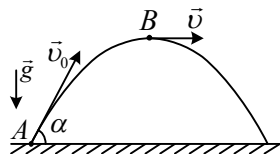
4)  $a_n = const, a_\tau = const$

2. Какой смысл имеет выражение  $\int_0^t v dt$ ?

3. Частица движется со скоростью  $\vec{v} = At(2\vec{i} + 3\vec{j} + 4\vec{k})$ ,  $A = 1 \text{ м/с}$ . Чему равен модуль ускорения в момент времени  $t=1\text{с}$ ?

4. Какова средняя скорость тела, свободно падающего с высоты  $H$  на Землю?

5. Камень бросили под углом  $\alpha$  к горизонту со скоростью  $v_0$ . Как изменяется модуль тангенциального ускорения  $\alpha_\tau$  на участке  $AB$ ?



6. Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси по закону  $\varphi = 6t - 2t^3$ . Чему равен модуль углового ускорения в момент остановки тела?

### Вариант 4

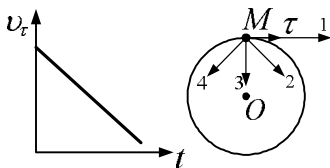
1. Тангенциальная составляющая ускорения характеризует

1) изменение направления скорости;

2) быстроту изменения скорости по модулю;

3) быстроту изменения скорости и по модулю, и по направлению;

4) увеличение модуля скорости.



2. Материальная точка  $M$  движется по окружности. График зависимости  $v_\tau$  от времени представлен на рисунке. Укажите направление полного ускорения точки  $M$ .

3. Зависимость радиус-вектора частицы от времени дается уравнением

$$\vec{r} = 3t\vec{i} - 2t^2\vec{j}.$$

Чему равна проекция ускорения на ось  $Oy$ ?

4. Тело движется равномерно из состояния покоя с ускорением  $a$ . Чему равен путь, пройденный за  $n$ -ю секунду?

5. Тело брошено с начальной скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту. Нарисовать траекторию тела и показать векторы нормального и тангенциального ускорений в точках, соответствующих началу движения и наивысшей точке подъема.

6. Зависимость угла поворота колеса радиусом  $R = 0,1$  м от времени дается уравнением

$$\varphi = 3 + 2t + t^3 \text{ (рад)}.$$

Чему равно через 1 с после начала движения нормальное ускорение точек, лежащих на ободе колеса?

### Вариант 5

1. При неравномерном криволинейном движении справедливы выражения:

1)  $a_n = const, a_\tau = 0$       2)  $a_n = const, a_\tau = f(t)$

3)  $a_n = f(t), a_\tau = f(t)$       4)  $a_n = 0, a_\tau = const$

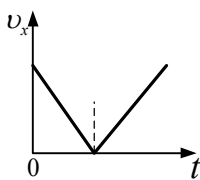
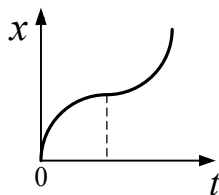
2. Какой смысл имеет выражение  $\frac{\vec{r}_2(t_2) - \vec{r}_1(t_1)}{t_2 - t_1}$  ?

3. Частица движется вдоль оси  $Ox$  по закону

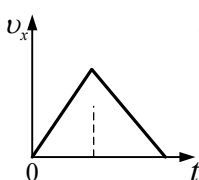
$$x = -19 + 20t - t^2.$$

Чему равна в момент времени  $t = 5$  с проекция ускорения частицы на ось  $Ox$  ?

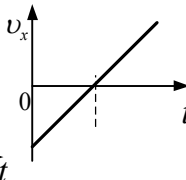
4. График зависимости координаты тела от времени прямолинейного движения представлен на рисунке. Движению этого тела соответствует график зависимости проекции скорости от времени



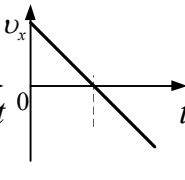
1)



2)

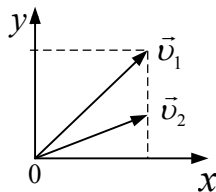


3)



4)

5. Два тела брошены под углом к горизонту так, что проекции их начальных скоростей на вертикальную ось отличаются в два раза. Чему равно отношение их времени полета  $t_1/t_2$ , до падения при полете над горизонтальной плоскостью?



6. Вал вращающийся с частотой  $n = 180$  об/мин, начал двигаться равнозамедленно с угловым ускорением  $\varepsilon = 3 \text{ рад}/\text{с}^2$ . Чему равно время до остановки?

### Вариант 6

1. Что означает выражение  $\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t) dt$  ?

2. Нормальное ускорение характеризует быстроту изменения...

- 1) направления скорости ;
- 2) направления и величины скорости;
- 3) величины скорости;
- 4) направления перемещения.

3. Зависимость радиус-вектора частицы от времени дается уравнением

$$\vec{r} = 3t\vec{i} - 2t^2\vec{j}.$$

Чему равен модуль ускорения?

4. Зависимость координаты тела от времени имеет вид:

$$x = 10 + 2t^2 + 5t \text{ (м)}.$$

Чему равна средняя скорость тела за первые 5 секунд движения?

5. Тело брошено под углом  $60^\circ$  к горизонту. Чему равно тангенциальное ускорение камня в начальный момент движения?

6. Частица движется вдоль окружности радиусом  $1 \text{ м}$  в соответствии с уравнением  $\varphi(t) = 2\pi(t^2 - 6t + 12)$  (рад). В какой момент времени частица остановится?

### Вариант 7

1. Тангенциальная составляющая ускорения направлена

- 1) произвольно;
- 2) перпендикулярно касательной к траектории к центру ее кривизны;
- 3) вдоль касательной к траектории в данной ее точке;
- 4) перпендикулярно касательной к траектории от центра ее кривизны.

2. Какой смысл имеет выражение  $\vec{v}(t)dt$ ?

3. Движение частицы определяется уравнениями  $x = 4t$ ,  $y = 2t^2$ . Каков угол между вектором скорости  $\vec{v}$  и вектором ускорения  $\vec{a}$  в момент времени  $t = 1 \text{ с}$ ?

4. Камень бросили со скоростью  $v = 10 \text{ м/с}$  под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту. Каков радиус кривизны траектории в начальный момент времени?

5. С крыши с интервалом времени  $1 \text{ с}$  падают одна за другой две капли. Каково расстояние между каплями через  $2 \text{ с}$  после начала падения второй капли?

6. Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности радиуса  $R = 1 \text{ м}$  с постоянным угловым ускорением  $\varepsilon = 2 \text{ с}^{-2}$ . Чему равно отношение нормального ускорения к тангенциальному через одну секунду?

### Вариант 8

1. Какой смысл имеет выражение  $\int_0^t a_\tau dt$  ?

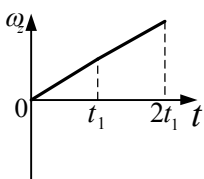
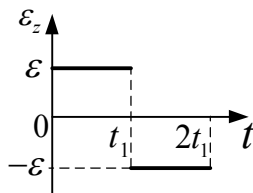
2. При равномерном вращении по окружности выполняются соотношения:

- 1)  $a_n = \text{const}$ ,  $a_\tau = 0$       2)  $a_n = \text{const}$ ,  $a_\tau = f(t)$   
 3)  $a_n = f(t)$ ,  $a_\tau = f(t)$       4)  $a_n = 0$ ,  $a_\tau = \text{const}$

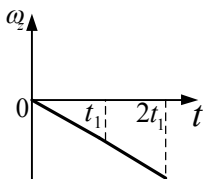
3. Частица ударяется о стенку под углом  $\alpha$  к ней и упруго отражается. Чему равен модуль приращения скорости  $|\Delta \vec{v}|$  ?

4. Тело брошено под углом  $30^\circ$  к горизонту. Чему равно тангенциальное ускорение камня в начальный момент движения?

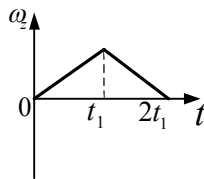
5. Твердое тело начинает вращаться вокруг оси  $Oz$ . Зависимость проекции углового ускорения  $\varepsilon_z$  на ось  $Oz$  меняется от времени  $t$  согласно графику. Такому движению соответствует график зависимости проекции угловой скорости  $\omega_z$  от времени...



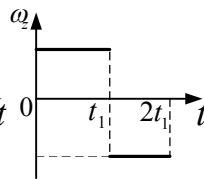
1)



2)



3)



4)

6. Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси по закону  $\varphi = 6t - 2t^3$ .

Чему равно среднее значение угловой скорости за промежуток времени от  $t = 0$  до остановки?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.2

### Определение упругого модуля сдвига стальной проволоки методом крутильных колебаний

#### Теоретический минимум

- Упругие напряжения. Нормальное и тангенциальное напряжение. Закон Гука.
- Деформации растяжения и сжатия. Модуль упругости.
- Деформации сдвига. Модуль сдвига. Связь модуля сдвига с модулем Юнга. Коэффициент Пуассона.
- Деформация кручения. Связь модуля кручения с модулем сдвига.
- Энергия упруго деформированных тел.

#### Контрольные задания

##### Вариант 1

1. Какие деформации называются упругими? пластическими?

2. Закон Гука для деформации растяжения имеет вид:

$$1) \sigma = E\varepsilon \quad 2) \varepsilon = \Delta \ell / \ell \quad 3) \tau = G\gamma \quad 4) M = f\varphi$$

3. Жесткость трех одинаковых последовательно соединенных пружин равна  $k$ . Чему равна жесткость одной пружины?

4. Во сколько раз относительное удлинение проволоки диаметром  $d_1$  больше, чем проволоки диаметром  $d_2 = 2d_1$ , если к концам проволоки приложены одинаковые силы?

5. Вагон массой  $m = 12$  т двигался со скоростью  $v = 1$  м/с. Налетев на пружинный буфер, он остановился, сжав пружину на  $x = 10$  см. Найти жесткость пружины.

## Вариант 2

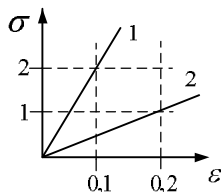
1. Что называется абсолютным удлинением тела? относительным удлинением?

2. Закон Гука для деформации кручения имеет вид:

1)  $\sigma = E\varepsilon$  .      2)  $\varepsilon = \Delta l / l$       3)  $\tau = G\gamma$       4)  $M = f\varphi$

3. Жесткость куска проволоки равна  $k$ . Чему равна жесткость двух половинок этого куска, соединенных параллельно?

4. На рисунке приведена зависимость упругого напряжения  $\sigma$  от относительной деформации  $\varepsilon$  для двух образцов. Сравните модули упругости образцов.



5. Две пружины с жесткостью  $k_1$  и  $k_2$  ( $k_1 = 2k_2$ ) растянуты до одинаковой силы натяжения. Считая деформацию упругой, сравнить работы растяжения пружины.

## Вариант 3

1. Что называется напряжением? Каково физическое содержание нормального и тангенциального напряжения?

2. Закон Гука для деформации сдвига имеет вид:

1)  $\sigma = E\varepsilon$       2)  $\varepsilon = \Delta l / l$       3)  $\tau = G\gamma$       4)  $M = f\varphi$

3. Кусок проволоки длиной  $l$  и жесткостью  $k$  разделили на 3 равные части. Чему равна жесткость каждой части?

4. Какие силы надо приложить к концам стальной проволоки с модулем упругости  $E = 200 \text{ ГПа}$  длиной 4 м и сечением  $0,5 \text{ мм}^2$  для удлинения ее на 2 мм?

5. Пружину растянули на  $\Delta l$ , затем еще на  $\Delta l$ . Найти отношение произведенных работ, считая деформацию упругой.

#### Вариант 4

1. Каков физический смысл модуля Юнга?
2. К проволоке диаметром  $2\text{ мм}$  подвешен груз массой  $1\text{ кг}$ . Определить напряжение, возникающее в проволоке.
3. Два куска проволоки с одинаковыми коэффициентами упругости  $k$  соединяют один раз последовательно, другой раз параллельно. Во сколько раз изменится эквивалентная жесткость кусков?
4. Жесткость стального провода равна  $10^4\text{ Н/м}$ . Если к концу троса, сплетенного из  $10$  таких проводов, подвесить груз массой  $200\text{ кг}$ , то каким будет удлинение?
5. Две последовательно соединенные пружины с жесткостями  $k_1$  и  $k_2$  ( $k_1 = 2k_2$ ) растянуты силой  $F$ . Найти отношение потенциальных энергий пружины.

#### Вариант 5

1. Каков физический смысл модуля сдвига?
2. Какой максимальной массы груз может выдержать проволока диаметром  $d$ , имеющая предел упругости  $\sigma_{\text{упр}}$ ?
3. К проволочному образцу подвешен груз массой  $m$ . При этом проволока удлиняется на  $\Delta\ell$ . Каким будет удлинение образца при добавлении еще трех грузов массой  $m$  каждый?
4. К проволоке подвесили груз, затем ее согнули пополам и подвесили тот же груз. Как изменятся а) абсолютные удлинения? б) относительные удлинения?
5. Две пружины с жесткостями  $k_1$  и  $k_2$  ( $k_1 = 2k_2$ ) растянули на одинаковую длину. Сравнить работы растяжения пружин, считая деформацию упругой.

#### Вариант 6

1. Каков физический смысл коэффициента Пуассона?
2. Проволока с известным пределом прочности подвешена в вертикальном положении за верхний конец. Какую наибольшую длину может иметь проволока, не обрываясь под действием силы тяжести?



3. Жесткость куска проволоки равна  $k$ . Чему равна жесткость половины от этого куска?

4. Нижнее основание железного стержня ( $G = 76 \text{ ГПа}$ ) диаметром  $d = 20 \text{ см}$  и высотой  $h = 20 \text{ см}$  закреплено неподвижно. На верхнее основание действует сила  $F = 20 \text{ кН}$ . Найти тангенциальное напряжение, возникающее в материале.

5. Стальной стержень ( $E = 200 \text{ ГПа}$ ) растянут так, что напряжение в материале составляет  $\sigma = 300 \text{ МПа}$ . Найти объемную плотность потенциальной энергии растянутого стержня.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

**№1.3. Определение момента инерции методом трифилярного подвеса**

**№1.4. Определение момента инерции металлических колец при помощи маятника Максвелла**

**№1.5а. Исследование основного уравнения динамики вращательного движения и определение момента инерции крестообразного маятника**

**№1.5б. Определение момента инерции маховика и момента сил трения**

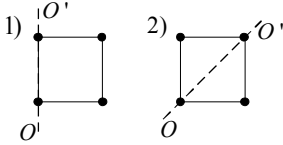
### Теоретический минимум

- Момент инерции материальной точки и абсолютно твёрдого тела. Расчёт момента инерции тел простейшей формы. Теорема Штейнера.
- Момент силы, момент импульса тела относительно точки и оси. Уравнение моментов.
- Основное уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела.
- Момент импульса материальной точки относительно точки и относительно оси. Момент импульса твердого тела. Закон сохранения момента импульса.
- Кинетическая энергия и работа при вращательном движении. Плоское движение твёрдого тела.

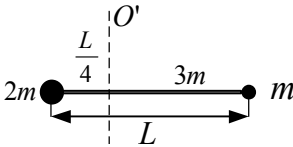
## Контрольные задания

### Вариант 1

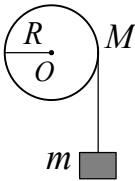
1. Четыре маленьких шарика одинаковой массы, жестко закрепленные невесомыми стержнями, образуют квадрат. Чему равно отношение моментов инерции системы  $I_1 / I_2$ , где  $I_1$  - момент инерции относительно оси совпадающей со стороной квадрата,  $I_2$  - момент инерции относительно оси совпадающей с его диагональю?



2. Определите момент инерции системы относительно оси  $OO'$  (масса стержня  $3m$ )

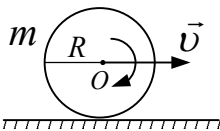


3. Однородный диск массой  $M$  приводится во вращение разматывающейся нитью с грузом массой  $m$ . Чему равно ускорение груза?



4. Тонкостенная трубка и кольцо, имеющие одинаковые массы и радиусы, вращаются с одинаковой угловой скоростью. Чему равно отношение величины момента импульса трубки к величине момента импульса кольца.

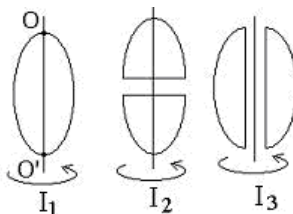
5. Человек стоит на краю вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси карусели. Как изменится частота вращения, если он перейдет в центр карусели?



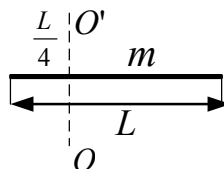
6. Чему равна полная кинетическая энергия шара массы  $m$ , катящегося по горизонтальной поверхности со скоростью  $\vec{v}$ ?

## Вариант 2

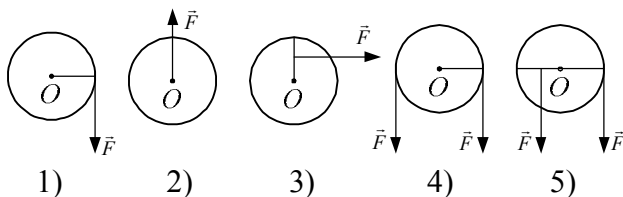
1. Из жести вырезали три одинаковые детали в виде эллипса. Две детали разрезали пополам вдоль разных осей симметрии. Затем все части отодвинули друг от друга на одинаковые расстояния и расставили симметрично относительно оси  $OO'$ . Сравните моменты инерции  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  относительно оси  $OO'$ .



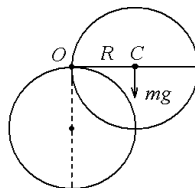
2. Определить момент инерции тонкого стержня массой  $m$  относительно оси  $OO'$ .



3. На рисунке к диску, который может свободно вращаться вокруг оси, проходящей через точку  $O$ , прикладываются одинаковые по величине силы. В каком положении момент сил будет максимальным?



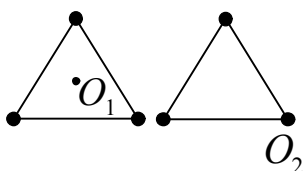
4. Тонкий обруч радиусом  $R=1m$ , способный вращаться вокруг горизонтальной оси, проходящей через точку  $O$  перпендикулярно плоскости рисунка, отклонили от вертикали на угол  $90^\circ$  и отпустили. Чему равно угловое ускорение обруча в начальный момент времени?



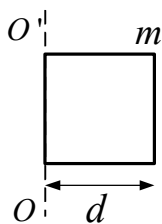
5. Человек сидит в центре вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси карусели и держит в руках длинный шест за его середину. Как изменится частота вращения, если он повернет шест из вертикального положения в горизонтальное?

6. Определите линейную скорость центра шара, скатившегося без скольжения с наклонной плоскости высотой  $h = 0,1$  м.

### Вариант 3

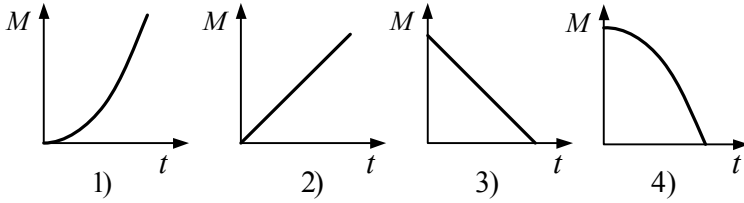


1. Три маленьких шарика расположены в вершинах равностороннего треугольника. Момент инерции этой системы относительно оси  $O_1$ , перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через его центр –  $I_1$ . Момент инерции этой же системы относительно оси  $O_2$ , перпендикулярной плоскости треугольника и проходящей через один из шариков –  $I_2$ . Сравните моменты инерции  $I_1$  и  $I_2$ .



2. Определите момент инерции проволочного квадрата со стороной  $d$  и ее массой  $m$ , относительно оси  $OO'$ .

3. Величина момента импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону  $L(t) = -\frac{1}{3}t^3 + 4t$ , при этом зависимость величины момента сил, действующих на тело, описывается графиком...



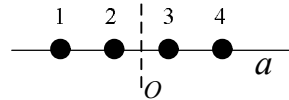
4. При выстреле орудия снаряд вылетел из ствола, расположенного под углом  $\alpha = 60^\circ$  к горизонту, вращаясь вокруг своей продольной оси с угловой скоростью  $\omega = 200\text{с}^{-1}$ . Момент инерции снаряда относительно этой оси  $I = 15\text{ кг}\cdot\text{м}^2$ , время движения снаряда в стволе  $t = 2 \cdot 10^{-2}\text{ с}$ . Определите момент сил, который действует на ствол орудия во время выстрела.

5. Человек сидит в центре вращающейся по инерции вокруг вертикальной оси карусели и держит в руках длинный шест за его середину. Как изменится частота вращения карусели в конечном состоянии, если он переместит шест влево от себя?

6. Сплошной и полый цилиндры, имеющие одинаковые массы и радиусы вкатываются без проскальзывания на горку. Если начальные скорости этих тел одинаковы, то какое тело поднимется выше?

### Вариант 4

1. Четыре шарика расположены вдоль прямой  $a$ . Расстояния между соседними шариками одинаковы.



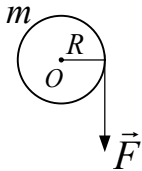
Массы шариков слева направо:  $1\text{ г}$ ,

$2\text{ г}$ ,  $3\text{ г}$ ,  $4\text{ г}$ . Если поменять местами шарики 2 и 3, то как изменится момент инерции системы относительно оси  $O$ , перпендикулярной прямой и проходящей ее середину?

2. Прямолинейная однородная проволока длиной  $\ell$  и массой  $m$  согнута так, что точка перегиба делит проволоку на две части, длины которых относятся как 1:2. Чему равен момент инерции проволоки относительно оси вращения,

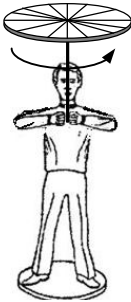
проходящей через точку перегиба и перпендикулярной плоскости проволоки?

3. Алюминиевый и стальной цилиндры имеют одинаковую высоту и равные массы. На цилиндры действуют одинаковые по величине силы, направленные по касательной к их боковой поверхности. Сравните моменты сил, действующих на цилиндры.



4. Диск радиуса  $R$  и массы  $m$  может вращаться вокруг неподвижной оси. На диск намотана нить, к концу которой приложена постоянная сила  $F$ . Определите угловое ускорение диска.

5. Экспериментатор, стоящий на неподвижной скамье Жуковского получает от помощника колесо, вращающееся вокруг вертикальной оси с угловой скоростью  $\omega$ . Если экспериментатор повернет ось колеса на угол  $180^\circ$ , то он вместе с платформой придет во вращение с угловой скоростью

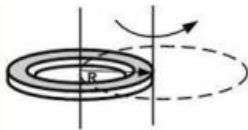


$\frac{\omega}{5}$ . Чему равно отношение момента инерции экспериментатора со скамьей к моменту инерции колеса?

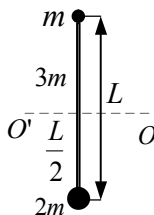
6. Какую долю составляет кинетическая энергия вращательного движения катящегося по горизонтальной поверхности шара от полной кинетической энергии?

### Вариант 5

1. Как изменится момент инерции тонкого кольца, если ось вращения перенести из центра масс на край?



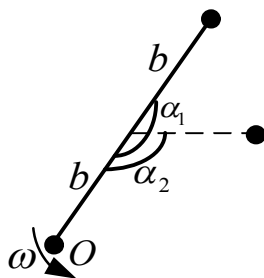
2. Чему равен момент инерции системы относительно оси  $OO'$  (масса стержня  $3m$ )



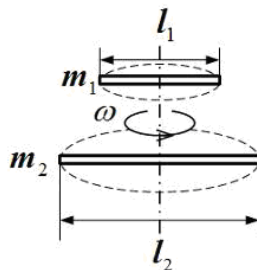
3. Две материальные точки одинаковой массы движутся с одинаковой угловой скоростью по окружностям радиусами  $R_1 = 2R_2$  и  $R_2$ . Чему равно отношение моментов импульса точек  $L_1 / L_2$  ?

4. Маховик в виде сплошного диска, момент инерции которого  $I$ , вращаясь при торможении равномерно, за время  $t$  уменьшил частоту вращения  $\nu$  в 2 раза. Найдите выражение для момента силы торможения.

5. Два невесомых стержня длины  $b$  соединены под углом  $\alpha_1 = 180^\circ$  и вращаются без трения в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси  $O$  с угловой скоростью  $\omega$ . На одном конце каждого стержня прикреплен очень маленький массивный шарик. В некоторый момент угол между стержнями самопроизвольно уменьшился до  $\alpha_2 = 120^\circ$ . С какой угловой скоростью стала вращаться система?

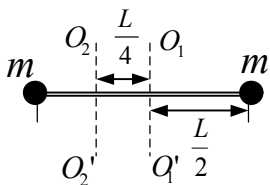


6. Для того чтобы раскрутить стержень массы  $m_1$  и длины  $\ell_1$  (см.рисунок) вокруг вертикальной оси, проходящей перпендикулярно через его середину, до угловой скорости  $\omega$ , необходимо совершить работу  $A_1$ . Какую необходимо совершить работу, для того чтобы раскрутить до той же угловой скорости стержень массы  $m_2 = m_1/2$  и длины  $\ell_2 = 2\ell_1$  ?

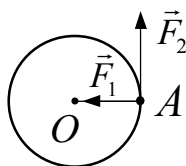


## Вариант 6

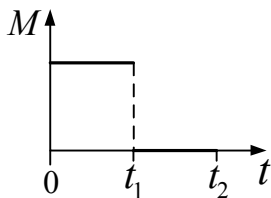
1. Тонкостенный и сплошной цилиндры имеют одинаковые массы и радиусы. Сравните моменты инерции этих тел



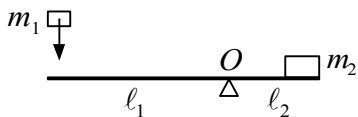
2. Если ось  $OO'$  перенести из положения 1 в положение 2, то как изменится момент инерции двух материальных точек массами  $m$ , соединенных невесомым стержнем длиной  $L$ ?



3. Чему равна сумма моментов двух сил  $F_1 = 2H$  и  $F_2 = 3H$ , приложенных в точке  $A$  к диску радиусом  $R=1$  м, вращающемуся относительно оси, проходящей через точку  $O$  перпендикулярно плоскости чертежа.?



4. Диск вращается равномерно с некоторой угловой скоростью  $\omega$ . Начиная с некоторого момента времени  $t=0$  на него действует момент сил, график временной зависимости которого представлен на рисунке. Постройте график, отражающий зависимость угловой скорости от времени.

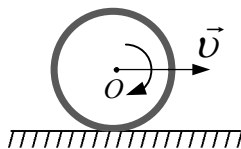


5. Тело массой  $m_1$  вертикально падает на свободный конец рычага с плечом  $l_1$  ( $l_1=2l_2$ ) и теряет скорость. Какую скорость приобретает

масса  $m_2$  ( $m_2=4m_1$ ) после удара?

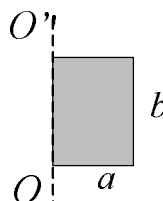


6. Обруч массой  $m=0,3$  кг и радиусом  $R=0,5$  м привели во вращение сообщив ему энергию вращательного движения  $1200$  Дж, и опустили на пол так, что его ось вращения оказалась параллельной плоскости поля. Какую работу совершила сила трения, если обруч начал двигаться без проскальзывания, имея кинетическую энергию поступательного движения  $200$  Дж?

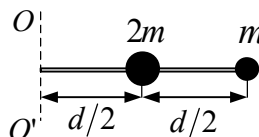


### Вариант 7

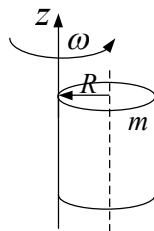
1. Определите момент инерции прямоугольной пластинки массы  $m$  относительно оси  $OO'$ .



2. Чему равен момент инерции системы относительно оси  $OO'$  (масса стержня  $3m$ )



3. Сплошной цилиндр массы  $m$  и радиуса  $R$  вращается с угловой скоростью  $\omega$  вокруг оси  $Z$ , совпадающей с одной из образующих цилиндрической поверхности. Найдите выражение для момента импульса цилиндра.

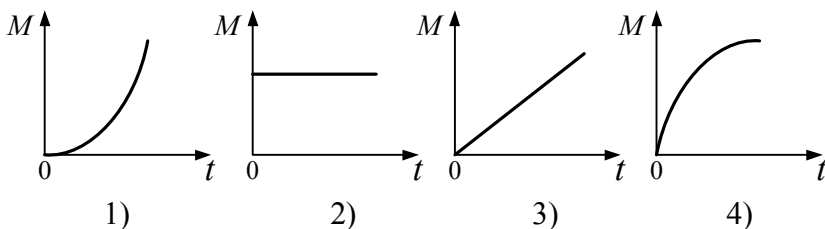


4. Диск радиуса  $R$  и массы  $m$  может вращаться вокруг неподвижной оси. На диск намотана нить, к концу которой приложена постоянная сила  $F$ . Чему равна кинетическая энергия диска после того, как он совершит один оборот?

6. Шар и полая сфера имеющие одинаковые массы и радиусы, вкатываются без проскальзывания на горку. Если

начальные скорости этих тел одинаковы, то какое тело поднимется выше?

5. Момент импульса тела относительно неподвижной оси изменяется по закону  $L = at^2$ . Укажите график, правильно отражающий зависимость от времени величины момента сил, действующих на тело.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.6

### Определение скорости полета пули с помощью баллистического маятника

#### Теоретический минимум

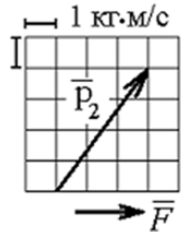
- Внешние и внутренние силы. Замкнутая система. Импульс материальной точки и системы материальных точек. Закон изменения и сохранения импульса.
- Момент импульса тела относительно точки и оси. Закон сохранения момента импульса.
- Кинетическая энергия. Теорема о кинетической энергии.
- Консервативные и диссипативные силы. Потенциальная энергия и ее связь с консервативной силой. Закон сохранения механической энергии.
- Применение законов сохранения к упругому и неупругому удару.

## Контрольные задания

### Вариант 1

1. Материальная точка массой  $1 \text{ кг}$ , двигаясь равномерно, за  $t = 2 \text{ с}$  описывает четверть окружности радиусом  $R = 1 \text{ м}$ . Каков модуль изменения импульса материальной точки за указанный промежуток времени?

2. На теннисный мяч, который летел с импульсом  $\vec{p}_1$ , на короткое время  $\Delta t = 0,1 \text{ с}$  подействовал порыв ветра с постоянной силой  $F = 30 \text{ Н}$  и импульс мяча стал равным  $\vec{p}_2$ . Какова была величина импульса  $\vec{P}_1$ ?



3. Потенциальная энергия частицы имеет вид

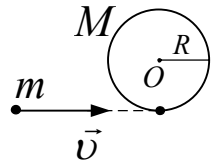
$$U = 2x^2 + 3y.$$

Работа, совершаемая силами поля над частицей при ее перемещении из точки  $A(1,2)$  в точку  $B(2,3)$ , равна

- 1)  $-9 \text{ Дж}$ .      2)  $9 \text{ Дж}$       3)  $5 \text{ Дж}$       4)  $-5 \text{ Дж}$

4. Тело массы  $m = 1 \text{ кг}$  брошено с башни высотой  $h = 20 \text{ м}$  со скоростью  $v_0 = 10 \text{ м/с}$  под углом к горизонту  $\alpha = 30^\circ$ . Если скорость падения на землю  $v = 12 \text{ м/с}$ , то чему равна работа силы сопротивления воздуха?

5. Однородный диск массы  $M$  и радиуса  $R$  может свободно вращаться вокруг оси, проходящей через центр диска перпендикулярно его плоскости. Чему будет равна угловая скорость вращения диска после того как пуля массы  $m$ , имеющая скорость  $v$ , попадет в диск и застрянет в нем?

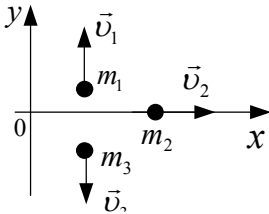
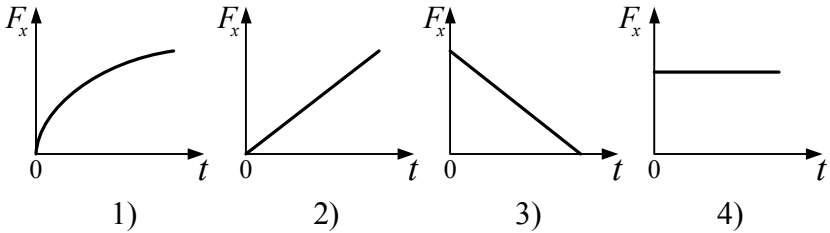


6. Шар массой  $m$  неупруго сталкивается с неподвижным шаром втрое большей массы. Доля первоначальной энергии шара, перешедшей в тепло, составляет

- 1)  $1/2$                       2)  $1/3$                       3)  $1/4$                       4)  $3/4$

### Вариант 2

1. Зависимость импульса частицы от времени описывается законом  $\vec{p} = 2t\vec{i} + 3t^2\vec{j}$ . Зависимость горизонтальной проекции силы  $F_x$ , действующей на частицу, от времени представлена на графике...



2. Система состоит из трех шаров с массами  $m_1=1$  кг,  $m_2=2$  кг,  $m_3=3$  кг, которые движутся так, как показано на рисунке. Скорости шаров равны  $v_1 = 3$  м/с,  $v_2 = 2$  м/с,  $v_3 = 1$  м/с. Какова величина скорости центра масс этой системы?

3. Тело массы  $m = 1$  кг брошено со скоростью  $v_0 = 10$  м/с под углом  $\alpha = 30^\circ$  к горизонту. Какова мощность, развиваемая силой тяжести в верхней точке траектории?

4. Сила, необходимая для сжатия пружины на величину  $x$ , записывается в виде  $F(x) = 5x + 10x^3$  (Н). Если пружина была сжата на  $2$  м, то какую скорость она сообщит помещенному перед ней шару массой  $m = 4$  кг?

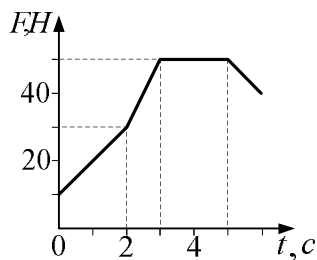
5. Лодка массой  $m_1$  стоит неподвижно в стоячей воде. Рыбак массой  $m_2$  переходит с кормы на нос лодки. Найти

расстояние  $S$ , на которое при этом передвинется лодка длиной  $\ell$ .

6. Пуля массой  $m = 15$  г, летящая с горизонтальной скоростью  $v = 0,5$  км/с, попадает в баллистический маятник  $M = 6$  кг и застревает в нем. На какую высоту, поднимется маятник, отклонившись после удара?

### Вариант 3

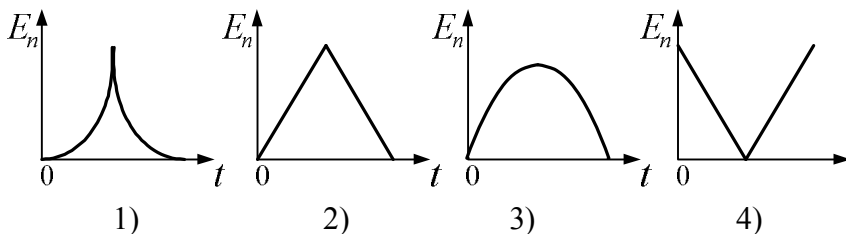
1. Определить по представленному графику изменение импульса тела за первые три секунды.



2. Человек, стоящий в лодке, масса которой в 2 раза больше массы человека, сделал 6 шагов вдоль лодки и остановился. Чему равно число шагов, на которое сместилась при этом лодка?

3. Тело массы  $m = 1$  кг свободно падает с высоты  $h = 5$  м без начальной скорости. Чему равна мощность, развиваемая силой тяжести при ударе о землю?

4. Тело брошено вертикально вверх. График зависимости потенциальной энергии от времени показан на рисунке



5. Покоящийся стержень длиной  $L$  и массой  $m_1$  подвешен шарнирно за верхний конец. В середину стержня ударяет пуля

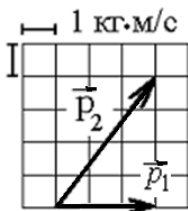
массой  $m_2$  летящая горизонтально со скоростью  $v$  и застревает в стержне. Запишите закон сохранения момента импульса для данной системы.

6. Шар массой  $m$  испытывает неупругое столкновение с неподвижным шаром большей массы. Если при этом 75% первоначальной кинетической энергии переходит в тепло, то масса второго шара равна

- 1)  $2m$                       2)  $3m$                       3)  $4m$                       4)  $5m$

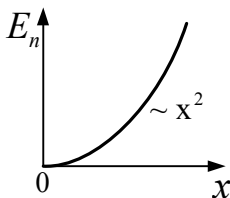
### Вариант 4

1. Ракета, поднимающаяся вертикально вверх со скоростью  $\vec{v}$ , разрывается на три осколка. Если два осколка массой  $m$  каждый разлетаются горизонтально в противоположные стороны с одинаковой скоростью, то какова скорость третьего осколка массой  $2m$ ?

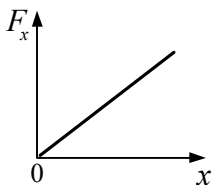


2. Теннисный мяч летел с импульсом  $\vec{p}_1$  в горизонтальном направлении, когда теннисист произвел по мячу резкий удар длительностью  $\Delta t = 0,1$  с. Изменившийся импульс мяча стал равен  $\vec{p}_2$ . Чему равна средняя сила удара?

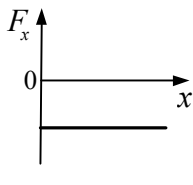
3. Для частицы массы  $m = 1$  кг известна зависимость от времени ее скорости  $\vec{v} = 2t\vec{i} + 3\vec{j}$ . Какова мощность, развиваемая силой, действующей на частицу, в момент времени  $t = 2$  с?



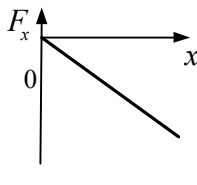
4. На рисунке показан график зависимости потенциальной энергии  $E_n$  от координаты  $x$ . График зависимости проекции силы  $F_x$  на ось  $Ox$  имеет вид



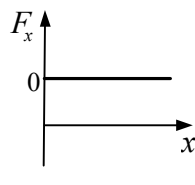
1)



2)



3)



4)

5. Тонкостенная трубка и кольцо, имеющие одинаковые массы и радиусы, вращаются с одинаковой угловой скоростью. Найти отношение величины момента импульса трубки к величине момента импульса кольца.

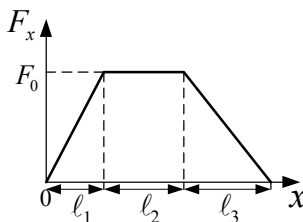
6. Два шарика с массами  $3 \text{ кг}$  и  $5 \text{ кг}$  движутся по гладкой горизонтальной поверхности навстречу друг другу со скоростями  $4 \text{ м/с}$  и  $6 \text{ м/с}$  соответственно. Каково изменение внутренней энергии шаров после неупругого столкновения?

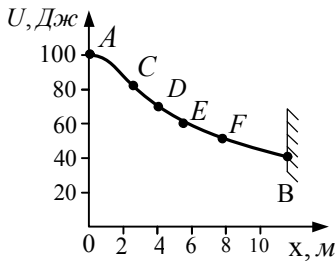
### Вариант 5

1. Молекула массы  $m$ , летящая со скоростью  $v$  ударяется о стенку сосуда под углом  $\alpha$  к нормали и под таким же углом отскакивает от нее без потери скорости. Чему равен модуль изменения импульса молекулы за время удара?

2. Горизонтально летящая пуля застревает в лежащем на горизонтально гладкой поверхности бруске такой же массы, сообщая ему некоторую скорость. Как изменится скорость бруска, если массу пули увеличить вдвое?

3. Тело движется вдоль оси  $x$  под действием силы, зависимость проекции которой от координаты  $x$  представлена на рисунке. Найдите выражение для работы силы на пути  $l = l_1 + l_2 + l_3$ .





4. Небольшая шайба начала движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки  $A$ . Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии шайбы от координаты  $x$  изображена на графике  $U(x)$ . В точке  $B$ , шайба потеряв  $10$  Дж кинетической

энергии  $E_{кин}$  при столкновении со стенкой, повернула назад. В какой точке шайба остановится?

5. Покоящийся стержень длиной  $L$  и массой  $m_1$  подвешен шарнирно за верхний конец. В нижний конец стержня ударяет пуля массой  $m_2$  летящая горизонтально со скоростью  $v$  и застревает в стержне. Запишите закон сохранения момента импульса для данной системы.

6. Тела с массами  $2$  кг и  $3$  кг двигаются навстречу друг другу со скоростями соответственно  $2$  м/с и  $1$  м/с. Какое количество теплоты выделится при неупругом соударении?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.10

### Исследование движения тел в жидкости

#### Теоретический минимум

- Идеальная жидкость. Описание движения жидкости с помощью метода Эйлера. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли.
- Вязкость жидкости. Закон Ньютона. Физический смысл величин, входящих в закон Ньютона. Кинематическая и динамическая вязкость.
- Метод Стокса, использующийся для определения коэффициента внутреннего трения.
- Ламинарное и турбулентное движение жидкости. Расход жидкости. Формула Пуазейля. Число Рейнольдса.

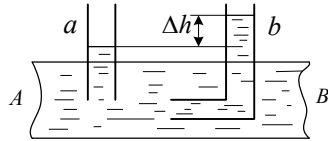


## Контрольные задания

### Вариант 1

1. Показать, что при установившемся течении идеальной жидкости для любой трубки тока выполняется уравнение неразрывности.

2. Найти скорость течения воды в трубе  $AB$ , если разность уровней в трубках  $a$  и  $b$  равна  $10$  см.



3. Какой наибольшей скорости может достичь дождевая капля диаметром  $d = 0,3$  мм, если динамическая вязкость воздуха  $\eta = 1,2 \cdot 10^{-5}$  Па·с?

4. В трубе с внутренним диаметром  $3$  см течет вода ( $\rho = 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $\eta = 1$  мПа·с,  $Re_{кр} = 2300$ ). Определить максимальный массовый расход воды при ламинарном течении.

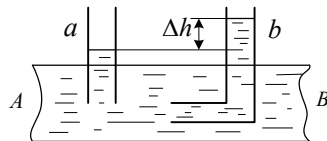
5. В сосуд льется вода, причем за единицу времени наливается объем воды  $0,2$  л/с. Каким должен быть диаметр отверстия в дне сосуда, чтобы вода в нем держалась на постоянном уровне  $h = 10$  см?

### Вариант 2

1. На чем основан вывод уравнения Бернулли и каков физический смысл его составляющих?

2. Вода течет в горизонтально расположенной трубе переменного сечения. Скорость воды в широкой части трубы равна  $20$  см/с. Чему равна скорость в узкой части трубы, если ее диаметр в  $1,5$  раза меньше?

3. Найти разность уровней в трубках  $a$  и  $b$ , если скорость течения жидкости в трубе равна  $1$  м/с.



4. Медный шарик диаметром  $d=1\text{ см}$  падает с постоянной скоростью в касторовом масле. Является ли движение масла, вызванное падением в нем шарика, ламинарным? турбулентным?  $\rho_{ш} = 8,93 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_m = 0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\eta_m = 987 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ,  $Re_{кр} = 0,5$ .

5. Бак высотой  $h_1=1,5\text{ м}$  наполнен до краев водой. На расстоянии  $h_2=1,0\text{ м}$  от верхнего края бака образовалось отверстие малого диаметра. На каком расстоянии от бака падает на пол струя, вытекающая из отверстия?

### Вариант 3

1. Чем обусловлена вязкость в жидкости? Почему с повышением температуры вязкость жидкости уменьшается?

2. Вода течет в горизонтально расположенной трубе переменного сечения. Скорость воды в широкой части трубы, имеющей диаметр  $d_1$ , равна  $v_1$ , а в узкой с диаметром  $d_2$  равна  $v_2$ . Чему равно отношение  $d_1/d_2$ , если отношение  $v_1/v_2 = n$ ?

3. Пробковый шарик ( $\rho_n=240 \text{ кг/м}^3$ ) радиусом  $5 \text{ мм}$  всплывает в сосуде, наполненном касторовым маслом ( $\rho_m = 0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ). Найти динамическую и кинематическую вязкость касторового масла, если шарик всплывает с постоянной скоростью  $3,5 \text{ см/с}$ .

4. Вода течет по круглой трубе диаметром  $5 \text{ см}$  со средней скоростью  $10 \text{ см/с}$ . Определить число Рейнольдса для потока жидкости в трубе и указать характер течения жидкости.

5. Горизонтальный цилиндр насоса имеет диаметр  $20 \text{ см}$ . В нем движется со скоростью  $1 \text{ м/с}$  поршень, выталкивающий воду через отверстие диаметром  $2 \text{ см}$ . С какой скоростью будет вытекать вода из отверстия?

### Вариант 4

1. Чем обусловлена вязкость в газе? Почему с повышением температуры вязкость газов увеличивается?

2. Динамическая вязкость некоторой жидкости  $\eta = 1,47 \text{ Па} \cdot \text{с}$ . С какой скоростью будет падать свинцовая дробинка диаметром  $1 \text{ мм}$  в сосуде, наполненном этой жидкостью?

3. Бак цилиндрической формы площадью основания  $10 \text{ м}^2$  и объемом  $100 \text{ м}^3$  заполнен водой. Пренебрегая вязкостью воды, определить время, необходимое для полного опустошения бака, если на дне бака образовалось отверстие площадью  $8 \text{ см}^2$ .

4. В широкой части горизонтально расположенной трубы нефть течет со скоростью  $2 \text{ м/с}$  ( $\rho_n = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ). Определить скорость нефти в узкой части трубы, если разность давлений в широкой и узкой частях ее равна  $6,65 \text{ кПа}$ .

5. При движении шарика радиусом  $2,4 \text{ мм}$  в касторовом масле ( $\rho_m = 0,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) ламинарное обтекание наблюдается при скорости, не превышающей  $10 \text{ см/с}$ . При какой минимальной скорости шарика радиусом  $1 \text{ мм}$  в глицерине обтекание станет турбулентным ( $\rho_g = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ )?

### Вариант 5

1. Поясните формулу Пуазейля. Как с помощью данной формулы можно определить коэффициент вязкости жидкости?

2. Определить плотность газа, протекающего по трубе, если известно, что за время  $10 \text{ мин}$  через поперечное сечение трубы, равное  $4 \text{ см}^2$ , протекает газ массой  $480 \text{ г}$ .

3. В сосуд заливается вода со скоростью  $0,5 \text{ л/с}$ . Определить диаметр отверстия в сосуде, при котором вода поддерживалась бы в нем на постоянном уровне  $h = 20 \text{ см}$ .

4. Латунный шарик диаметром  $0,5$  мм падает в глицерине. Определить скорость установившегося движения шарика.

5. По трубе течет машинное масло ( $\rho_m = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $\eta_m = 100 \text{ мПа} \cdot \text{с}$ ). Максимальная скорость, при которой движение масла в этой трубе остается еще ламинарным, равна  $3,2$  см/с. При какой скорости движение глицерина ( $\rho_g = 1,26 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) в той же трубе переходит из ламинарного в турбулентное?

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

**№ 1.11. Исследование законов колебательного движения физического маятника и определение ускорения свободного падения**

**№ 1.12. Определение ускорения свободного падения с помощью математического и обратного маятников**

**№ 1.13. Определение приведенной длины физического маятника и ускорения свободного падения**

**№ 1.14. Изучение резонансных явлений при колебаниях плоской пружины**

### Теоретический минимум

- Гармонические колебания и их характеристики.
- Дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение.
- Гармонический осциллятор. Пружинный, физический и математический маятники. Приведённая длина физического маятника.
- Сложение одинаково направленных и взаимно перпендикулярных колебаний.
- Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Логарифмический декремент затуханий, добротность.

- Вынужденные колебания. Дифференциальное уравнение вынужденных колебаний и его решение. Резонанс. Резонансные кривые.

## Контрольные задания

### Вариант 1

1. Уравнение гармонических колебаний точки

$$x = 0,9 \sin(3t).$$

Каков период этих колебаний?

2. Уравнение колебаний материальной точки массой  $m = 10 \text{ г}$  имеет вид

$$x = 5 \sin\left(\frac{\pi}{5}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ см.}$$

Найти максимальную силу, действующую на точку.

3. Однородный диск радиусом  $R$  совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей на расстоянии  $R/2$  от центра диска. Чему равна циклическая частота колебаний диска?

4. Материальная точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях согласно уравнениям

$$x = 2 \cos \omega t \text{ и } y = 2 \sin \omega t.$$

Какова траектория результирующего движения точки?

5. Амплитуда затухающих колебаний уменьшилась в  $e$  раз за  $50$  колебаний. Каков логарифмический декремент затухания?

6. Период  $T_0$  собственных колебаний пружинного маятника равен  $0,55 \text{ с}$ . В вязкой среде период  $T$  того же маятника стал равным  $0,56 \text{ с}$ . Какова резонансная частота колебаний?

## Вариант 2

1. Начальная фаза гармонического колебания равна нулю. Через какую долю периода скорость точки будет равна половине ее максимального значения?

2. Найти отношение кинетической энергии точки, совершающей гармоническое колебание, к ее потенциальной энергии для момента, когда смещение точки от положения равновесия  $x = A/4$ .

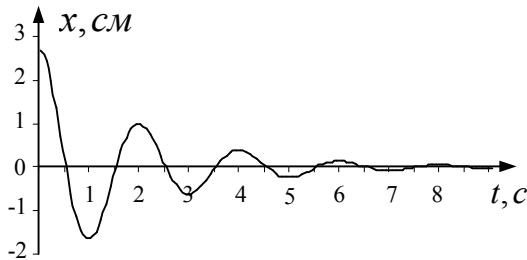
3. Обруч радиуса  $R$  совершает малые колебания относительно оси, проходящей через его край. Каков период этих колебаний?

4. Складываются два взаимно перпендикулярных колебания с одинаковыми частотами. При какой разности фаз результирующее колебание будет линейным?

5. Затухающие колебания описываются уравнением

$$x(t) = A_0 e^{-t/T} \sin(\omega t + \varphi).$$

График колебания представлен на рисунке. Определите время релаксации.



6. Уравнение движения системы имеет вид

$$\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = f_0 \cos \omega t.$$

Чему равен период установившихся вынужденных колебаний системы?

### Вариант 3

1. Скорость материальной точки, совершающей гармонические колебания, задается уравнением

$$v(t) = -6 \sin 2\pi t .$$

Записать зависимость смещения этой точки от времени.

2. За какое время тело, совершающее колебание с периодом  $T$ , проходит первую половину пути от среднего значения до крайнего?

3. Однородный стержень длиной  $\ell$  совершает малые колебания относительно оси, проходящей через его край. Какова частота этих колебаний?

4. Два гармонических колебания, направленных по одной прямой и имеющих одинаковые амплитуды и периоды, складываются в одно колебание той же амплитуды. Чему равна разность фаз складываемых колебаний?

5. Начальная амплитуда колебания маятника  $A_0 = 3 \text{ см}$ . Через  $t_1 = 10 \text{ с}$  она равна  $A_1 = 1 \text{ см}$ . Через какой промежуток времени она станет равной  $A_2 = 0,3 \text{ см}$ ?

6. Изобразить резонансные кривые  $A(\omega)$  для трех коэффициентов затухания  $\beta_1 < \beta_2 < \beta_3$ .

### Вариант 4

1. Уравнение движения точки

$$x = 2 \sin \left( \frac{\pi}{2} t + \frac{\pi}{4} \right) \text{ см}.$$

Найти период колебаний, максимальную скорость и максимальное ускорение точки.

2. Найти отношение кинетической энергии точки, совершающей гармоническое колебание, к ее потенциальной энергии для момента времени  $t = T/6$ .

3. Однородный диск радиусом  $R$  подвешен за край. Чему равна частота его малых колебаний?

4. Точка участвует в двух одинаково направленных колебаниях, данных уравнениями

$$x_1 = 4 \sin \pi t \text{ см} \quad \text{и} \quad x_2 = 3 \sin(\pi t + \pi/2) \text{ см.}$$

Начертить векторную диаграмму сложения амплитуд. Найти амплитуду и начальную фазу результирующего колебания.

5. Логарифмический декремент затухания математического маятника  $\lambda = 0,2$ . Во сколько раз уменьшится амплитуда колебаний за одно полное колебание маятника?

6. Чему равна резонансная амплитуда  $A_{рез} = A(\omega_{рез})$  у системы без трения?

### Вариант 5

1. Колебания материальной точки совершаются по закону

$$x = 3 \sin(\pi t + 0,5) \text{ см.}$$

Определить наибольшие значения скорости и ускорения.

2. Груз массой  $m$  осторожно прикрепляют к концу свободно висящей пружины. Когда груз освобождают, он опускается на  $30 \text{ см}$ , а затем начинает колебаться. Чему равна частота колебаний?

3. Физический маятник представляет собой тонкий однородный стержень длиной  $\ell$  и массой  $m$  с укрепленным на его конце маленьким шариком массой  $m$ . Маятник совершает колебания относительно горизонтальной оси, проходящей через центр стержня. Каков период гармонических колебаний маятника?

4. Точка участвует одновременно в двух взаимно перпендикулярных колебаниях, выражаемых уравнениями

$$x = A_1 \cos \omega t \quad \text{и} \quad y = A_2 \sin \omega t, \quad \text{где} \quad A_1 = 2 \text{ см}, \quad A_2 = 1 \text{ см.}$$

Найти уравнение траектории точки.

5. Амплитуда затухающих колебаний маятника за 5 минут уменьшилась в два раза. За какое время, считая от начального момента, амплитуда уменьшится в восемь раз?

6. Найти приближенное значение  $A_{рез}$  при  $\beta \ll \omega_0$ .



## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ 1.15а. Определение скорости звука в воздухе методом стоячей волны

№ 1.15б. Определение скорости звука в воздухе методом сдвига фаз

### Теоретический минимум

- Распространение волн в упругой среде. Продольные и поперечные волны. Скорость волны.
- Уравнение плоской и сферической волны. Длина волны. Волновое уравнение.
- Интерференция волн. Стоячие волны.
- Энергия волны. Вектор Умова.
- Эффект Доплера.

### Контрольные задания

#### Вариант 1

1. Задано уравнение плоской волны

$$\xi(x,t) = 0,005 \cos(200\pi t - 2x).$$

Определить частоту, длину волны и фазовую скорость.

2. Волна распространяется в упругой среде со скоростью  $v = 100 \text{ м/с}$ . Наименьшее расстояние между точками среды, фазы колебаний которых противоположны, равно  $1 \text{ м}$ . Определить частоту колебаний.

3. Найти скорость распространения продольных упругих колебаний в меди.

4. Определить длину бегущей волны, если в стоячей волне расстояние между первой и седьмой пучностями равно  $15 \text{ см}$ .

## Вариант 2

1. Изменение давления в звуковой волне дается выражением

$$p = 2,2 \sin\left(\frac{\pi x}{3} - 1700\pi t\right),$$

где  $p$  измеряется в паскалях,  $x$  – в метрах, а  $t$  в секундах.

Определить длину волны, частоту и скорость распространения.

2. Найти разность фаз колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих друг от друга на расстоянии  $2\text{ м}$ , если длина волны  $\lambda = 1\text{ м}$ .

3. Найти скорость распространения звука в стали.

4. Определить длину бегущей волны, если в стоячей волне расстояние между первым и четвертым узлом равно  $15\text{ см}$ .

## Вариант 3

1. Уравнение плоской волны имеет вид

$$\xi(x, t) = 0,001 \sin(500\pi t - 4x).$$

Определить частоту, длину волны и фазовую скорость.

2. Смещение от положения равновесия точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии  $\ell = 4\text{ см}$ , в момент времени  $t = T/6$  равно половине амплитуды. Найти длину бегущей волны.

3. Найти скорость распространения поперечных упругих колебаний в меди.

4. В трубе длиной  $1,2\text{ м}$  находится воздух. Определить минимальную частоту возможных колебаний воздушного столба в двух случаях: 1) труба открыта; 2) труба закрыта. Скорость звука принять равной  $340\text{ м/с}$ .

### Вариант 4

1. Уравнение плоской волны имеет вид

$$\xi(x, t) = 0,001 \sin(1000\pi t - 5x).$$

Определить частоту, длину волны и фазовую скорость.

2. Две точки находятся на расстоянии  $\Delta x = 0,5 \text{ м}$  друг от друга на прямой, вдоль которой распространяется волна со скоростью  $v = 50 \text{ м/с}$ . Период колебаний равен  $0,05 \text{ с}$ . Какова разность фаз колебаний в этих точках?

3. Определить скорость звука в азоте при температуре  $T = 300 \text{ К}$ .

4. Один из способов измерения скорости звука в воздухе состоит в следующем. В широкой трубке может перемещаться поршень, а перед ее открытым концом расположен звучащий камертон. Отодвигая поршень от конца трубки, наблюдатель отмечает следующих друг за другом увеличения и уменьшения громкости звука. Найти скорость звука в воздухе, если при частоте колебаний  $440 \text{ Гц}$  двум последовательным усилениям интенсивности звука соответствует расстояние между положениями поршня, равное  $0,375 \text{ м}$ .

### Вариант 5

1. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты  $\nu = 200 \text{ Гц}$ . Амплитуда колебаний источника равна  $4 \text{ мм}$ . Написать уравнение плоской волны, если в начальный момент смещение точек источника максимально. Скорость звуковой волны принять равной  $300 \text{ м/с}$ .

2. Какова скорость распространения волны в упругой среде, если разность фаз колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на расстояние  $10 \text{ см}$ , равна  $\pi/3$ . Частота колебаний  $25 \text{ Гц}$ .

3. Найти положение узлов и пучностей и начертить график стоячей волны, если: а) отражение происходит от менее плотной среды; б) отражение происходит от более плотной среды. Длина бегущей волны  $6 \text{ см}$ .

4. Найти отношение скоростей звука в водороде и углекислом газе при одинаковой температуре газов.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

**№ 1.16 Определение коэффициента внутреннего трения воздуха при различных температурах**

**№ 1.20 Изучение реального газа (Эффект Джоуля-Томсона)**

### Теоретический минимум

- Уравнение Клайперона-Менделеева. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов.
- Барометрическая формула. Распределение Больцмана.
- Максвелловское распределение молекул по скоростям.
- Эффективный диаметр и средняя длина свободного пробега молекул.
- Явления переноса. Вязкость газов. Диффузия. Теплопроводность. Механизм вязкости газов. Зависимость вязкости газов от температуры. Формула Пуазейля и ее применение для определения вязкости газов.
- Реальные газы. Силы межмолекулярного взаимодействия.
- Поправки Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса.

### Контрольные задания

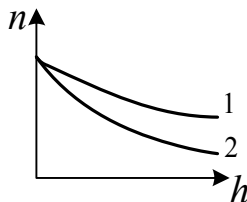
#### Вариант 1

1. Явление диффузии. Закон Фика. Физический смысл коэффициента диффузии.

2. Чему равна плотность  $\rho$  азота, находящегося в баллоне под давлением  $p = 2$  МПа при температуре  $T = 400$  К?

3. При повышении температуры в 1,5 раза происходит диссоциация молекул двухатомного газа. Как при этом изменяется давление газа?

4. На рисунке приведены зависимости концентрации частиц некоторого газа от высоты. Какая кривая соответствует большей температуре газа?



5. Средняя длина свободного пробега молекул определяется выражениями

а)  $1/\langle z \rangle$     б)  $\langle v \rangle / \langle z \rangle$     в)  $\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \cdot \frac{1}{\langle z \rangle}$     г)  $\sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle$

1) а, б                      2) б, в.                      3) в, г                      4) а, г

6. Теплопроводность в газах обусловлена

- 1) силами межмолекулярного взаимодействия;
- 2) переносом импульса упорядоченного движения молекул;
- 3) переносом энергии молекул;
- 4) переносом массы молекул из одного слоя в другой.

7. Ван-дер-Ваальсом были введены в уравнение Клайперона-Менделеева поправки, учитывающие

- 1) собственный объем молекул, скорость движения молекул;
- 2) собственный объем молекул, притяжение молекул;
- 3) скорость движения молекул, притяжение молекул;
- 4) скорость движения молекул, колебательные степени свободы.

## Вариант 2

1. Явление теплопроводности. Закон Фурье. Физический смысл коэффициента теплопроводности.

2. Газ при температуре  $T = 309 \text{ K}$  и давлении  $p = 0,7 \text{ МПа}$  имеет плотность  $\rho = 12 \text{ кг/м}^3$ . Чему равна молярная масса газа?

3. В результате уменьшения объема газа в 3 раза и увеличения средней кинетической энергии его молекул в 2 раза давление газа

1) не изменилось

2) увеличилось в 2 раза

3) увеличилось в 3 раза                      4) увеличилось в 6 раз

4. Найти отношение давления воздуха на высоте  $h_2$  к давлению воздуха на высоте  $h_1$  при постоянной температуре  $T$ .

5. По какой формуле можно найти среднее число столкновения молекул?

1)  $\frac{1}{2} \pi d^2 n$       2)  $\frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}$       3)  $\sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle$       4)  $\frac{1}{3} \langle v \rangle \langle \lambda \rangle$

6. Явления переноса характеризуются коэффициентом вязкости (а), коэффициентом диффузии (б), коэффициентом теплопроводности (в). Какой из этих коэффициентов не зависит от плотности газа?

7. Если уменьшение объема насыщенного пара происходит при постоянной температуре, то его давление

1) увеличится;                      2) останется прежним;                      3) уменьшится;

### Вариант 3

1. Явление внутреннего трения. Закон Ньютона. Физический смысл коэффициента вязкости.

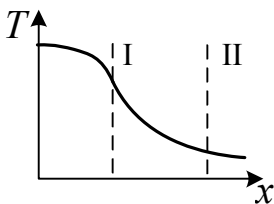
2. В сосуде емкостью  $V = 5$  л находится кислород, концентрация  $n$  молекул которого равна  $9,41 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ . Чему равна масса  $m$  газа?

3. Два идеальных газа характеризуются следующими параметрами:  $p_1, \rho_1$  и  $p_2 = 2p_1, \rho_2 = \rho_1/2$ . Чему равно отношение значений среднеквадратичных скоростей движения их молекул  $v_2/v_1$ ?

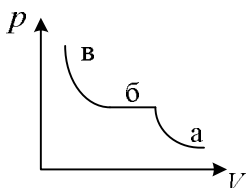
4. Найти высоту, на которой давление газа равно  $0,8$  давления на уровне моря, считая, что температура  $T$  не меняется.

5. По какой формуле можно найти среднюю длину пробега молекул?

1)  $\frac{RT}{2d^2 p}$       2)  $\frac{\sqrt{2}RT}{\pi d^2 p}$       3)  $\frac{\sqrt{2}kT}{d^2 p}$       4)  $\frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 p}$



6. Температура газовой системы изменяется согласно графику. Сравните плотности потока энергии, переносимой в направлении оси  $Ox$  через одинаковые сечения I и II.



7. На рисунке представлена изотерма реального газа. Состоянию равновесия между жидкостью и паром соответствует участок

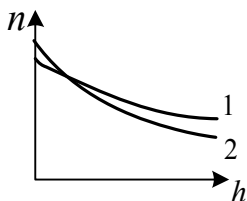
- 1) а, в      2) а      3) б      4) в

#### Вариант 4

1. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа.

2. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся равные массы водорода  $H_2$  и углекислого газа  $CO_2$ . Во сколько раз давление, производимое водородом больше?

3. Давление идеального газа  $2 \text{ мПа}$ , концентрация молекул  $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$ . Определить среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы этого газа.



4. На рисунке приведены зависимости концентрации частиц двух разных газов от высоты. Какая кривая соответствует более легким молекулам?

5. В результате протекания изотермического процесса давление газа увеличилось в  $k$  раз. Как при этом изменилась длина свободного пробега?

6. Внутреннее трение в газах обусловлено:

- 1) силами межмолекулярного взаимодействия;
- 2) переносом импульса упорядоченного движения молекул;
- 3) переносом энергии молекул;
- 4) переносом массы молекул из одного слоя в другой.

7. Учет сил притяжения между молекулами газа приводит к появлению внутреннего давления на газ, которое равно

1)  $\frac{RT}{V_m}$                       2)  $\frac{2}{3}n\frac{m_0v^2}{2}$                       3)  $\frac{a}{V_m}$                       4)  $\frac{a}{V_m^2}$

### Вариант 5

1. Уравнение Клапейрона-Менделеева. Изопроцессы.

2. При увеличении абсолютной температуры идеального газа в 2 раза давление газа увеличилось на 25 %. Во сколько раз при этом изменился объем?

3. Давление газа на стенки сосуда

- 1) пропорционально  $v$ ;
- 2) пропорционально  $v^{1/2}$ ;
- 3) не зависит от  $v$ ;
- 4) пропорционально  $v^2$ .

где  $v$  – средняя квадратичная скорость молекулы.

4. Найти высоту, на которой плотность воздуха в  $e$  раз меньше плотности воздуха на уровне моря, считая температуру неизменной.

5. Найти зависимость среднего числа столкновений  $\langle z \rangle$  молекулы идеального газа за 1 с от давления  $p$  при изохорном процессе.

6. Определить зависимость динамической вязкости от  $T$  при изобарном процессе.

7. Внутренняя энергия моля реального газа (с учетом потенциальной энергии межмолекулярного взаимодействия) отличается от внутренней энергии идеального газа на величину

1)  $\frac{a}{V_m^2}$                       2)  $\frac{a}{V_m}$                       3)  $\frac{i+2}{V_m}$                       4)  $\frac{iR}{V_m}$



## Вариант 6

1. Распределение Больцмана. Влияние температуры и массы молекул на характер распределения.

2. При увеличении объема газа в 2 раза давление увеличилось на  $120 \text{ кПа}$ , а абсолютная температура возросла на 10 %. Каким было первоначальное давление?

3. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул кислорода меньше средней квадратичной скорости молекул водорода, если температуры газов одинаковы?

4. На рисунке представлен график функции распределения молекул по проекциям скорости  $v_x$ . Числа молекул, имеющих проекции в интервалах: от 0 до  $v_{x1}(N_1)$  и от  $v_{x1}$  до  $v_{x2}(N_2)$  соотносятся как

- 1)  $N_1 > N_2$
- 2)  $N_2 > N_1$
- 3)  $N_1 = N_2$

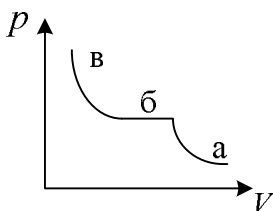
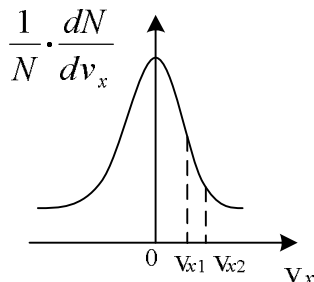
4) зависимость не дает информации о количестве молекул

5. Найти зависимость средней длины свободного пробега молекул идеального газа от температуры  $T$  при изобарном процессе.

6. Определить зависимость динамической вязкости  $\eta$  от температуры  $T$  при изохорном процессе.

7. На рисунке представлена изотерма реального газа. Насыщенному пару соответствуют области

- 1) а
- 2) б
- 3) в
- 4) а, в



## Вариант 7

1. Максвелловское распределение молекул по скоростям. Наиболее вероятная, средняя и средняя квадратичная скорости.

2. При нагревании газа на 1 К при постоянном объеме его давление увеличилось на 0,2 %. Какова начальная температура газа?

3. Давление идеального газа выражается формулами

а)  $p = nkT$       б)  $p = \frac{2}{3} nE$       в)  $p = \frac{\rho RT}{M}$

г)  $p = \frac{1}{3} \rho v_{\text{кв}}^2$       д)  $p = \frac{2U}{iV}$

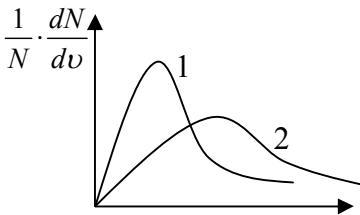
1) а, б

2) а, б, г

3) а, в, г, д

4) а, б, в, г, д

4. Представленным кривым распределения Максвелла соответствуют параметры



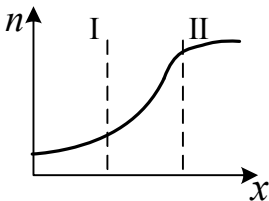
1)  $T_1 = T_2, M_1 > M_2$

2)  $T_1 = T_2, M_2 > M_1$

3)  $M_1 = M_2, T_1 > T_2$

4)  $M_1 = M_2, T_2 > T_1$

5. Найти зависимость средней длины свободного пробега молекул идеального газа от давления  $p$  при изотермическом процессе.



6. Концентрация молекул газа вдоль оси  $x$  изменяется согласно графику. Сравните перенос массы вещества в горизонтальном направлении через одинаковые сечения I и II.

7. Удельная теплоемкость твердых тел, с учетом закона Дюлонга и Пти, равна

- 1)  $\frac{5R}{M}$       2)  $\frac{3R}{2}$       3)  $3R$       4)  $\frac{3R}{M}$

### Вариант 8

1. Вывод формулы для расчета длины свободного пробега молекул.

2. В баллоне вместимостью  $V = 5$  л находится азот массой  $m = 17,5$  г. Чему равна концентрация  $n$  молекул азота в баллоне?

3. При неизменной концентрации молекул идеального газа в результате нагревания давление газа увеличилось в 4 раза. Как при этом изменилась средняя квадратичная скорость теплового движения молекул?

4. Площадь под кривой распределения молекул по скоростям

- 1) увеличивается при увеличении температуры
- 2) увеличивается при уменьшении давления
- 3) зависит от  $T$  и  $p$
- 4) остается постоянной.

5. Найти зависимость среднего числа столкновений  $\langle z \rangle$  молекулы идеального газа за 1 с от давления  $p$  при изотермическом процессе.

6. Явление диффузии обусловлено:

- 1) силами межмолекулярного взаимодействия
- 2) переносом импульса упорядоченного движения молекул
- 3) переносом энергии молекул
- 4) переносом массы молекул из одного слоя в другой.

7. Внутренняя энергия моля реального газа равна

- 1)  $C_v T - \frac{a}{V_m}$       2)  $C_v T$       3)  $\frac{i}{2} RT$       4)  $\frac{a}{V_m}$

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№ 1.17. Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении

№ 1.18. Определение отношения теплоемкости воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме

№ 1.19. Определение удельной теплоты кристаллизации и изменения энтропии при охлаждении олова

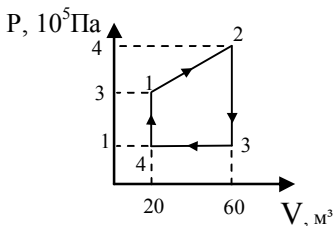
### Теоретический минимум

- Термодинамическая система и её параметры.
- Число степеней свободы молекул. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы.
- Внутренняя энергия и теплоёмкость идеального газа. Недостаточность классической теории теплоемкости.
- Работа в термодинамике.
- Первое начало термодинамики и её применение к изопроцессам.
- Уравнение адиабаты.
- Фазы и фазовые переходы 1 и 2 рода.
- Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
- Диаграмма состояния. Тройная точка.
- Энтропия системы. Закон возрастания энтропии.
- Энтропия идеального газа.

### Контрольные задания

#### Вариант 1

1. Вывести уравнение Майера.



2. Внутренняя энергия некоторого газа  $60 \text{ МДж}$ . На долю поступательного движения приходится  $36 \text{ МДж}$ . Определить количество атомов в молекуле.

3. Какова работа, выполняемая идеальным газом за один цикл, представленный на рисунке.?

4. Какая часть количества теплоты, сообщенной одноатомному газу в изобарном процессе, идет на увеличение внутренней энергии?

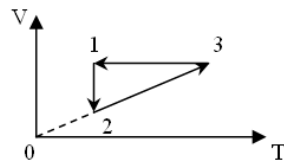
5. Вычислить показатель адиабаты двухатомного идеального газа.

6. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях  $\rho = 1,43 \text{ кг/м}^3$ . Найти удельную теплоемкость газа при постоянном объеме.

7. При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу  $200 \text{ Дж}$ . Температура нагревателя  $375 \text{ }^\circ\text{C}$ , холодильника  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, получаемое от нагревателя.

8. Для замкнутого цикла, представленного на рисунке, энтропия газа возрастает на стадии

- 1) 1-2                      2) 2-3  
3) 1-2, 2-3              4) 2-3, 3-1



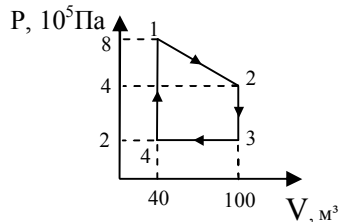
### Вариант 2

1. Вывести уравнение Пуассона.

2. Найти отношение средней кинетической энергии вращательного движения молекул к их внутренней энергии для 3-х атомных молекул газа.

3. Чему равна работа, выполненная идеальным газом за один цикл, представленный на рисунке?

4. В процессе изохорного нагревания водорода объемом  $V$  его давление изменилось на  $\Delta p$ . Какое количество теплоты сообщено газу?



5. Вычислить показатель адиабаты для трехатомного газа.

6. Чему равна теплоемкость водорода при постоянном объеме?

7. При прямом цикле Карно тепловая машина совершает работу  $200 \text{ Дж}$ . Температура нагревателя  $375 \text{ }^\circ\text{C}$ , холодильника  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ . Определить количество теплоты, получаемое от нагревателя.

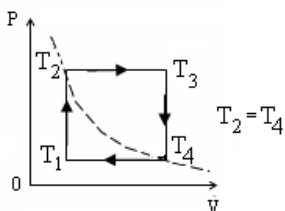
8. Изменение энтропии при изохорном нагреве моля вещества от температуры  $T_1$  до температуры  $T_2$  равно

1)  $C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$       2)  $C_v(T_2 - T_1)$       3)  $(T_2 - T_1)$       4)  $R \ln \frac{T_2}{T_1}$

### Вариант 3

1. Вывести формулу работы газа при изотермическом процессе.

2. Найти отношение средней кинетической энергии поступательного движения молекул газа к внутренней энергии газа, выраженное через число степеней свободы молекулы.



3. Чему равна работа, совершаемая одним молем идеального газа за цикл, представленный на рисунке?

4. Какая часть количества теплоты, сообщенной двухатомному газу в изобарном процессе, идет на увеличение внутренней энергии?

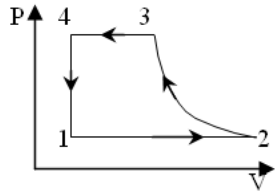
5. Вычислить показатель адиабаты для одноатомного газа.

6. Плотность некоторого двухатомного газа при нормальных условиях  $\rho = 1,43 \text{ кг/м}^3$ . Найти его удельную теплоемкость при постоянном давлении.

7. Газ в цикле Карно с коэффициентом полезного действия  $0,8$  совершил работу  $38,4 \text{ кДж}$ . Какое количество теплоты передано газу нагревателем?

8. Энтропия газа уменьшается при протекании следующих процессов

- 1) 1-2, 2-3      2) 3-4, 4-1  
 3) 3-4, 2-3      4) 4-1, 1-2, 2-3



### Вариант 4

1. Вывести формулу работы идеального газа при адиабатном процессе.

2. Из скольких атомов состоит молекула газа, если средние энергии поступательного и вращательного движения молекул одинаковы?

3. Объем идеального газа увеличивается от одного и того же объема и давления: а) изотермически, б) изобарически, в) по закону  $p \sim V^2$ . При этом верным соотношением между работами газа в ходе одинакового изменения объема является

- 1)  $A_б > A_а > A_в$     2)  $A_а > A_б > A_в$     3)  $A_б > A_в > A_а$     4)  $A_в > A_б > A_а$

4. Работа расширения некоторого одноатомного идеального газа при изобарном процессе составляет 2 кДж. Чему равно количество подведенной к газу теплоты?

5. Формулы для расчета показателя адиабаты

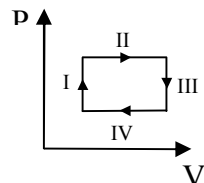
- а)  $\frac{iR}{2}$       б)  $\frac{i+2}{2}$       в)  $\frac{i+2}{i}$       г)  $\frac{i+2}{2}R$       д)  $\frac{C_p}{C_v}$

- 1) а, б      2) в, д      3) а, д      4) б, д

6. На нагревание некоторого количества вещества массой 0,2 кг от температуры 12 °С до 16,4 °С потребовалось 300 Дж теплоты. Оценить удельную теплоемкость вещества.

7. Идеальная тепловая машина в течение цикла получает от нагревателя количество теплоты 2095 Дж. Температура нагревателя 500 К, температура холодильника 300 К. Чему равна работа машины за один цикл?

8. Для замкнутого цикла, представленного на рисунке, энтропия



уменьшается при протекании следующих процессов:

- 1) II      2) II, III      3) III, IV      4) IV, I

### Вариант 5

1. Вывести формулу КПД цикла Карно.

2. Найти внутреннюю энергию двухатомного газа, если на долю вращательного движения приходится энергия 22 МДж.

3. Газ переходит из состояния

1 в состояние 3 по пути 1-2-3 и 1-4-

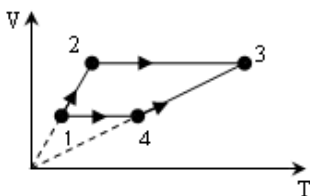
3. При этом справедливо

утверждение

1)  $A_{123} = A_{143}$

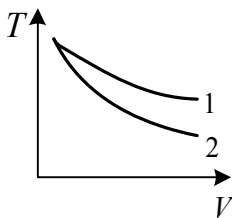
2)  $A_{123} > A_{143}$

3)  $A_{123} < A_{143}$



4) для определения работы газа информации недостаточно.

4. При изобарном нагревании одного моля идеального одноатомного газа было сообщено количество теплоты 5 кДж. Найти изменение внутренней энергии газа.



5. На рисунке изображены адиабаты двух газов: водорода и аргона. Какой график соответствует аргону?

6. Теплоемкость некоторой массы газа при постоянном объеме вычисляется по формуле

1)  $\frac{iR}{2M}$

2)  $\frac{m}{M} \frac{i+2}{2} R$

3)  $\frac{i+2}{2M} R$

4)  $\frac{m}{M} \frac{i}{2} R$

7. Идеальный газ совершил цикл Карно. Температура нагревателя  $T_1$  в 3 раза выше температуры  $T_2$  холодильника. Нагреватель передал газу количество теплоты  $Q_1 = 42$  кДж. Какую работу совершил газ?

8. При изохорном нагревании одноатомного идеального газа ( $\nu = 3$  моль) его термодинамическая температура



увеличилась в  $n = 2$  раза. Найти изменение энтропии при этом процессе.

### Вариант 6

1. Записать I закон термодинамики для всех изопрощесов.

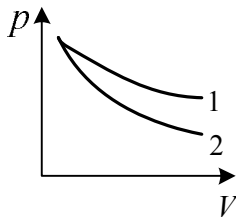
2. Отношение средней кинетической энергии вращательного движения молекул газа к средней кинетической энергии поступательного движения, выраженное через число степеней свободы молекулы, равно

$$1) \frac{i+2}{2} \quad 2) \frac{i-3}{3} \quad 3) \frac{3}{i} \quad 4) \frac{i+3}{2}$$

3. Сравнить работы, которые совершают одинаковые массы водорода и кислорода при изобарном нагревании на одну и ту же температуру.

4. Двухатомный идеальный газ ( $\nu = 2$  моль) нагревают при постоянном объеме до  $T = 289$  К. Найти количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление в 3 раза.

5. На рисунке изображены адиабаты двух газов: водорода и аргона. Какой график соответствует водороду?



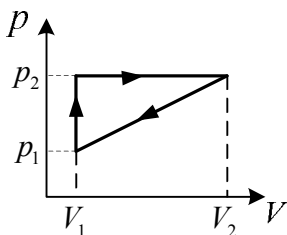
6. Чему равна удельная теплоемкость кислорода при постоянном давлении?

7. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура  $T_1$  нагревателя в 4 раза выше температуры  $T_2$  охладителя. Какую долю количества теплоты, получаемого за один цикл от нагревателя, газ отдает охладителю?

8. Кислород массой  $m = 2$  кг, расширяясь изотермически, увеличил свой объем в 5 раз. Найти изменение энтропии.

### Вариант 7

1. Принцип действия и вывод КПД тепловой машины.
2. Из скольких атомов состоит молекула газа, если на долю поступательного движения молекулы приходится энергия  $33 \cdot 10^{-21}$  Дж. Полная энергия молекулы  $55 \cdot 10^{-21}$  Дж.
3. Найти работу изобарного расширения моля идеального газа при нагревании на  $1$  К.
4. В процессе изохорного нагревания кислорода объемом  $V = 20$  л его давление изменилось на  $\Delta p = 100$  кПа. Какое количество теплоты сообщено газу?



5. Определить показатель адиабаты  $\gamma$  частично диссоциировавшего газообразного азота, степень диссоциации которого равна  $0,4$ .

6. Удельная теплоемкость идеального газа при постоянном давлении вычисляется по формуле

$$1) \frac{i+2}{2} R \quad 2) \frac{i+2}{2} \frac{R}{M} \quad 3) \frac{m}{M} \frac{i}{2} R \quad 4) \frac{iR}{2M}$$

7. Определить КПД цикла, представленного на рисунке, рабочим телом которого является одноатомный идеальный газ, если  $p_2 = 2p_1$ ,  $V_2 = 4V_1$ .

8. В результате изохорного нагревания водорода массой  $m = 1$  г давление газа увеличилось в 2 раза. Определить изменение энтропии.

### Вариант 8

1. Вывести уравнение адиабаты.
2. Определить среднее значение полной кинетической энергии одной молекулы водяного пара при температуре  $400$  К.

3. Работы при изотермическом расширении газа от а)  $1$  до  $2 \text{ м}^3$  и б) от  $2$  до  $4 \text{ м}^3$  соотносятся:

1)  $A_a > A_b$     2)  $A_a < A_b$     3)  $A_a = A_b$     4)  $A_b = 2A_a$

4. Какая часть количества теплоты, сообщенной одноатомному газу в изобарном процессе, идет на совершение работы?

5. Уравнение Пуассона представлено формулами

а)  $pV^\gamma = \text{const}$     б)  $TV^{\gamma-1} = \text{const}$     в)  $T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}$     г)  $T^{\gamma-1} p^\gamma = \text{const}$

1) а,б    2) в,г    3) а    4) б

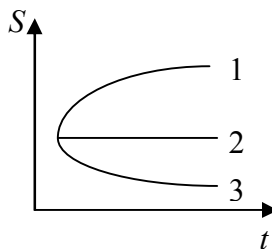
6. Удельная теплоемкость при постоянном объеме некоторого одноатомного газа равна  $3,12 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ . Определить молярную массу газа.

7. Идеальный газ, совершающий цикл Карно,  $2/3$  количества теплоты  $Q_1$ , полученного от нагревателя, отдает холодильнику. Температура  $T_2$  холодильника равна  $280 \text{ К}$ . Определить температуру  $T_1$  нагревателя.

8. В теплую воду бросили лед, он начал таять. Изменению энтропии системы “лед - вода” в процессе установления термодинамического равновесия на графике соответствует зависимость

1) 1    2) 2    3) 3

4) ни одна не соответствует



### Вариант 9

1. Вывести уравнение Майера.

2. Определить среднее значение полной кинетической энергии молекулы азота при температуре  $1000 \text{ К}$ .

3. Работа газа при изотермическом процессе находится по формуле

1)  $p(V_2 - V_1)$     2)  $\frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$     3)  $\frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2)$     4)  $\frac{i}{2} \frac{m}{M} R (T_2 - T_1)$

4. Какая часть количества теплоты, сообщенной двухатомному газу, идет на совершение работы?

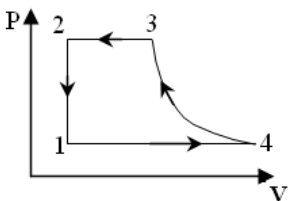
5. Вычислить показатель адиабаты для трехатомного газа.

6. Определить удельную теплоемкость углекислого газа ( $CO_2$ ) при постоянном объеме.

7. Определить КПД цикла Карно, если в результате кругового процесса газ совершил работу  $A = 1$  Дж и передал охладителю количество теплоты  $Q_2 = 4,2$  Дж.

8. Энтропия газа убывает при протекании следующих процессов

- |             |             |
|-------------|-------------|
| 1) 1-2, 2-3 | 2) 2-3, 3-4 |
| 3) 3-4, 4-1 | 4) 4-1, 1-2 |



### Вариант 10

1. Вывести формулу работы газа при адиабатном процессе.

2. Из скольких атомов состоит молекула, если на долю вращательного движения молекулы приходится энергия  $11 \cdot 10^{-21}$  Дж, а полная энергия движения молекул равна  $22 \cdot 10^{-21}$  Дж?

3. Газ расширяется от объема  $V_1$  до объема  $V_2$ : а) изобарно; б) адиабатно; в) изотермически. В каком процессе газ совершает наименьшую работу?

4. В результате изобарного процесса внутренняя энергия трехатомного газа изменилась на  $24$  МДж. Найти работу, совершенную газом.

5. Вычислить показатель адиабаты для многоатомного газа.

6. Как изменится удельная теплоемкость  $c_v$  двухатомного газа при полной диссоциации его молекул?

7. Идеальный газ совершает цикл Карно. Работа изотермического расширения  $A_1 = 5$  Дж. Определить работу изотермического сжатия  $A_2$ , если КПД цикла равен  $0,2$ .

8. Одинаковое количество одноатомного и двухатомного газа, нагревают в закрытом сосуде. Начальные и конечные температуры газов в обоих случаях одинаковы. Приращение энтропии во втором случае больше, чем в первом в

- 1) 2 раза      2) 2,5 раза      3) 3,5 раза      4) 4 раза

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учебн. пособие для вузов / Т.И. Трофимова. 9-е изд. перераб. и доп. Изд-во: Academia, 2007, 560 с.

2. Савельев И.В. Курс физики: учебник: В 3 т. Т.1: Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. М.:Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит.,1989.-352 с.

3. Детлаф А.А. Курс физики: учеб. пособие для втузов / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. М.: Высш.шк.,1989. – 608 с.

4. Сивухин Д.В. Общий курс физики: учебник: в 5т. Т.1: Механика / Д.В. Сивухин. 3-е изд., испр. и доп. М.: Наука, 1989, -575 с.

5. Москаленко А.Г. Физические основы механики: учеб. пособие / А.Г. Москаленко, Е.П. Татьяна, А.А. Щетинин. Воронеж: ГОУВПО “Воронежский государственный технический университет”, 2010. 190 с.

6. Механика: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика» для студентов всех специальностей очной формы обучения (№ 243-2010) /ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.Г. Москаленко, И.А. Сафонов, Н.В. Матовых. Воронеж, 2010. 45 с.

7. Методические указания к выполнению лабораторного практикума по разделу “Молекулярная физика и термо-

динамика” для студентов всех специальностей и всех форм обучения (№287-2005) / Воронеж. гос. техн. ун-т; Сост. А.Г. Москаленко, М.Н. Гаршина, Н.В. Матовых, О.В. Мячина, И.А. Сафонов, Б.Г. Суходолов, Е.В. Шведов. Воронеж, 2005. 43 с.

8. Методические указания к выполнению лабораторного практикума по разделу “Механические колебания и волны” для студентов всех специальностей дневной формы обучения (№298-2005) / Воронеж. гос. техн. ун-т; сост. В.С. Железный, А.Г. Москаленко, И.А. Сафонов, В.А. Евсюков, Н.В. Матовых. Воронеж, 2005, 44 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.0

Расчет погрешностей измерений при определении объема цилиндра..... 3

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.1

Определение ускорения свободного падения на машине Атвуда..... 7

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.2

Определение упругого модуля сдвига стальной проволоки методом крутильных колебаний ..... 14

### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

№1.3. Определение момента инерции методом трифилярного подвеса..... 17

№1.4. Определение момента инерции металлических колец при помощи маятника Максвелла ..... 17

№1.5а. Исследование основного уравнения динамики вращательного движения и определение момента инерции крестообразного маятника..... 17

№1.5б. Определение момента инерции маховика и момента сил трения..... 17

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.6

Определение скорости полета пули с помощью баллистического маятника ..... 26

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.10	
Исследование движения тел в жидкости .....	32
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	
№ 1.11. Исследование законов колебательного движения физического маятника и определение ускорения свободного падения .....	36
№ 1.12. Определение ускорения свободного падения с помощью математического и обратного маятников .....	36
№ 1.13. Определение приведенной длины физического маятника и ускорения свободного падения .....	36
№ 1.14. Изучение резонансных явлений при колебаниях плоской пружины.....	36
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	
№ 1.15а. Определение скорости звука в воздухе методом стоячей волны .....	41
№ 1.15б. Определение скорости звука в воздухе методом сдвига фаз.....	41
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	
№ 1.16 Определение коэффициента внутреннего трения воздуха при различных температурах.....	44
№ 1.20 Изучение реального газа (Эффект Джоуля-Томсона) .	44
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ	
№ 1.17. Определение удельной теплоемкости воздуха при постоянном давлении.....	52
№ 1.18. Определение отношения теплоемкости воздуха при постоянном давлении и постоянном объеме .....	52
№ 1.19. Определение удельной теплоты кристаллизации и изменения энтропии при охлаждении олова.....	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	61

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ  
для зачета по лабораторным работам  
по дисциплине «Физика»  
«Механика. Молекулярная физика и термодинамика»  
для студентов всех специальностей очной формы обучения

Составители:  
Москаленко Александр Георгиевич  
Гаршина Мария Николаевна  
Татьянина Елена Павловна  
Бурова Светлана Васильевна

В авторской редакции

Подписано в печать 25.11.2010.  
Формат 60×84/16. Бумага для множительных аппаратов.  
Усл. печ. л. 3,9. Уч.-изд. л.3,7. Тираж 50 экз. «С» 303

Заказ №481

ГОУВПО «Воронежский государственный  
технический университет»  
394026 Воронеж, Московский просп., 14