

Министерство образования Республики Беларусь

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

Кафедра «Физика»

П. А. Хило, Е. С. Петрова, С. В. Пискунов

**МЕХАНИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ**

**ПРАКТИКУМ
по курсу «Физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

Гомель 2014

УДК 531/534+539.19(075.8)
ББК 22.2+22.36+22.213я73
Х45

*Рекомендовано научно-методическим советом
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 3 от 26.11.2013 г.)*

Рецензент: зав. каф. «Промышленная электроника» ГГТУ им. П. О. Сухого
канд. техн. наук, доц. *Ю. В. Крышнев*

Хило, П. А.
Х45 Механика и молекулярная физика. Тестовые задания : практикум по курсу «Физика» для студентов техн. специальностей днев. формы обучения / П. А. Хило, Е. С. Петрова, С. В. Пискунов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2014. – 31 с. – Систем. требования: РС 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://library.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит тестовые задания и основные формулы по разделу «Механика и молекулярная физика».

Для студентов технических специальностей дневной формы обучения.

УДК 531/534+539.19(075.8)
ББК 22.2+22.36+22.213я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2014

Предисловие

Предлагаемое практическое пособие предназначено для самостоятельной подготовки студентов дневного отделения к практическим занятиям по курсу «Физика».

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

Каждый раздел пособия содержит основные формулы и набор тестовых заданий. Пособие может быть использовано как для проведения практических занятий по физике, так и для текущего тестирования.

Основные законы и формулы
«Кинематика поступательного и вращательного движения,
динамика, законы сохранения»

Кинематика поступательного движения	
Радиус-вектор частицы,	$\vec{r}(t) = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$, x, y, z – компоненты радиус вектора $\vec{r}(t)$, $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – базисные вектора,
Модуль радиус-вектора	$r = \vec{r}(t) = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$
Вектор мгновенной скорости,	$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$,
Модуль скорости	$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$
Проекции вектора скорости на оси координат x, y, z .	$v_x = \frac{dx}{dt}$, $v_y = \frac{dy}{dt}$, $v_z = \frac{dz}{dt}$.
Вектор мгновенного ускорения	$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$
Модуль ускорения	$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$
Проекции вектора ускорения на оси координат x, y, z .	$a_x = \frac{dv_x}{dt}$, $a_y = \frac{dv_y}{dt}$, $a_z = \frac{dv_z}{dt}$.
Уравнение равнопеременного прямолинейного движения	$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$
Тангенциальное ускорение	$a_\phi = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2 s}{dt^2}$
Нормальное ускорение	$a_n = \frac{v^2}{r}$
Модуль полного ускорения	$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$
Кинематика вращательного движения	
Вектор угловой скорости (первая производная от угла поворота по времени)	$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$
В случае равномерного вращательного движения выполняются соотношения	$\omega = \frac{\varphi}{t}$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, $\omega = 2\pi\nu$,
Вектор углового ускорения (производная от угловой скорости по времени)	$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \frac{d^2\vec{\varphi}}{dt^2}$

мени)	
Уравнения равнопеременного вращательного движения	$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t, \varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$
Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности	$s = \varphi r, v = \omega r, a_\tau = \varepsilon r, a_n = \omega^2 r$
Динамика поступательного движения	
Второй закон Ньютона для поступательного движения	$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \frac{d\vec{p}}{dt}, \text{ где } \sum_{i=1}^n \vec{F}_i - \text{ векторная}$ сумма внешних сил, действующая на материальную точку (тело) со стороны других тел
Проекция изменения импульса за время τ	$\Delta p_x = \int_0^\tau F_x dt$
Импульс материальной точки массы m , движущейся со скоростью \vec{v}	$\vec{p} = m\vec{v}$
Закон сохранения импульса для изолированной системы тел	$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const$
Работа переменной силы на пути s	$A = \int_s F \cos \alpha ds$
Мощность	$N = \frac{dA}{dt} = \vec{F}\vec{v}$
Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия тела, находящегося в однородном поле тяжести	$\Pi = mgh$
Кинетическая энергия тела	$T = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$
Закон сохранения механической энергии	$E = T + \Pi = const$
Динамика вращательного движения	
Момент инерции материальной точки	$J = mr^2$
Момент инерции твердого тела относительно оси	$J = \int_m R^2 dm$
Момент инерции некоторых тел массой m :	
полого цилиндра радиуса R относи-	$J_{пол} = mR^2$

тельно оси вращения, совпадающей с осью цилиндра	
сплошного цилиндра (или диска) радиуса R относительно оси вращения, совпадающей с осью цилиндра	$J_{cпл} = \frac{1}{2}mR^2$
шара радиуса R относительно оси вращения, проходящей через центр масс шара	$J_0 = \frac{2}{5}mR^2$
тонкого стержня длиной l , если ось вращения перпендикулярна стержню и проходит через центр масс стержня	$J_0 = \frac{1}{12}ml^2$
тонкого стержня длиной l , если ось вращения проходит через один из концов стержня	$J_0 = \frac{1}{3}ml^2$
тела относительно произвольной оси (теорема Штейнера)	$J = J_0 + md^2$
Момент импульса	$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$
Момент силы	$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$
Основное уравнение динамики вращательного движения	$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt} = J\vec{\varepsilon}$
Работа момента силы, действующего на вращающееся тело	$A = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi$
То же, при $J = const$	$\vec{M} = \frac{Jd\vec{\omega}}{dt} = J\vec{\varepsilon}$
Закон сохранения момента импульса для изолированной системы	$\sum_{i=1}^n J_i \vec{\omega}_i = const$
Кинетическая энергия вращающегося тела	$T = \frac{J\omega^2}{2}$

Тестовые задания

1. Радиус-вектор, определяющий положение материальной точки в пространстве изменяется со временем по закону $r = 3t\vec{i} + 4t\vec{j} + 7\vec{k}$.

Чему равен модуль скорости:

- 1) 74 м/с 2) 25 м/с 3) 14 м/с 4) 8,6 м/с 5) 5 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 радиуса-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. Материальная точка движется по некоторой траектории так, что закон ее движения выражается уравнением $S = At - Bt^2$, где $A=8$ м, $B = 2$ м/с². Определите скорость точки в момент времени 1 с.

- 1) 4 м/с 2) 5 м/с 3) 2 м/с 4) 3 м/с 5) 9 м/с

5. 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

6. 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

7. Материальная точка движется в плоскости ХУ 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. Найти 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

8. Какое из приведенных ниже выражений определяет перемещение материальной точки?

- 1) $r_{12} = r_2 - r_1$ 2) $\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$ 3) $r = vdt$ 4) $\vec{r} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i$.

9. Какое из приведенных ниже уравнений описывает равномерное прямолинейное движение?

- 1) $v = v_0 + at$ 2) $\omega = \omega_0 + \beta t$ 3) $v = \frac{S}{t}$ 4) $\omega = \frac{\varphi}{t}$ 5) $S = v_0 t + \frac{at^2}{2}$

10. Какие из приведенных ниже уравнений описывают криволинейное ускоренное движение?

- 1) $v = v_0 + at$ 2) $\omega = \omega_0 + \beta t$ 3) $v = S/t$ 4) $\omega = \varphi/t$ 5) $\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$

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

11. 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

12. Материальная точка движется равноускоренно по криволинейной траектории. Вектор мгновенной скорости направлен:

- 1) по касательной к траектории;
2) к центру кривизны траектории;
3) по направлению вектора перемещения;
4) вдоль радиуса кривизны о центра;
5) среди ответов 1-4 нет верного.

13. Закон изменения угловой скорости материальной точки имеет вид $\omega = 9t^2$. Угловое ускорение точки определяется выражением:

- 1) $\varepsilon = 18t$ 2) $\varepsilon = 9t$ 3) $\varepsilon = 4,5t$ 4) $\varepsilon = 18t^2$ 5) $\varepsilon = 18$

14. Скорость частицы изменяется во времени по закону $\vec{v} = 4t^2\vec{i} + 3t^2\vec{j}$. Чему равна величина тангенциального ускорения частицы в момент времени $t = 1$ с?

- 1) 10 м/с^2 2) 25 м/с^2 3) 7 м/с^2 4) 14 м/с^2

15. Точка движется по кривой с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,5 \text{ м/с}^2$. определить полное ускорение точки на участке кривой с радиусом кривизны 3 м, если точка движется на этом участке со скоростью 2 м/с.

- 1) $1,5 \text{ м/с}^2$ 2) $1,42 \text{ м/с}^2$ 3) $1,65 \text{ м/с}^2$ 4) $2,3 \text{ м/с}^2$

16. Частица из состояния покоя начала двигаться по дуге окружности $R = 1$ м с угловой скоростью $\omega = At^2$, $A = 2 \text{ рад/с}^3$. Найдите отношение нормального и тангенциального ускорения частицы для момента времени $t = 2$ с.

- 1) 4 2) 0,25 3) 8 4) 2 5) 1

17. Уравнение вращения диска $R = 2$ м имеет вид $\varphi = 3 - t + 0,1t^3$. Определите тангенциальное ускорение точек на окружности диска в момент времени $t = 1$ с.

- 1) 4 м/с^2 2) 2 м/с^2 3) $0,3 \text{ м/с}^2$ 4) $0,6 \text{ м/с}^2$ 5) $1,2 \text{ м/с}^2$

18. Вентилятор вращается с частотой $\nu = 900$ об/мин. После выключения вентилятор, вращаясь равнозамедленно, сделал до остановки $N = 75$ оборотов. Какое время t прошло с момента выключения вентилятора до полной его остановки?

19. Тангенциальное ускорение точки, движущейся по окружности радиуса R , связано с угловым ускорением точки соотношением:

- 1) $a_\tau = \frac{V^2}{R}$ 2) $a_\tau = \frac{\varepsilon}{R}$ 3) $a_\tau = \varepsilon R$
4) $\varepsilon = \frac{R}{a_\tau}$ 5) среди ответов 1-4 нет верного.

20. Ускорение материальной точки, движущейся вдоль оси x согласно уравнению $x = 2 + 3t - 6t^2$ (м), равно:

- 1) 6 м/с^2 2) 3 м/с^2 3) -6 м/с^2 4) -12 м/с^2 5) -3 м/с^2

21. Равноускоренное прямолинейное движение материальной точки это такое движение, при котором:

- 1) $\vec{a} = const$ 2) $a = const$ 3) $\vec{v} = const$
4) $v = const$ 5) a и v параллельны

22. Уравнение вращения диска $R = 2$ м имеет вид $\varphi = 3 - t + 0,1t^3$. Определите тангенциальное ускорение точек на окружности диска в момент времени $t = 1$ с.

- 1) 4 м/с^2 2) 2 м/с^2 3) $0,3 \text{ м/с}^2$ 4) $0,6 \text{ м/с}^2$ 5) $1,2 \text{ м/с}^2$

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

- 1) 4 2) 0,25 3) 8 4) 2 5) 1

24. Точка вращается по окружности радиуса R согласно уравнению $\varphi = 7t^3 + 8t^2 + 4t$. Нормальное ускорение точки определяется выражением:

- 1) $a_n = (7t^3 + 8t^2 + 4t)R$; 2) $a_n = (21t^2 + 16t + 4)R$;
3) $a_n = (42t + 16)R$; 4) $a_n = (21t^2 + 16t + 4)^2 R$;
5) $a_n = (42t + 16)^2 R$

25. 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, найти для времени $t = 2$ с после начала движения угловое ускорение.

- 1) 4 рад/с^2 2) 6 рад/с^2 3) 8 рад/с^2 4) 12 рад/с^2 5) 2 рад/с^2

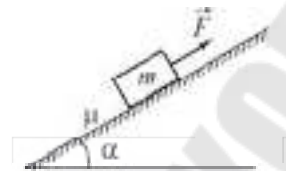
26. Что нужно поставить вместо многоточия в предложении: "Система отсчета, в которой тело....., называется инерциальной.

а) движется с постоянным ускорением по отношению к другим системам отсчета;

б) движется прямолинейно по отношению к другим системам отсчета;

в) движется равномерно по отношению к другим системам отсчета;

32. Брусок массой m двигают равномерно вверх вдоль наклонной шероховатой поверхности, расположенной под углом α к горизонту. Коэффициент трения между поверхностью бруса и поверхностью плоскости равен μ . Модуль силы трения, действующей между поверхностью бруса и плоскостью равен:
- а) F б) 0 в) $\mu mg \cos \alpha$ г) μmg



33. Автоинспектор установил, что след от торможения автомобиля на асфальтовой дороге равен 40 м. С какой скоростью ехал автомобиль, если коэффициент трения колес об асфальт 0,5?
- а) 5 м/с б) 36 км/ч в) 15 м/с г) 72 км/ч д) 30 м/с

34. Материальная точка массой 0,1 кг движется под действием трех сил, модули которых равны 10 Н. Векторы сил лежат в одной плоскости и образуют два угла по 60° . С каким ускорением движется точка?
- а) 100 м/с^2 б) 200 м/с^2 в) 300 м/с^2
г) 150 м/с^2 д) нет правильного ответа

35. Тело движется вдоль горизонтальной оси x под действием силы $F = 1 \text{ Н}$, 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°

36. 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

37. На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием 10 тонн. Орудие стреляет горизонтально в направлении 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

38. Как изменится момент инерции свинцового цилиндра относительно оси, совпадающей с его геометрической осью симметрии, если цилиндр сплющить в диск?

- 1) не изменится; 2) увеличится; 3) уменьшится.

39. Момент инерции стержня длиной l относительно оси проходящей через конец стержня, равен:

- 1) $\frac{1}{2}ml^2$ 2) $\frac{1}{12}ml^2$ 3) $\frac{1}{3}ml^2$ 4) $\frac{1}{4}ml^2$ 5) ml^2

40. Какое из приведенных ниже выражений есть определение момента импульса относительно оси?

- 1) $\vec{L} = [\vec{r}, \vec{p}]$ 2) $L_z = L \cos \alpha$ 3) $L = I\omega$ 4) $L = rpsin\alpha$.

41. Кинетическая энергия твердого тела при сложном движении равна:

- 1) $\frac{P^2}{2m}$ 2) $\frac{L^2}{2I}$ 3) $\frac{mV^2}{2}$ 4) $\frac{mV_C^2}{2} + \frac{I_C\omega^2}{2}$ 5) $\frac{I\omega^2}{2}$

42. Моментом силы называют величину численно равную:

- 1) произведению силы на квадрат расстояния от оси вращения;
2) произведение силы на длину перпендикуляра, опущенного из центра вращения на направление силы;
3) произведение силы на расстояние до оси вращения
4) произведение силы на угловую скорость;
5) среди ответов 1-4 нет верного.

43. Момент инерции тела относительно любой оси измеряется:

- 1) кг·м 2) Н·м 3) кг·м² 4) Н·с 5) кг·м/с²)

44. Угол поворота вала изменяется по закону $\varphi = 2t^2 + 5t + 8$, момент инерции вала равен 10 кг·м², вращающий момент равен (Н·м)

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

45. Момент инерции шара, массой m и радиуса R относительно оси, касательной к поверхности шара равен

- 1) $\frac{7}{5}mR^2$ 2) mR^2 3) $\frac{2}{5}mR^2$ 4) $\frac{1}{5}mR^2$ 5) $\frac{3}{2}mR^2$

46. Перпендикулярно плоскости однородного диска массой m и радиуса 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 , $m = 1$ кг, $R = 1$ м, $x = 0,4$ м?

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

47. Диск массой 2 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости со скоростью 4 м/с, кинетическая энергия диска равна (Дж)

- 1) 24 2) 32 3) 14 4) 8 5) среди ответов 1-4 нет верного.

48. 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 , $m = 1$ кг, $l = 1$ м, $x = 0,4$ м?

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

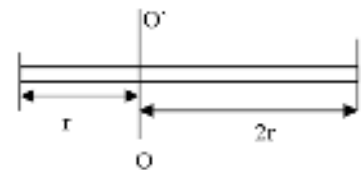
49. Теорема Штейнера выражается формулой:

1) $I_0 = \frac{1}{2}mR^2$ 2) $I = \frac{2}{5}mR^2$ 3) $I = I_0 + ma^2$

4) $I = I_0 + \frac{1}{2}ma^2$ 5) $I = I_0 + ma$

50. Момент инерции однородного тонкого стержня относительно оси равен:

- 1) mr^2 2) $\frac{1}{12}mr^2$
 3) $\frac{1}{3}mr^2$ 4) $2mr^2$ 5) $\frac{4}{3}mr^2$



51. Диск массой 1 кг катится без скольжения по горизонтальной плоскости с угловой скоростью $\omega = 1$ рад/с, радиус диска $R = 1$ м, кинетическая энергия диска равна (Дж)

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

52. Угловая скорость цилиндра массой 2 кг и радиусом 0,1 м возросла от 3 рад/с 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

53. Момент инерции велосипедного колеса массой m и радиуса R , распределенной по ободу относительно точки его соприкосновения с дорогой, равен:

- 1) mR^2 2) $2mR^2$ 3) $3mR^2$ 4) $\frac{1}{2}mR^2$ 5) $\frac{2}{5}mR^2$

54. К маховику приложен вращающий момент силы равный 100 Н·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

55. Кинетическая энергия твердого тела, вращающегося вокруг неподвижной оси, рассчитывается по формуле:

- 1) $\frac{kx^2}{2}$ 2) $\frac{ml^2}{12}$ 3) $\frac{mv^2}{2}$ 4) $\frac{I\omega^2}{2}$ 5) $I = I_0 + mx^2$

**Основные законы и формулы
«Гармонические колебания и волны»**

Уравнение гармонических колебаний материальной точки	$x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$ $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ <p>x – смещение тела от положения равновесия; A – амплитуда колебаний; ω – циклическая частота; φ_0 – начальная фаза.</p>
Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания	<p>Если $x = A \cos(\omega t + \varphi_0)$, то</p> $v = \frac{dx}{dt} = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$ $v_{\max} = A\omega$ $a = \frac{dv}{dt} = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0)$ $a_{\max} = A\omega^2$
Амплитуда результирующего колебания при сложении гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты	$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$
Начальная фаза результирующего колебания при сложении гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты	$\varphi = \arctg \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}$
Период колебаний	$T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ <p>ω_0 – собственная циклическая частота колебаний маятника</p>
Циклическая частота колебаний пружинного маятника	$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$

Циклическая частота колебаний физического маятника	$\omega_0 = \sqrt{\frac{mgd}{I}}$ <p>g- ускорение свободного падения, d- расстояние от центра масс до оси вращения, I - момент инерции твердого тела относительно оси вращения</p>
Циклическая частота математического маятника	$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$ <p>l- длина нити</p>
Дифференциальное уравнение движения тела, совершающего затухающие колебания.	$x'' + 2\beta x' + \omega_0^2 x = 0$ <p>β - коэффициент затухания</p> $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$
Решение дифференциального уравнения	$x(t) = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0)$
Логарифмический декремент затухания	$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T$
Полная энергия тела, совершающего гармонические колебания	$E = \frac{m \omega_0^2 A^2}{2}$

Тестовые задания

1. Зависимость координаты x от времени t имеет вид:

а) $x = 4 \sin(\omega t - \pi/6)$ б) $x = A \sin^2 \omega t$ в) $x = A t \sin \omega t$

г) $x = A_1 \cos(\omega t + \alpha) + A_2 \cos \omega t$ д) $x = A \sin^3 \omega t$

Какие из зависимостей описывают гармонические колебания?

- 1) а, б 2) а, г 3) г 4) б, в 5) в

2. 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) $\cos(2\pi t/T + \alpha_0)$

3. За 4с маятник совершает 8 колебаний. Частота колебаний равна (Гц):

- 1) 2 2) 0,5 3) 8 4) 32 5) 4

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

- 1) 5с 2) 4с 3) 4πс 4) 0,1с 5) 0,5с

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

- 1) 0,25 с 2) π/4 с 3) 1/8 с 4) 4 с 5) 8 с

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

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

7. Напишите уравнение гармонического колебания, если известны его параметры: амплитуда колебаний 5 см, циклическая частота 2π рад/с, 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) $x = 5 \cos (2\pi/T + \pi/4)$

8. 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

9. Какую длину должен иметь математический маятник, чтобы его период был равен 2 с ($g=10\text{м/с}^2$)

- 1) 0,25м 2) 0,5м 3) 1м 4) 2м 5) 0,4м

10. Полная энергия гармонического колебательного движения тела равна $3 \cdot 10^{-5}$ Дж, максимальная сила, действующая на тело $1,5 \cdot 10^{-3}$ Н. За 1 мин 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) $x = 2 \cdot 10^{-2} \sin(\pi t + \frac{\pi}{6})$

11. 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

12. Точка совершает гармонические колебания. Наибольшее смещение точки равно 10 см, наибольшая скорость 0,2 м/с. Максимальное ускорение точки равно (м/с^2):

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

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

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

14. 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

15. Что обозначает величина d в выражении периода колебаний физического маятника $T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgd}}$

- 1) расстояние от оси вращения до центра тяжести тела;
- 2) приведенную длину физического маятника;
- 3) расстояние от оси вращения до точки качания;
- 4) расстояние между центром тяжести и точкой качания.

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 радиуса R колеблется около горизонтальной оси, проходящей через одну из образующих цилиндрической поверхности диска. Период его колебаний пропорционален

- 1) $\sqrt{\frac{3R}{4g}}$;
- 2) $\sqrt{\frac{R}{2g}}$;
- 3) $\sqrt{\frac{R}{g}}$;
- 4) $\sqrt{\frac{3R}{2g}}$;
- 5) $\sqrt{\frac{5R}{g}}$.

18. 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.

19. Амплитуда затухающих колебаний за 1 мин уменьшилась вдвое. За 4 мин она уменьшится в раз:

- 1) 2
- 2) 4
- 3) 8
- 4) 12
- 5) 16.

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

- 1) $0,2c^{-1}$
- 2) $0,4c^{-1}$
- 3) $0,02c^{-1}$
- 4) $2,7c^{-1}$
- 5) $3,14c^{-1}$

21. 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.

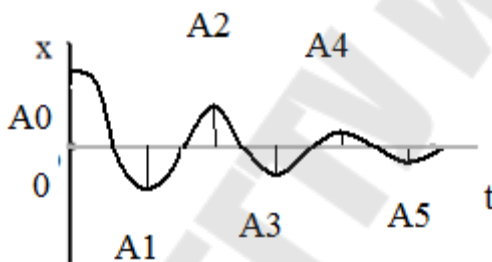
22. Грузик массой 1 кг совершает затухающие колебания на пружине жесткостью k по закону $x = Ae^{-at} \cos(bt + \frac{\pi}{3})$, где $A = 1$ см, $a = 0,1 \text{ с}^{-1}$, $b = 1 \text{ с}^{-1}$. Найдите жесткость пружины.

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

23. 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) $0,5\pi$; 5) 10π .

24. На рисунке представлен график смещения x точки на положения равновесия в зависимости от времени t . Чему равен логарифм отношения амплитуд $\ln \frac{A_0}{A_N}$ (где N – число полных колебаний)?



- 1) βT ; 2) $N\beta T$; 3) $\beta T/N$; 4) $(\beta T)^N$.

25. 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.

26. 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.

27. Какая волна называется продольной?

- 1) при которой осциллятор испытывает смещение в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны;

- 2) при которой осциллятор испытывает смещение в направлении распространения волны;
- 3) при которой осциллятор испытывает смещение в направлении параллельном направлению взгляда наблюдателя
- 4) любая.

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

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

29. Что такое волна?

- 1) процесс изменения положения осциллятора в среде во времени;
- 2) процесс изменения колебаний во времени;
- 3) процесс перемещения осцилляторов в среде с конечной скоростью.
- 4) процесс распространения колебаний в среде с конечной скоростью;

30. Волновое число записывается как:

- 1) $u = v - \lambda \frac{dv}{d\lambda}$ 2) $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v}$; 3) $v = \frac{dx}{dt}$.

31. Какая волна называется поперечной?

- 1) при которой осциллятор испытывает смещение в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны;
- 2) при которой осциллятор испытывает смещение в направлении распространения волны;
- 3) при которой осциллятор испытывает смещение в направлении перпендикулярном направлению взгляда наблюдателя
- 4) любая.

32. Формула длины волны:

- 1) $\lambda = \frac{v}{T}$; 2) $\lambda = 2\pi(v/T)$; 3) $\lambda = 2\pi vT$; 4) $\lambda = vT$.

33. Запишите оператор Лапласа:

- 1) $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{vT} = \frac{\omega}{v}$; 2) $\Delta = \frac{\partial^2}{x^2} + \frac{\partial^2}{y^2} + \frac{\partial^2}{z^2}$; 3) $\vec{e} = \frac{1}{x}\vec{i} + \frac{1}{y}\vec{j} + \frac{1}{z}\vec{k}$.

Основные законы и формулы
«Молекулярная физика и термодинамика»

Количество вещества	$\nu = \frac{N}{N_A} \text{ или } \nu = \frac{m}{\mu}$
Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа)	$pV = \frac{m}{\mu} RT$
Закон Дальтона	$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$
Концентрация молекул	$n = N/V = N_A \rho / M$
Уравнение молекулярно-кинетической теории газов	$p = \frac{1}{3} n m_0 \langle v_{кв} \rangle^2 = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_{ном} \rangle = nkT$
Средняя кинетическая энергия молекулы	$\langle \varepsilon \rangle = \frac{i}{2} kT$
Внутренняя энергия идеального газа	$U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} RT$
Скорости молекул:	
средняя квадратичная	$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{3kT/m_0} = \sqrt{3RT/\mu}$
средняя арифметическая	$\langle v \rangle = \sqrt{8kT/(\pi m_0)} = \sqrt{8RT/\mu}$
Распределение молекул в потенциальном поле сил (распределение Больцмана)	$n = n_0 \exp\left(-\frac{E_n}{kT}\right)$
Барометрическая формула	$p = p_0 \exp\left(-\frac{m_0 gh}{kT}\right)$
Теплоемкость молярная:	
изохорная	$C_v = \frac{i}{2} R \quad C_v = c_v \mu$
изобарная	$C_p = \frac{(i+2)}{2} R \quad C_p = c_p \mu$
Первое начало термодинамики	$\delta Q = dU + \delta A$ $dU = (m/\mu) C_v dT, \quad dA = p dV$
Работа расширения газа при процессе:	
изобарном	$A = p(V_2 - V_1)$
изотермическом	$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$

Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатном процессе	$pV^\gamma = const, TV^{\gamma-1} = const,$ $T^\gamma p^{1-\gamma} = const$
Коэффициент полезного действия цикла Карно	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$
Изменение энтропии	$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$

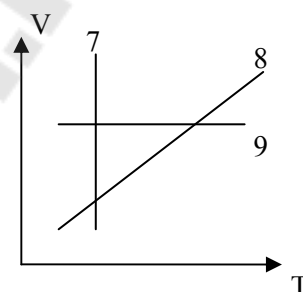
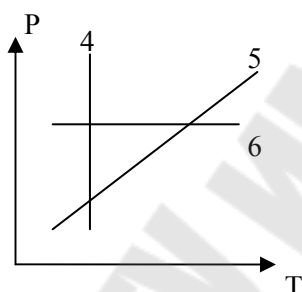
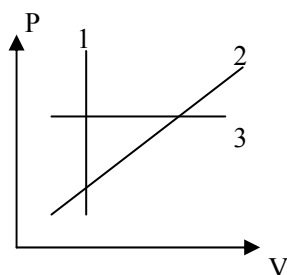
Тестовые задания

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) $\delta Q = \delta A$, 5) $pV^\gamma = const$

2. Какие графики, изображенные на рисунках, представляют изохорный процесс?



- 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 200К давление газа возросло в 1,5 раза.

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

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

- 1) 28г/ моль 2) 32г/ моль 3) 44г/ моль 4) 18г/ моль 5) 40г/ 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) 1,3кДж 2) 1,7кДж 3) 2,5кДж 4) 2,8кДж 5) 3,2кДж

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. Два различных идеальных газа одноатомный и двухатомный при одинаковых температурах и объемах сжимают адиабатически до уменьшения объема в 2 раза. Какой газ нагрелся больше:

- 1) газы нагрелись одинаково, 2) одноатомный нагрелся больше, 3) двухатомный нагрелся больше.

12. Сколько степеней свободы колебательного движения имеет молекула NH_3 ?

- 1) 3 2) 5 3) 6 4) 7 5) 9

13. 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

14. Найдите число степеней свободы молекул идеального газа, если $\frac{3}{5}$ энергии его теплового движения приходится на поступательное движение молекул.

- 1) 7 2) 5 3) 4 4) 5 5) 6

15. 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) $C = \frac{Q}{m\Delta T}$ 4) $C = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$

16. 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.

17. 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.

18. 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) 100кДж 2) 200кДж 3) 400кДж 4) 800кДж 5) 1600кДж

19. 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.

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

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

21. Один моль идеального двухатомного газа нагревается при постоянном давлении от 300 К 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

22. Один моль идеального трехатомного газа нагревается при постоянном объеме от 300 К 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

23. 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 $t=27^\circ\text{C}$.

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

24. 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 $t=27^\circ\text{C}$.

- 1) 1 км 2) 5 км 3) 8 км 4) 6 км 5) 2 км

25. 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°C 2) 10°C 3) 14°C 4) 27°C 5) 32°C

Литература

1. Трофимова, Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк., 2004. – 542 с.
2. Савельев, И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.: Наука, 1989. – Т.1. – 350 с.
3. Детлаф, А.А. Курс физики / А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. – М.: Академия, 2003. – 720 с.
4. Сивухин, Д.В. Общий курс физики / Д.В. Сивухин. – М.: Наука, 1989. – Т.1. – 576 с.

Приложение

Таблица 1

Некоторые физические константы

Наименование	Обозначение	Числовое значение
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молекулярная газовая постоянная	R	$8,31 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$
Объем моля идеального газа при нормальных условиях	V_0	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}$
Ускорение свободного падения	g	$9,81 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} \cdot \text{К}^{-1}$

Таблица 2

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

Содержание

Предисловие	3
Основные законы и формулы Кинематика поступательного и вращательного движения, динамика, законы сохранения	4
Тестовые задания	7
Основные законы и формулы Гармонические колебания и волны	16
Тестовые задания	18
Основные законы и формулы Молекулярная физика и термодинамика	23
Тестовые задания	25
Литература	29
Приложение	30

**Хило Петр Анатольевич
Петрова Елена Сергеевна
Пискунов Сергей Васильевич**

**МЕХАНИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.
ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ**

**Практикум
по курсу «Физика»
для студентов технических специальностей
дневной формы обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 19.03.14.

Рег. № 63Е.
<http://www.gstu.by>