

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Физика»

П. А. Хило, Е. С. Петрова

ФИЗИКА

ПРАКТИКУМ

**по курсу «Механика и молекулярная физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Гомель 2012

УДК 531/534+539.194(075.8)
ББК 22.36я73
Х45

*Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 29.11.2011 г.)*

Рецензент: канд. физ. мат. наук, доц. каф. «Высшая математика»
ГГТУ им. П. О. Сухого *Л. Л. Великович*

Хило, П. А.

Х45 Физика : практикум по курсу «Механика и молекулярная физика» для студентов техн. специальностей днев. формы обучения / П. А. Хило, Е. С. Петрова. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 22 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://lib.gstu.local>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-985-535-063-8.

Включает три раздела программы курса общей физики «Механика и молекулярная физика» : «Физические основы механики», «Гармонические колебания и волны», «Молекулярная физика и термодинамика». Каждый раздел содержит примеры решения типовых задач и набор текстовых заданий.

Для студентов технических специальностей.

УДК 531/534+539.194(075.8)
ББК 22.36я73

ISBN 978-985-535-063-8

© Хило П. А., Петрова Е. С., 2012
© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2012

Предисловие

Настоящий практикум предназначен для самостоятельной подготовки студентов дневной формы обучения к практическим занятиям по курсу «Физика».

Практикум включает три раздела программы курса общей физики для технических специальностей вузов: «Физические основы механики», «Гармонические колебания и волны», «Молекулярная физика и термодинамика».

Каждый раздел содержит примеры решения задач и набор тестовых заданий. Данный практикум может быть использован как для проведения практических занятий по физике, так и для текущего тестирования.

Физические основы механики

Примеры решения задач

Задача 1

Движение тела массой 1 кг задано уравнением $S = 6t^3 + 3t + 2$. Определите скорость и ускорение тела, а также действующую на тело силу в конце второй секунды.

Решение

Мгновенную скорость находим как производную пути по времени $v = \frac{dS}{dt}$, $v = 18t^2 + 3$.

Мгновенное ускорение определяется первой производной от скорости по времени или второй производной от пути по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}, a = 36t.$$

Сила, действующая на тело, определяется по второму закону Ньютона $F = ma$, где согласно условию задачи ускорение в конце второй секунды равно $36 \cdot 2 = 72 \text{ м/с}^2$. Тогда $F = 1 \cdot 36 \cdot 2 = 72 \text{ Н}$.

Ответ: $v = 18t^2 + 3 \text{ м/с}$; $a = 36t \text{ м/с}^2$; $F = 72 \text{ Н}$.

Задача 2

Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10 \text{ рад}$, $B = 20 \text{ рад/с}$, $C = -2 \text{ рад/с}^2$. Найдите полное ускорение точки, находящейся на расстоянии $r = 0,1 \text{ м}$ от оси вращения, для момента времени 4 с.

Решение

Полное ускорение точки $\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$, модуль полного ускорения $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$. Модули тангенциального и нормального ускорений точки вращающегося тела определяются равенствами: $a_\tau = \varepsilon r$ и $a_n = \omega^2 r$, где ε – модуль углового ускорения, ω – модуль угловой скорости. Тогда $a = \sqrt{\omega^4 r^2 + \varepsilon^2 r^2} = r\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$.

Угловую скорость определим, взяв первую производную от угла поворота $\omega = \frac{d\varphi}{dt} = B + 2Ct$. В момент времени $t = 4$ с модуль угловой скорости равен $\omega = [20 + 2(-2)4] = 4$ рад/с.

Угловое ускорение найдем, взяв первую производную от угловой скорости по времени: $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = 2C = -4$ рад/с². Тогда

$$a = 0,1\sqrt{(-4)^2 + 4^2} = 1,65 \text{ рад/с}^2.$$

Ответ: 1,65 рад/с².

Задача 3

На скамье Жуковского стоит человек и держит на вытянутых руках гири по 10 кг каждая. Расстояние от каждой гири до оси вращения скамьи $l_1 = 75$ см. Скамья вращается, делая $n_1 = 1$ об/с. Как изменится скорость вращения скамьи и какую работу произведет человек, если он сожмет руки так, что расстояние от каждой гири до оси уменьшится до $l_2 = 20$ см? Момент инерции человека и скамьи относительно оси вращения $I = 2,5$ кг · м².

Решение

При перемещении гирь относительно оси вращения на систему «человек – скамья – гири» будут действовать внешние силы – силы реакции оси, линия действия которых проходит через ось. Момент этих сил равен нулю. Следовательно, для системы «человек – скамья – гири» будет выполняться закон сохранения импульса. Поскольку момент инерции гирь, а следовательно, всей системы, будет уменьшаться, скорость вращения скамьи возрастет, увеличится и кинетическая энергия системы. Кинетическая энергия системы увеличивается за счет работы человека.

До перемещения гирь момент импульса системы равен $L_1 = (I_0 + 2ml_1^2)\omega_1$, после перемещения $L_2 = (I_0 + 2ml_2^2)\omega_2$. Согласно закону сохранения момента импульса $L_1 = L_2$, следовательно, отсюда

$$(I_0 + 2ml_1^2)2\pi n_1 = (I_0 + 2ml_2^2)2\pi n_2, \text{ откуда } n_2 = \frac{I_0 + 2ml_1^2}{I_0 + 2ml_2^2} n_1 = 4,2 \text{ об/с.}$$

Работа человека равна увеличению кинетической энергии системы $A = E_{k2} - E_{k1}$, начальная кинетическая энергия системы

$E_{k1} = (I_0 + 2ml_1^2) \frac{\omega_1^2}{2}$, конечная кинетическая энергия системы

$E_{k2} = (I_0 + 2ml_2^2) \frac{\omega_2^2}{2}$, откуда $A = 2\pi^2 [(I_0 + 2ml_2^2)n_2^2 - (I_0 + 2ml_1^2)n_1^2] = 870$ Дж.

Ответ: 4,2 об/с, 870 Дж.

Тестовые задания

1. Радиус-вектор, определяющий положение материальной точки в пространстве, изменяется со временем по закону:

$$\vec{r} = A \frac{t}{\tau} \vec{i} + B \left(\frac{t}{\tau}\right)^2 \vec{j} + C \left(\frac{t}{\tau}\right)^3 \vec{k}.$$

Чему будет равна величина скорости частицы в момент времени $\tau = 1$, если $A = B = C = 1$ м?

- 1) 6 м/с; 2) 3,73 м/с; 3) 3,6 м/с; 4) 1 м/с.

2. Радиус-вектор, определяющий положение материальной точки в пространстве, изменяется со временем по закону $\vec{r} = 2t^2 \vec{i} + 3t \vec{j}$. Чему равен модуль радиус-вектора в момент времени 2 с?

- 1) 5 м; 2) 10 м; 3) 2 м; 4) 3 м; 5) 9 м.

3. Радиус-вектор, определяющий положение материальной точки в пространстве, изменяется со временем по закону $\vec{r} = 2t^2 \vec{i} + 3t \vec{j} + 4\vec{k}$. Чему равен модуль ускорения?

- 1) 4 м/с²; 2) 5 м/с²; 3) 2 м/с²; 4) 3 м/с²; 5) 9 м/с².

4. Кинематическое уравнение движения материальной точки по прямой (ось x) имеет вид: $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4$ м, $B = 2$ м/с, $C = 0,5$ м/с². Для момента времени 2 с определите ускорение точки.

- 1) 4 м/с²; 2) 6 м/с²; 3) 2 м/с²; 4) 0,5 м/с²; 5) 1 м/с².

5. Частица начала свое движение от начала координат с нулевой скоростью, ускорение частицы от времени определяется по закону

$\vec{a}(t) = A \frac{t}{\tau} \vec{i} + B \left(\frac{t}{\tau}\right)^2 \vec{j}$. Найдите модуль скорости частицы в момент времени $t = \tau = 1$ с, $A = B = 1$ м/с².

- 1) 0,601 м/с; 2) 0,81 м/с; 3) 1 м/с.

6. Материальная точка движется в плоскости xOy согласно уравнениям $x = A_1 + B_1t + C_1t^2$ и $y = A_2 + B_2t + C_2t^2$, где $B_1 = 7$ м/с, $C_1 = -2$ м/с², $B_2 = -1$ м/с, $C_2 = 0,2$ м/с². Найдите модуль скорости v и ускорения a точки в момент времени $t = 5$ с.

1) 3,74 м/с, 4,24 м/с²; 2) -12 м/с, -18 м/с²; 3) 13,04 м/с, 20,01 м/с².

7. Точка движется по окружности радиусом $R = 4$ м. Закон ее движения выражается уравнением $S = A + Bt^2$, где $A = 8$ м, $B = 2$ м/с². Определите нормальное ускорение точки a_n в момент времени $t = 1$ с.

1) 4 м/с²; 2) 5 м/с²; 3) 2 м/с²; 4) 3 м/с²; 5) 9 м/с².

8. Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности $R = 1$ м с угловой скоростью $\omega = At^2$. Найдите отношение нормального и тангенциального ускорения частицы для момента времени 2 с, $A = 2$ с⁻¹.

1) 4; 2) 0,25; 3) 8; 4) 2; 5) 1.

9. Колесо радиусом $R = 0,1$ м вращается так, что зависимость угла поворота радиуса колеса от времени имеет вид: $\varphi = A + Bt + t^3$. Для точек, лежащих на ободе колеса, найдите для времени $t = 2$ с после начала движения угловое ускорение.

1) 4 рад/с²; 2) 6 рад/с²; 3) 8 рад/с²; 4) 12 рад/с²; 5) 2 рад/с².

10. Шар массой $m_1 = 5$ кг движется со скоростью $v_1 = 4$ м/с и сталкивается с шаром массой $m_2 = 2$ кг, движущимся навстречу ему со скоростью $v_2 = 10$ м/с. Определите скорости шаров после удара. Удар считать абсолютно упругим, прямым, центральным.

1) 4 м/с; 2) 2 м/с; 3) 0 м/с; 4) 6 м/с; 5) 1,5 м/с.

11. На рис. 1 и 2 указано направление импульса материальной точки, положение материальной точки относительно точки O задается радиус-вектором. Момент импульса материальной точки направлен:

1) 1; 2) 3; 3) 4; 4) 2.

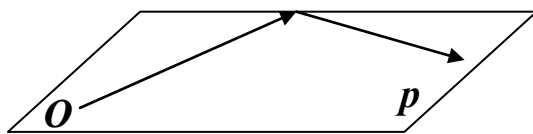


Рис. 1

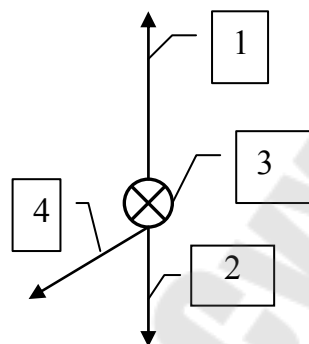


Рис. 2

12. На рис. 3 и 4 представлены два случая взаимного расположения векторов силы \vec{F} и скорости \vec{v} . Для работы, совершаемой силой, в этом случае справедливы утверждения:

- 1) $A_1 > 0, A_2 > 0$;
- 2) $A_1 > 0, A_2 < 0$;
- 3) $A_1 = 0, A_2 < 0$;
- 4) $A_1 < 0, A_2 > 0$;
- 5) $A_1 > 0, A_2 = 0$.

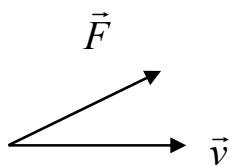


Рис. 3



Рис. 4

13. Тело движется вдоль горизонтальной оси x под действием силы $F = 1$ Н, направленной под углом α к оси x . В некоторый момент времени тело достигает скорости 1 м/с, а мощность, развиваемая телом, равна 0,5 Вт. Найдите угол α .

- 1) 30° ;
- 2) 60° ;
- 3) 45° ;
- 4) 90° .

14. Кинетическая энергия тела массой 5 кг, движущегося по оси ox по закону $x = 8 + 6t - 6t^2$ в момент времени 2 с, равна, Дж:

- 1) 1300;
- 2) 1450;
- 3) 2250;
- 4) 2200;
- 5) 1000.

15. На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием 10 тонн. Орудие стреляет горизонтально в направ-

лении пути. С какой скоростью покатится платформа вследствие отдачи, если масса снаряда 20 кг и он вылетает со скоростью 600 м/с?

- 1) 0,2 м/с; 2) 0,4 м/с; 3) 1,2 м/с; 4) 2,2 м/с; 5) 5 м/с.

16. Угол поворота вала изменяется по закону $\varphi = 2t^2 + 5t + 8$, момент инерции вала равен $10 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, вращающий момент равен, Н · м:

- 1) 150; 2) 100; 3) 20; 4) 40; 5) 10.

17. Перпендикулярно плоскости однородного диска массой m и радиусом R проходят две параллельные оси. Одна проходит через центр масс диска C , другая – через точку O , лежащую на расстоянии x от точки A на краю диска. Точки C, A, O лежат на диаметре диска. Во сколько раз момент инерции I_o больше, чем I_c , $m = 1 \text{ кг}$, $R = 1 \text{ м}$, $x = 0,4 \text{ м}$?

- 1) 0,75; 2) 1,32; 3) 1,72; 4) 0,75.

18. Перпендикулярно однородному тонкому стержню массой m и длиной l проходят две параллельные оси. Одна проходит через центр масс стержня C , другая – через точку O , лежащую на расстоянии x от его конца A . Во сколько раз момент инерции стержня I_o больше, чем I_c , $m = 1 \text{ кг}$, $l = 1 \text{ м}$, $x = 0,4 \text{ м}$?

- 1) 0,9; 2) 2,9; 3) 1,12; 4) 0,75.

19. Через однородный шар массой m и радиусом R проходят две параллельные оси. Одна проходит через центр масс шара C , другая – через точку O , лежащую на расстоянии x от точки A на краю шара. Точки C, A, O лежат на диаметре шара. Во сколько раз момент инерции I_o больше, чем I_c , $m = 1 \text{ кг}$, $R = 1 \text{ м}$, $x = 0,4 \text{ м}$?

- 1) 0,75; 2) 1,32; 3) 1,72; 4) 1,9.

20. Диск массой 1 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости с угловой скоростью $\omega = 1 \text{ рад/с}$, радиус диска $R = 1 \text{ м}$, кинетическая энергия диска равна, Дж:

- 1) 0,25; 2) 0,75; 3) 0,5; 4) 1; 5) среди ответов 1–4 нет верного.

21. На рис. 5 и 6 показаны направление угловой скорости и углового ускорения вращающегося диска. Момент силы диска имеет направление:

- 1) А; 2) Б; 3) С; 4) Д.

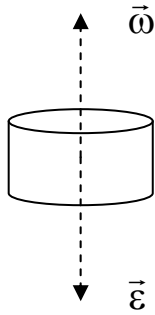


Рис. 5

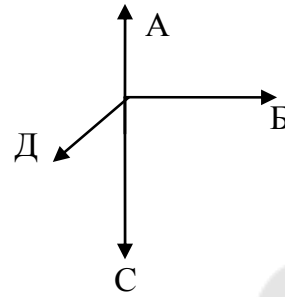


Рис. 6

22. К маховику приложен вращающий момент силы, равный $100 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Какое плечо должна иметь тормозящая сила в 500 Н , чтобы маховик не вращался:

- 1) 50 см; 2) 40 см; 3) 30 см; 4) 20 см; 5) 10 см.

23. Угловая скорость цилиндра массой 2 кг и радиусом $0,1 \text{ м}$ возросла от 3 до 5 рад/с . При этом была совершена работа, Дж:

- 1) 0,4; 2) 0,04; 3) 0,08; 4) 0,8; 5) 0,16.

Гармонические колебания и волны

Примеры решения задач

Задача 1

Тонкий однородный стержень массой $m = 1 \text{ кг}$ и длиной $l = 1 \text{ м}$ подвешен на горизонтальной оси (рис. 7), проходящей перпендикулярно стержню через его конец. К нижнему концу прикрепили небольшой пластилиновый шарик такой же массы m . Найдите циклическую частоту малых колебаний такого маятника. Трением в оси пренебречь. Принять ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

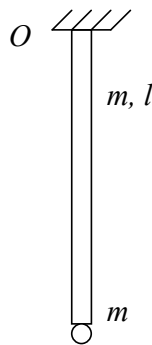


Рис. 7

Решение

Циклическую частоту малых колебаний будем искать по формуле

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m_{\text{сист}} g d}{I_{\text{сист}}}},$$

где $m_{\text{сист}} = m_1 + m_2 = 2m$, $d = \frac{m \cdot l/2 + m \cdot l}{m + m} = \frac{3l}{4}$ – расстояние от точки подвеса до центра масс системы двух тел.

$$I_{\text{сист}} = \frac{ml^2}{3} + ml^2 = \frac{3l}{4} \text{ – момент инерции системы тел.}$$

$$\text{Таким образом, } \omega_0 = \sqrt{\frac{2m g \cdot 3l/4}{4ml^2/3}} = \sqrt{\frac{9g}{8l}} = 3,35 \text{ рад/с.}$$

Ответ: 3,35 рад/с.

Задача 2

Грузик массой $m = 1$ кг прикреплен к пружине жесткостью $k = 1$ Н/м и совершает незатухающие гармонические колебания в горизонтальной плоскости с амплитудой $A = 1$ см. В момент времени $t = 0$ с грузик находился в крайнем положении. За какое время он пройдет путь, равный $1,5 A$?

Решение

Крайнее положение грузика на пружине соответствует амплитудному смещению $x = A$ при нулевой скорости. Подставляя начальные условия в формулу

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad (1)$$

найдем начальную фазу колебаний $\varphi_0 = 0$.

После того как грузик пройдет путь $1,5 A$, его координата станет равной $x = -0,5 A$. Подставляя это значение в формулу (1), найдем момент времени:

$$-0,5A = A \cos(\omega_0 t_1) \Rightarrow \cos(\omega_0 t_1) = -0,5 \Rightarrow t_1 = \frac{2\pi}{3\omega_0} = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{k}{m}} = 2,09 \text{ с.}$$

Ответ: 2,09 с.

Задача 3

Период колебаний материально гармонически колеблющейся точки 1 с, максимальная скорость точки 1 м/с. В начальный момент времени смещение точки от положения равновесия равно $\frac{1}{4\pi}$. Запишите уравнение колебаний материальной точки.

Решение

Уравнение гармонических колебаний материальной точки будем искать в виде $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$. Скорость точки:

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0), \quad v_{\max} = A\omega = A \frac{2\pi}{T}, \quad \text{отсюда } A = \frac{v_{\max} T}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}.$$

В начальный момент времени $x_0 = A \cos \varphi_0 = \frac{1}{2\pi} \cos \varphi_0 = \frac{1}{4\pi}$.

Тогда $\varphi_0 = \frac{\pi}{3}$ и уравнение колебаний имеет вид:

$$x = \frac{1}{2\pi} \cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{3}\right).$$

$$\text{Ответ: } x = \frac{1}{2\pi} \cos\left(2\pi t + \frac{\pi}{3}\right).$$

Тестовые задания

1. Определите период гармонических колебаний, заданных уравнением $x = 0,1 \sin(4\pi t + \frac{\pi}{3})$.

- 1) 5 с; 2) 4 с; 3) 4 пс; 4) 0,1 с; 5) 0,5 с.

2. Тонкий однородный стержень массой $m = 1$ кг и длиной $l = 1$ м (рис. 8) подвешен на горизонтальной оси, проходящей перпендикулярно стержню через его конец. К центру стержня прикрепили небольшой пластилиновый шарик такой же массой m . Найдите:

- а) период малых колебаний такого маятника;
б) частоту колебаний;
в) циклическую частоту малых колебаний такого маятника.

Трением в оси пренебречь. Принять ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

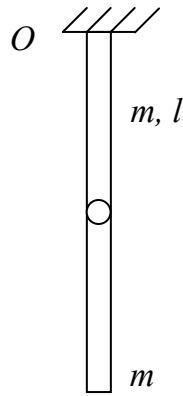


Рис. 8

Ответ: а) 1,52 с; б) 0,659 Гц; в) 4,14 рад/с.

3. Колебания точки заданы уравнением $x = 2 \sin 2,5\pi(2t + 0,4)$.

Определите период колебаний точки.

- 1) 2 с; 2) 1 с; 3) 0,4 с; 4) 0,6 с; 5) 0,8 с.

4. Уравнение гармонических колебаний имеет вид: $x = 5 \cos(\pi t/4 + \pi/2)$ см. Чему равен период этого колебания?

- 1) 0,25 с; 2) $\pi/4$ с; 3) 1/8 с; 4) 4 с; 5) 8 с.

5. Напишите уравнение гармонического колебания, если известны его параметры: амплитуда колебаний 5 см, циклическая частота $2 \pi \text{ с}^{-1}$, начальная фаза $\pi/4$.

- 1) $x = 5 \cos 2\pi/T(t + \pi/4)$;
 2) $x = 5 \cos (2\pi t + \pi/4)$;
 3) $x = 5 \cos 2\pi(t + \pi/4)$;
 4) $x = 5 \cos (2\pi/T + \pi/4)$.

6. Задано уравнение гармонических колебаний

$x = A \cos(2\pi t/T + \alpha_0)$. Какое из нижеприведенных выражений представляет фазу этих колебаний?

- 1) $2\pi t/T$; 2) α_0 ; 3) $2\pi/T$; 4) $(2\pi t/T + \alpha_0)$; 5) $\cos(2\pi t/T + \alpha_0)$.

7. Тонкий однородный диск массой m и радиусом R повешен на горизонтальной оси (рис. 9), проходящей перпендикулярно диску через его край (точка O). К диаметрально противоположному краю диска прикрепили небольшой пластилиновый шарик такой же массы. Найдите:

- а) период малых колебаний такого маятника;
 б) частоту колебаний;
 в) циклическую частоту малых колебаний такого маятника. Трением в оси пренебречь. Принять ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

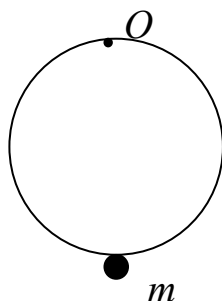


Рис. 9

Ответ: а) 2,69 с; б) 0,372 Гц; в) 2,34 рад/с.

8. Тонкий однородный диск массой m и радиусом R повешен на горизонтальной оси (рис. 10), проходящей перпендикулярно диску через его центр (точка C). К диаметрально противоположному краю диска прикрепили небольшой пластилиновый шарик такой же массы.

Найдите:

- а) период малых колебаний такого маятника;
 б) частоту колебаний;
 в) циклическую частоту малых колебаний такого маятника. Трением в оси пренебречь. Принять ускорение свободного падения $g = 10 \text{ м/с}^2$.

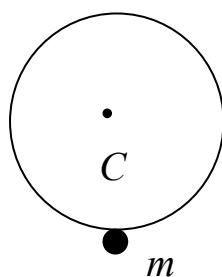


Рис. 10

Ответ: а) 2,43 с; б) 0,411 Гц; в) 2,58 рад/с.

9. Частица движется по гармоническому закону. Смещение x как функция времени показано на рис. 11. Чему равны амплитуды, период, максимальная скорость и максимальное ускорение в этом движении?

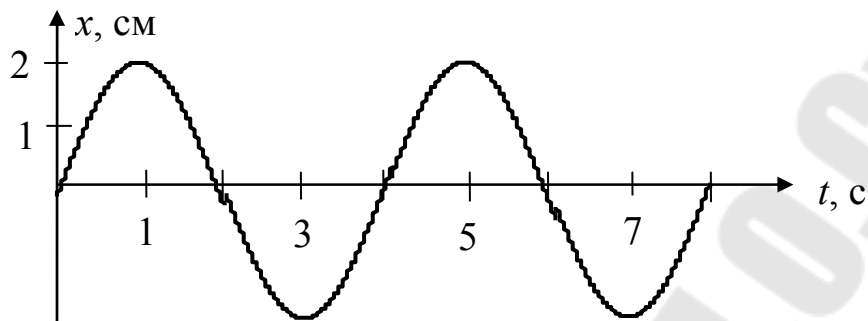


Рис. 11

10. Максимальная скорость гармонического осциллятора 10 см/с , максимальное ускорение 1 м/с^2 , период колебаний равен, с:

- 1) 10; 2) 6,28; 3) 4; 4) 3,14; 5) 0,628.

11. Полная энергия гармонического колебательного движения тела равна $3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}$, максимальная сила, действующая на тело $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$. За 1 минуту тело совершает 60 полных оборотов. Если начальная фаза колебаний 30° , то уравнение колебаний имеет вид:

- 1) $x = 4 \cdot 10^{-2} \cos(\pi t + \frac{\pi}{6})$;
 2) $x = 4 \cdot 10^{-2} \sin(\pi t + \frac{\pi}{6})$;
 3) $x = 4 \cdot 10^{-2} \cos(2\pi t + \frac{\pi}{6})$;
 4) $x = 2 \cdot 10^{-2} \cos(\pi t + \frac{\pi}{6})$;
 5) $x = 2 \cdot 10^{-2} \sin(\pi t + \frac{\pi}{6})$.

12. Математический маятник совершает колебания по закону $x = 0,004 \cos(2t + 0,8)$, м, длина маятника равна, м:

- 1) 0,245; 2) 2,45; 3) 4; 4) 3,25; 5) 2,05.

13. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение точки равно 10 см, наибольшая скорость 0,2 м/с. Максимальное ускорение точки равно, м/с²:

- 1) 0,2; 2) 2; 3) 0,4; 4) 0,5; 5) 0,04.

14. Если максимальная скорость и максимальное ускорение точки, совершающей гармонические колебания, равны v_{\max} и a_{\max} , то период колебаний равен:

1) $\frac{2\pi v_{\max}}{a_{\max}}$; 2) $\sqrt{\frac{2\pi v_{\max}}{a_{\max}}}$; 3) $\sqrt{\frac{2\pi}{a_{\max} v_{\max}}}$; 4) $2\pi a_{\max} v_{\max}$; 5) $\frac{\pi v_{\max}}{a_{\max}}$.

15. Материальная точка массой 1,25 кг совершает колебания по закону $x = \cos(2t + \pi/4)$, м. Найдите максимальную силу, действующую на точку, Н:

- 1) 2,5; 2) 5; 3) 0,98; 4) 3,5; 5) 1.

16. Однородный стержень длиной l совершает колебания около горизонтальной оси, проходящей через конец стержня. Период колебаний стержня равен:

1) $2\pi\sqrt{\frac{l}{12g}}$; 2) $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{3g}{l}}$; 3) $\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{l}{g}}$; 4) $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$; 5) $2\pi\sqrt{\frac{2l}{3g}}$.

17. Диск радиусом 24 см колеблется около оси, проходящей через середину одного из радиусов перпендикулярно плоскости диска. Приведенная длина маятника равна, см:

- 1) 12; 2) 14; 3) 16; 4) 28; 5) 36.

18. Уравнение свободных затухающих колебаний имеет вид: $x = 0,2e^{-0,02t} \cos(\pi t + \pi/2)$. Чему равен коэффициент затухания?

- 1) $0,2 \text{ с}^{-1}$; 2) $0,4 \text{ с}^{-1}$; 3) $0,02 \text{ с}^{-1}$; 4) $2,7 \text{ с}^{-1}$; 5) $3,14 \text{ с}^{-1}$.

19. Складываются два одинаково направленных колебания $x_1 = 4 \cos \pi t$, $x_2 = 3 \cos(\pi t + \pi/2)$. Амплитуда результирующего колебания равна:

- 1) 12; 2) 5; 3) 25; 4) 1; 5) 7.

20. Грузик массой 1 кг совершает затухающие колебания на пружине жесткостью k по закону $x = Ae^{-at} \cos(bt + \frac{\pi}{3})$, где $A = 1$ см, $a = 0,1$ с⁻¹, $b = 1$ с⁻¹. Найдите жесткость пружины.

- 1) 0,01 Н/м; 2) 1 Н/м; 3) 2 Н/м; 4) 0,02 Н/м; 5) 1,5 Н/м.

21. Задано уравнение колебания $x = 2e^{-0,1t} \sin(5\pi t + \pi/6)$ см. Чему равен логарифмический декремент затухания?

- 1) 0,04; 2) 0,1; 3) 0,2; 4) 0,5 π ; 5) 10 π .

22. Уравнение незатухающих колебаний имеет вид: $x = 2 \sin \pi t$, м. Скорость распространения колебаний в среде 300 м/с. Определите длину волны, м.

- 1) 600; 2) 300; 3) 150; 4) 6,28; 5) данных не достаточно.

23. Расстояние между первым и третьим узлами в стоячей волне равно 20 см. Определите длину волны, м.

- 1) 0,4; 2) 0,8; 3) 0,15; 4) 0,25; 5) данных не достаточно.

24. Волна распространяется со скоростью 100 м/с. Наименьшее расстояние между точками среды, фазы которых противоположны, равно 1 м. Определите частоту колебаний.

- 1) 25 Гц; 2) 50 Гц; 3) 100 Гц; 4) 2 Гц; 5) 10 Гц.

Молекулярная физика и термодинамика

Примеры решения задач

Задача 1

Определите кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре 13 °С, а также кинетическую энергию всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

Решение

Известно, что на каждую степень свободы молекул газа приходится одинаковая энергия: $\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура газа.

Вращательному движению двухатомной молекулы (молекула кислорода является двухатомной) приписываются две степени свободы, поэтому энергия вращательного движения $E = 2 \frac{1}{2} kT = kT$.

Подставив в формулу значение $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К и $T = 13 + 273 = 286$ К, получим

$$E = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 286 \text{ Дж} = 3,94 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа определяется из равенства $E_{\text{к.вр}} = NE$, число молекул выразим по формуле $N = N_A \nu$, $\nu = \frac{m}{\mu}$. Тогда $E_{\text{к.вр}} = N_A \frac{m}{\mu} E$.

$$E_{\text{к.вр}} = 6,02 \cdot 10^{26} \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32} 3,94 \cdot 10^{-21} = 296 \text{ Дж}.$$

Ответ: $3,94 \cdot 10^{-21}$ Дж, 296 Дж.

Задача 2

Газ, который занимает объем 10 л и находится под давлением 2 атм, изотермически расширился до объема 28 л. Какова работа расширения газа?

Решение

Для решения задачи воспользуемся известным выражением для работы газа при изотермическом процессе $A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$.

Используя выражение Менделеева–Клайперона $pV = \frac{m}{\mu} RT$, выражение для работы представим в виде $A = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$. Подставив численные значения, имеем: $V_1 = 10 \text{ л} = 10^{-2} \text{ м}^3$, $p_1 = 2 \text{ атм} = 2 \cdot 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $A = 2,02 \cdot 10^5 \cdot 10^{-2} \ln \frac{28}{10} \text{ Дж} = 2,08 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Ответ: $2,08 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Задача 3

Один моль идеального трехатомного газа нагревается при постоянном давлении от 300 до 600 К. Найдите приращение энтропии газа.

Решение

При изобарном процессе теплоемкость газа равна $C_p = \frac{(i+2)}{2} R$, где $i = 6$ – число степеней свободы. Приращение энтропии термодинамической системы равно

$$dS = \frac{\delta Q}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{\mu} C_p \frac{dT}{T} = C_p \nu \ln \frac{T_2}{T_1} = 4 \cdot 5,31 \cdot \ln 2 = 23,04 \text{ Дж/К}.$$

Ответ: $23,04 \text{ Дж/К}$.

Тестовые задания

1. Какое из приведенных выражений применимо только к изотермическому процессу?

- 1) $0 = \Delta U + A$;
- 2) $A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$;
- 3) $A = \frac{m}{\mu} C_V (T_1 - T_2)$;
- 4) $\partial Q = \partial A$;
- 5) $pV^\gamma = \text{const}$.

2. Какие графики, изображенные на рис. 12–14, представляют изохорный процесс?

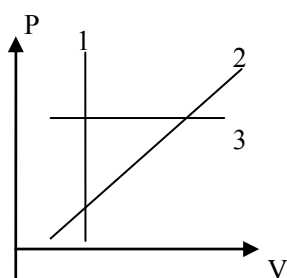


Рис. 12

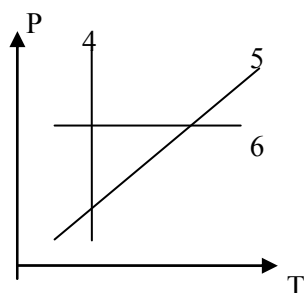


Рис. 13

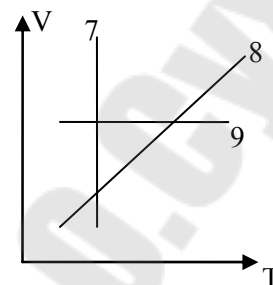


Рис. 14

- 1) 1, 5, 9; 2) 3, 6, 8; 3) 2, 5, 7; 4) 3, 6, 7; 5) 2, 6, 9.

3. Какое из приведенных выражений представляет первое начало термодинамики?

1) $\delta Q = dU + pdV$; 2) $pV = \frac{m}{\mu} RT$; 3) $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$; 4) $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$;

5) $A = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$.

4. Какова начальная температура газа, если в изохорном процессе при нагревании на 200 К давление газа возросло в 1,5 раза?

- 1) 200 К; 2) 273 К; 3) 350 К; 4) 400 К; 5) 450 К.

5. Газ при температуре 309 К и давлении 0,7 МПа имеет плотность 12 кг/м³. Определите молярную массу газа.

- 1) 28 г/ моль; 2) 32 г/ моль; 3) 44 г/ моль; 4) 18 г/ моль;
5) 40 г/ моль.

6. Во сколько раз средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше или меньше средней квадратичной скорости молекул водорода при одинаковой температуре?

- 1) меньше в 4 раза; 2) больше в 4 раза; 3) меньше в 8 раз;
4) больше в 8 раз; 5) меньше в 16 раз.

7. Какую работу совершит воздух $\mu = 0,029$ кг/ моль массой 290 г при изобарном нагревании на 20 К?

1) 1,3 кДж; 2) 1,7 кДж; 3) 2,5 кДж; 4) 2,8 кДж; 5) 3,2 кДж.

8. Чему равно общее число степеней свободы для молекулы H_2O ?

1) 2; 2) 3; 3) 4; 4) 5; 5) 6.

9. Объем некоторого газа изобарически уменьшился в 2 раза. Как изменилась средняя энергия поступательного движения молекулы газа?

1) увеличилась в 4 раза; 2) уменьшилась в 2 раза; 3) увеличилась в 2 раза; 4) уменьшилась в 4 раза; 5) не изменилась.

10. Чему равно отношение C_p/C_V для идеального двухатомного газа при умеренной температуре?

1) 1,01; 2) 1,33; 3) 1,40; 4) 1,67; 5) 1,80.

11. Давление идеального газа постоянной массы возросло в 4 раза, а температура увеличилась в 2 раза. Как изменился при этом объем газа?

1) увеличился в 2 раза; 2) уменьшился в 2 раза; 3) увеличился в 4 раза; 4) уменьшился в 8 раз; 5) увеличился в 8 раз.

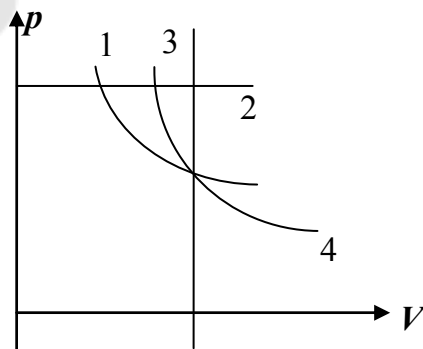
12. Найдите число степеней свободы молекул идеального газа, если $3/5$ энергии его теплового движения приходится на поступательное движение молекул.

1) 7; 2) 5; 3) 4; 4) 5; 5) 6.

13. Приведите в соответствие графики изопроцессов.

Изопроцесс: изобарый, адиабатный, изотермический, изохорный.

Номер графика: 1, 2, 3, 4.



14. По какой формуле можно вычислить молярную теплоемкость идеального газа при постоянном объеме?

1) $C = \frac{i}{2} R$; 2) $C = \frac{i+2}{2} R$; 3) $C = \frac{Q}{m\Delta T}$; 3) $C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$.

15. Температура некоторого количества идеального газа возросла в 2 раза без изменения давления. Как изменилась внутренняя энергия газа?

1) увеличилась в 4 раза; 2) уменьшилась в 2 раза; 3) увеличилась в 2 раза; 4) уменьшилась в 4 раза; 5) не изменилась.

16. Температура некоторого количества идеального газа возросла в 2 раза без изменения объема. Как изменилась внутренняя энергия газа?

1) увеличилась в 4 раза; 2) уменьшилась в 2 раза; 3) увеличилась в 2 раза; 4) уменьшилась в 4 раза; 5) не изменилась.

17. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, совершает работу 200 кДж. Температура нагревателя 400 К, холодильника 300 К. Определите количество теплоты, получаемое машиной от нагревателя.

1) 100 кДж; 2) 200 кДж; 3) 400 кДж; 4) 800 кДж; 5) 1600 кДж.

18. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, получив от нагревателя количество теплоты 2,6 кДж, совершил работу 520 Дж. Во сколько раз температура нагревателя больше температуры охладителя?

1) в 1,25; 2) в 1,5; 3) в 1,75; 4) в 2,25; 5) в 2,5.

19. Один моль идеального одноатомного газа нагревается при постоянном давлении от 300 до 600 К. Найдите приращение энтропии газа.

1) 23,04 Дж/К; 2) 14,4 Дж/К; 3) 20,2 Дж/К; 4) 23,0 Дж/К.

20. Один моль идеального двухатомного газа нагревается при постоянном давлении от 300 до 600 К. Найдите приращение энтропии газа.

1) 23,04 Дж/К; 2) 14,4 Дж/К; 3) 20,2 Дж/К; 4) 23,0 Дж/К.

21. Один моль идеального трехатомного газа нагревается при постоянном объеме от 300 до 600 К. Найдите приращение энтропии газа.

1) 17,03 Дж/К; 2) 14,4 Дж/К; 3) 20,2 Дж/К; 4) 23,0 Дж/К.

22. Найдите давление воздуха на высоте 2 км от уровня моря, давление воздуха на уровне моря считать равным $p_0 = 10^5$ Па, температуру воздуха считать одинаковой на всех высотах и равной $t = 27$ °С.

1) $8,9 \cdot 10^4$ Па; 2) $10 \cdot 10^4$ Па; 3) $2 \cdot 10^5$ Па; 4) $0,510^5$ Па.

23. На какой высоте над уровнем моря давление будет равным $5 \cdot 10^4$ Па? Давление воздуха на уровне моря считать равным $p_0 = 10^5$ Па, температуру воздуха считать одинаковой на всех высотах и равной $t = 27$ °С.

1) 1 км; 2) 5 км; 3) 8 км; 4) 6 км; 5) 2 км.

24. Найдите температуру воздуха, если на высоте 8 км давление воздуха составляет $4 \cdot 10^4$ Па. Давление воздуха на уровне моря считать равным $p_0 = 10^5$ Па, температуру воздуха считать одинаковой на всех высотах.

1) 25 °С; 2) 10 °С; 3) 14 °С; 4) 27 °С; 5) 32 °С.

25. Если подняться на высоту 1 км над уровнем моря, то давление уменьшится в:

1) 2 раза; 2) 1,5 раза; 3) 1,12 раз; 4) в 3 раза; 5) не изменится.

Давление воздуха на уровне моря считать равным $p_0 = 10^5$ Па, температуру воздуха считать одинаковой на всех высотах и равной $t = 27$ °С.

Учебное электронное издание комбинированного распространения

Учебное издание

**Хило Петр Анатольевич
Петрова Елена Сергеевна**

ФИЗИКА

**Практикум
по курсу «Механика и молекулярная физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

Электронный аналог печатного издания

Редактор *Н. Г. Мансурова*
Компьютерная верстка *Е. Б. Яцук*

Подписано в печать 19.03.12.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Ризография. Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,42.

Изд. № 97.

E-mail: ic@gstu.by

<http://www.gstu.by>

Издатель и полиграфическое исполнение:
Издательский центр учреждения образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого».

ЛИ № 02330/0549424 от 08.04.2009 г.

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48