

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачёва»

Кафедра теории и методики профессионального образования

Составитель Т. В. Лавряшина

ФИЗИКА

**Методические указания
к практическим занятиям и самостоятельной работе
для студентов первого курса (1 семестр)
всех специальностей СПО**

Рекомендовано цикловой методической комиссией
математических и естественнонаучных дисциплин
в качестве электронного издания для использования
в образовательном процессе

Кемерово 2018

Рецензенты:

Кабачевская Е. В. – доцент, зав. кафедрой теории и методики профессионального образования

Ощепкова Е. А. – председатель цикловой методической комиссии математических и естественнонаучных дисциплин СПО

Лавряшина Таисия Васильевна

Физика: методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе [Электронный ресурс] для студентов первого курса (1 семестр) всех специальностей СПО очной формы обучения / сост. Т. В. Лавряшина; КузГТУ. – Электрон. издан. – Кемерово, 2018. – 33 с.

В методических указаниях приведено содержание практических работ по дисциплине «Физика», предложены темы для самостоятельного изучения.

© КузГТУ, 2018

© Лавряшина Т. В.,
составление 2018

Пояснительная записка

При изучении курса физики большое значение имеет практическое применение теоретических знаний, главное из которых – умение самостоятельно решать задачи.

Выработка приёмов и навыков решения конкретных задач из разных областей физики помогает в дальнейшем решать и сложные инженерные задачи.

Общие правила при решении задач

Не приступайте к решению задач, не проработав теоретический материал на соответствующую тему.

Решая задачу, постарайтесь понять её содержание, чтобы правильно ответить на поставленные вопросы.

Примерная схема решения задач

При решении задач целесообразно придерживаться следующей схемы:

1) по условию задачи представьте себе физическое явление, о котором идет речь. Сделайте краткую запись условия, выразив исходные данные в единицах СИ;

2) сделайте, где это необходимо, чертёж, схему или рисунок, поясняющий описанный в задаче процесс;

3) напишите уравнения или систему уравнений, отображающие физический процесс;

4) используя чертежи и условие задачи, преобразуйте уравнения так, чтобы в них входили лишь исходные данные и табличные величины;

5) решив задачу в общем виде, проверьте ответ по равенству размерностей величин, входящих в расчетную формулу;

6) осуществите вычисления и, получив числовой ответ, оцените его реальность.

Практическое занятие 1

Кинематика поступательного движения

Решая задачи по кинематике, обратите внимание на аналитический и графический методы определения изменения координаты и пройденного пути, скорости и ускорения при поступательном движении. При решении задач этой темы проверяется усвоение основных физических закономерностей кинематики, её соотношений и формул. При необходимости можно вернуться к более детальному рассмотрению некоторых её положений.

Основные понятия и формулы

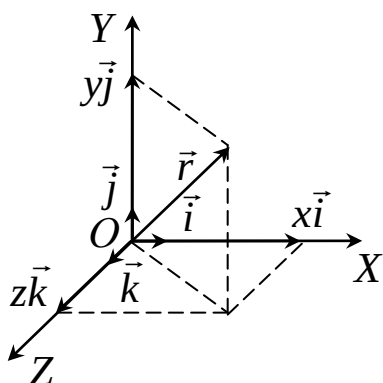


Рис. 1.1

Физическая система может состоять из одного идеального объекта – материальной точки (тело, размерами которого в данной задаче можно пренебречь) или содержать большое число элементов, положение которых в процессе движения не изменяется (твёрдое тело).

Положение материальной точки в пространстве определяют её координатами или задают радиус-вектор $\vec{r}$ этой точки (рис. 1.1). Радиус-вектор точки – это вектор, проведённый из начала координат в данную точку:

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k},$$

где $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$ – единичные векторы (орты), направленные вдоль осей X, Y, Z.

Движение материальной точки описывают при помощи векторного уравнения $\vec{r} = \vec{r}(t)$ или тремя скалярными уравнениями: $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$, которые называют кинематическими уравнениями движения.

Вектор перемещения материальной точки за время $\Delta t = t_2 - t_1$ – это вектор $\Delta\vec{r}$, проведённый из положения точки в момент времени t_1 (начальное) в положение, в котором она

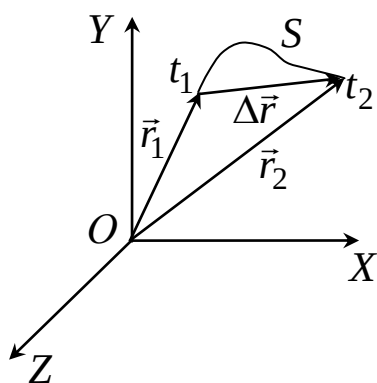


Рис. 1.2

находится в момент времени t_2 (конечное). Перемещение $\Delta \vec{r}$ равно приращению радиус-вектора за рассматриваемый промежуток времени (рис. 1.2):

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1.$$

Путь S – это скалярная величина, равная расстоянию, пройденному по траектории за указанный промежуток времени.

Пройденный путь и модуль вектора перемещения совпадают при прямолинейном движении без изменения направления скорости.

Вектором средней скорости $\langle \vec{v} \rangle$ называется отношение перемещения $\Delta \vec{r}$ к промежутку времени Δt

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

Направления вектора средней скорости и вектора перемещения совпадают.

При очень малом значении промежутка времени Δt вектор мгновенной скорости (скорости в данный момент времени) определяется из соотношения

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

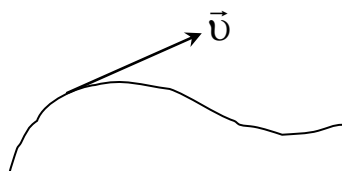


Рис. 1.3

Этот вектор направлен по касательной к траектории движения материальной точки (рис. 1.3).

Средняя путевая скорость $\langle v_{\text{п}} \rangle$ определяется отношением пройденного пути S к промежутку времени, за которое этот путь пройден:

$$\langle v_{\text{п}} \rangle = \frac{S}{t}.$$

Изменение вектора скорости по величине и направлению характеризует вектор ускорения

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}.$$

Движение тела с постоянным по величине и направлению ускорением называется равноускоренным. В случае равноускоренного движения его уравнение имеет вид

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}$$

или в проекциях на координатные оси (движение в плоскости):

$$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}; \quad y = y_0 + v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}.$$

В этих уравнениях $\vec{r}_0$ – радиус-вектор, описывающий начальное положение точки; $\vec{v}_0$ – вектор начальной скорости; x_0 , y_0 , z_0 – начальные координаты; v_{0x} , v_{0y} , v_{0z} – проекции вектора начальной скорости на координатные оси X , Y , Z .

В частном случае $\vec{a} = 0$ движение является равномерным.

Примеры решения задач

В качестве примера приведены задачи по кинематике тела в поле тяготения Земли.

Пример 1. Для случая, представленного на рис. 1.4, записать:

- 1) кинематическое уравнение $\vec{r} = \vec{r}(t)$ движения точки A ;
- 2) её уравнения движения в проекциях на оси X и Y :
 $x = x(t)$ и $y = y(t)$;
- 3) уравнение траектории $y = y(x)$.

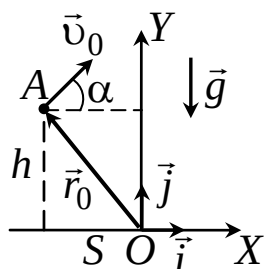


Рис. 1.4

На рисунке изображены координатные оси, указано начальное положение точки A , начальная скорость $\vec{v}_0$ и ускорение, равное ускорению свободного падения $\vec{g}$.

Решение. Поскольку ускорение свободного падения постоянно по величине и направлению, движение тела является равноускоренным и описывается уравнением

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{g} t^2}{2},$$

где $\vec{r}_0 = -S\vec{i} + h\vec{j}$ – радиус-вектор начального положения тела.

В проекциях на оси X и Y получаем:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{g_x t^2}{2}; \quad y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

В данной задаче $g_x = 0$ (ускорение свободного падения направлено перпендикулярно оси X), $g_y = -g$ (знак «минус» показывает, что направление вектора ускорения свободного падения не совпадает с положительным направлением оси Y), $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, $x_0 = -S$, $y_0 = h$.

Таким образом, уравнения движения тела в проекциях на оси X и Y имеют вид:

$$x = -S + v_0(\cos \alpha)t; \quad y = h + v_0(\sin \alpha)t - \frac{gt^2}{2}.$$

Исключая время из двух последних уравнений, получаем уравнение траектории:

$$y = h + (x + S)\operatorname{tg} \alpha - \frac{g(x + S)^2}{2v_0^2 \cos^2 \alpha}.$$

Пример 2. С вышки (рис. 1.5) бросили камень в горизонтальном направлении. Через промежуток времени $t = 2$ с камень упал на землю на расстоянии $S = 40$ м от основания вышки. Определить высоту вышки h , начальную v_0 и конечную v скорости камня.

Решение. Выбирая систему координат так, как показано на рис. 1.5, и используя метод составления уравнений движения, представленный в предыдущей задаче, получаем уравнения движения:

$$x = v_0 t; \quad y = h - \frac{gt^2}{2}.$$

В момент падения камня на землю его координаты $x = S$, $y = 0$, поэтому уравнения движения принимают вид:

$$S = v_0 t; \quad 0 = h - \frac{gt^2}{2}.$$

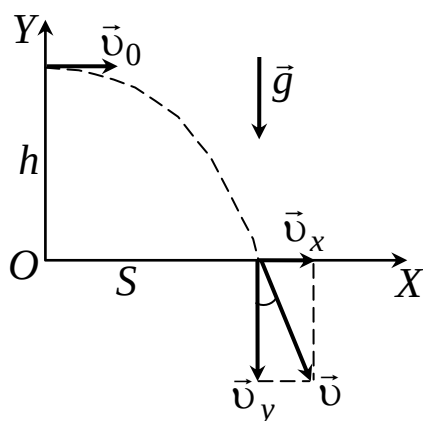


Рис. 1.5

Из этих уравнений определяем начальную скорость камня $v_0 = \frac{S}{t} = 20 \text{ м/с}$ и высоту башни $h = \frac{gt^2}{2} = 20 \text{ м}$.

Для расчёта проекций v_x , v_y скорости на координатные оси и её значения v учтём, что при движении в горизонтальном направлении скорость не изменяется (силами сопротивления пренебрегаем):

$v_x = v_0$, в момент падения $v_x = v_0 = 20 \text{ м/с}$,
а так как движение в поле тяготения Земли – свободное падение, то $v_y = -gt$, в момент падения $v_y = -20 \text{ м/с}$.

Следовательно, скорость камня в момент падения на землю

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \approx 28,2 \text{ м/с}.$$

Пример 3. Камень брошен под углом α к горизонту со скоростью $\vec{v}_0$ (рис. 1.6). Определить: 1) максимальную высоту $y_{\max}$ подъёма; 2) дальность полёта $x_{\max}$ камня; 3) радиус R кривизны траектории в верхней точке подъёма. Сопротивлением воздуха пренебречь.

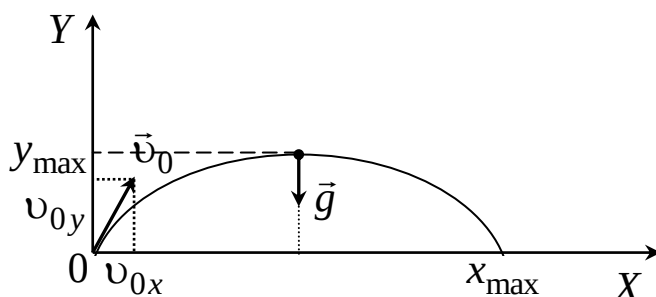


Рис. 1.6

Решение. Камень участвует в двух независимых движениях: вдоль оси X его движение равномерное, вдоль оси Y – свободное падение. Кинематические уравнения движения камня имеют вид

$$x = v_x t; \quad y = v_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2},$$

где $v_x = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$; $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$; $a_y = -g$.

Проекция v_y вектора скорости $\vec{v}$ камня на ось Y в момент времени t

$$v_y = v_{0y} - gt.$$

В верхней точке траектории $v_y = 0$ и время t_1 движения камня до этой точки определится из соотношения

$$0 = v_0 \sin \alpha - gt_1; \quad t_1 = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Максимальная высота подъёма камня:

$$y_{\max} = (v_0 \sin \alpha)t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$$

Дальность полёта $x_{\max}$ за время движения камня $t = 2t_1$ определим из формулы

$$x_{\max} = v_x \cdot 2t_1 = v_0 \cos \alpha \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

При определении радиуса R кривизны траектории учтём, что в верхней точке траектории полное ускорение g равно нормальному ускорению, а скорость движения точки – это скорость равномерного движения v_x . Следовательно, из соотношения $g = v_x^2 / R$ радиус кривизны траектории в верхней её точке:

$$R = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}.$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. На рис. 1.1–1.12 изображены координатные оси, указаны начальное положение (точка A) тела, его начальная скорость $\vec{v}_0$ и ускорение свободного падения $\vec{g}$. Записать кинематические уравнения движения тела, для каждого из случаев, представленных на рисунках. Соппротивлением воздуха пренебречь.

Начальные условия для задач 1.1–1.12: $g = 10 \text{ м/с}^2$;

Рис. 1.1. $v_0 = 10 \text{ м/с}$;

Рис. 1.2. $v_0 = 5 \text{ м/с}$; $\alpha = 45^\circ$;

Рис. 1.3. $v_0 = 5 \text{ м/с}$; $\alpha = 30^\circ$;

Рис. 1.4. $v_0 = 10 \text{ м/с}$; $\alpha = 45^\circ$;

Рис. 1.5. $v_0 = 20 \text{ м/с}$;

Рис. 1.6. $v_0 = 8 \text{ м/с}$; $\alpha = 30^\circ$;

Рис. 1.7. $v_0 = 10 \text{ м/с}$; $\alpha = 60^\circ$;

Рис. 1.8. $v_0 = 5 \text{ м/с}$; $\alpha = 45^\circ$;

Рис. 1.9. $v_0 = 15 \text{ м/с}$; $\alpha = 30^\circ$

Рис. 1.10. $v_0 = 12 \text{ м/с}$;

Рис. 1.11. $v_0 = 20 \text{ м/с}$; $\alpha = 30^\circ$;

Рис. 1.12. $v_0 = 10 \text{ м/с}$; $\alpha = 45^\circ$.

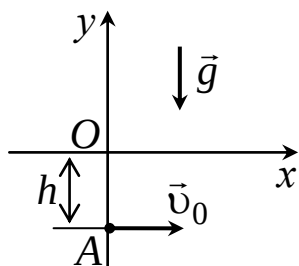


Рис. 1.1

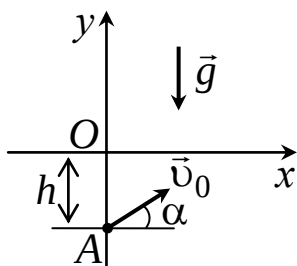


Рис. 1.2

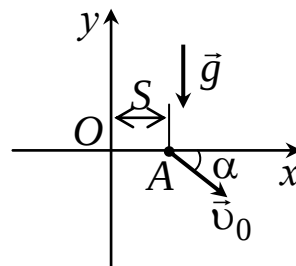


Рис. 1.3

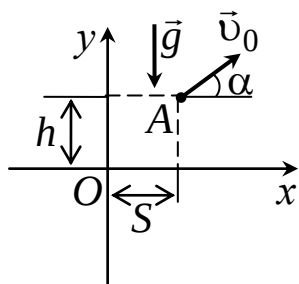


Рис. 1.4

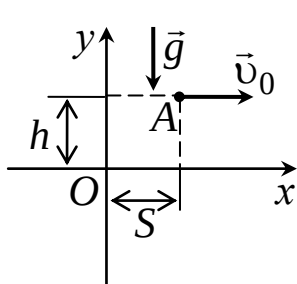


Рис. 1.5

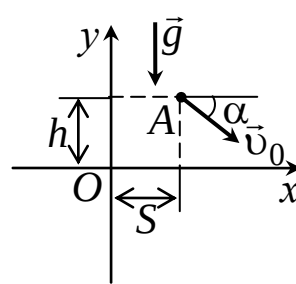


Рис. 1.6

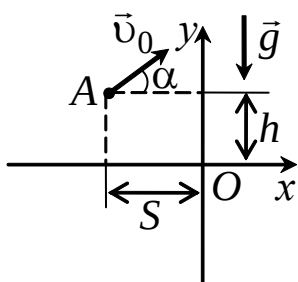


Рис. 1.7

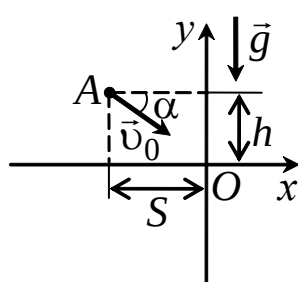


Рис. 1.8

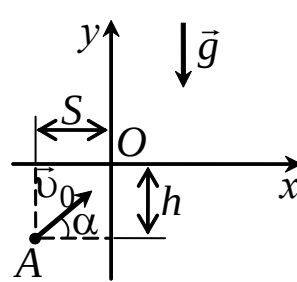


Рис. 1.9

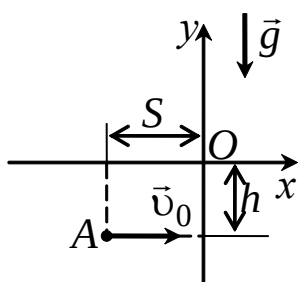


Рис. 1.10

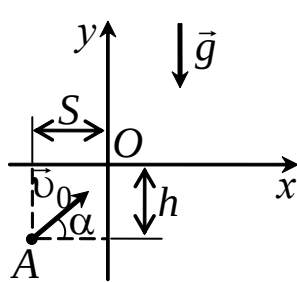


Рис. 1.11

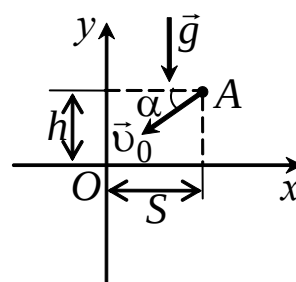


Рис. 1.12

Задача 2. Тело брошено под углом α к горизонту со скоростью $\vec{v}_0$. Определить: 1) максимальную высоту $y_{\max}$ подъёма; 2) дальность полёта $x_{\max}$; 3) радиус R кривизны траектории в верхней точке подъёма. Сопротивлением воздуха пренебречь.

Начальные условия для задач 2.1–2.12: $g = 10 \text{ м/с}^2$;

- | | |
|--|--|
| 2.1. $v_0 = 5 \text{ м/с}$, $\alpha = 30^\circ$; | 2.2. $v_0 = 5 \text{ м/с}$, $\alpha = 60^\circ$; |
| 2.3. $v_0 = 10 \text{ м/с}$, $\alpha = 45^\circ$; | 2.4. $v_0 = 15 \text{ м/с}$, $\alpha = 60^\circ$; |
| 2.5. $v_0 = 5 \text{ м/с}$, $\alpha = 45^\circ$; | 2.6. $v_0 = 10 \text{ м/с}$, $\alpha = 30^\circ$; |
| 2.7. $v_0 = 10 \text{ м/с}$, $\alpha = 60^\circ$; | 2.8. $v_0 = 15 \text{ м/с}$, $\alpha = 30^\circ$; |
| 2.9. $v_0 = 20 \text{ м/с}$, $\alpha = 60^\circ$; | 2.10. $v_0 = 15 \text{ м/с}$, $\alpha = 45^\circ$; |
| 2.11. $v_0 = 20 \text{ м/с}$, $\alpha = 30^\circ$; | 2.12. $v_0 = 20 \text{ м/с}$, $\alpha = 45^\circ$. |

Задание для самостоятельной работы

Изучить тему «Вращательное движение», используя учебное пособие [1] §§ 17–19; [2] 1.10.

Ответить на вопросы:

1. Какое движение называют криволинейным?
2. Что характеризует тангенциальное ускорение?
3. Что характеризует нормальное ускорение?
4. Как определить ускорение точки при равномерном движении по окружности?
5. Что определяет вектор угловой скорости?
6. Как определяются период и частота обращения?
7. Как связаны угловые и линейные кинематические характеристики точки при вращательном движении по окружности?

Практическое занятие 2

Динамика поступательного движения

При решении задач данной темы необходимо:

- 1) выполнить рисунок, указав на нём все силы, действующие на тело;
- 2) записать второй закон Ньютона;
- 3) спроектировать векторное уравнение на координатные оси, решить систему полученных скалярных уравнений.

Основные понятия и формулы

Уравнение движения материальной точки (второй закон Ньютона):

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a},$$

где $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i$ – геометрическая сумма сил, действующих на материальную точку массой m , $\vec{a}$ – вектор её ускорения.

Силы, рассматриваемые в механике:

1) Сила гравитационного взаимодействия двух материальных точек

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где G – гравитационная постоянная, m_1 и m_2 – массы материальных точек; r – расстояние между ними.

2) Сила тяжести $F = mg$,

где g – ускорение силы тяжести.

3) Сила упругости $F = -kx$,

где k – коэффициент упругости; x – величина деформации.

4) Сила трения скольжения $F = \mu N$,

где μ – коэффициент трения скольжения; N – реакция опоры.

Третий закон Ньютона $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$,

где $\vec{F}_{1,2}$, $\vec{F}_{2,1}$ – силы, действующие на материальные точки при их взаимодействии, приложены к разным телам.

Примеры решения задач

Пример 1. Тело массой $m = 10$ кг движется по наклонной плоскости. На тело действует сила $F = 100$ Н, направленная вверх под углом $\alpha = 30^\circ$ к поверхности наклонной плоскости. Коэффициент трения скольжения $\mu = 0,1$. Угол наклона плоскости к горизонту $\beta = 30^\circ$. Определить ускорение движения тела.

Решение. На тело действуют: сила $\vec{F}$, сила тяжести $m\vec{g}$, реакция опоры $\vec{N}$ и сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$ (рис. 2.1).

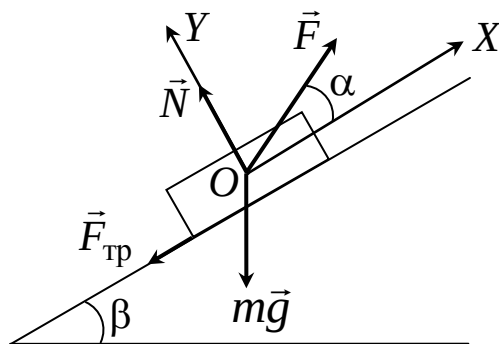


Рис. 2.1

Направим ось X вдоль наклонной плоскости, ось Y перпендикулярно ей.

По второму закону Ньютона:

$$\vec{F} + m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}} = m\vec{a}. \quad (1)$$

В проекциях на оси координат уравнение (1) запишется в виде

$$X : F \cos \alpha - F_{\text{тр}} - mg \sin \beta = ma; \quad (2)$$

$$Y : F \sin \alpha + N - mg \cos \beta = 0. \quad (3)$$

Из уравнения (3) выразим реакцию опоры

$$N = mg \cos \beta - F \sin \alpha.$$

Так как сила трения $F_{\text{тр}} = \mu N$, то уравнение (2) примет вид

$$F \cos \alpha - \mu(mg \cos \beta - F \sin \alpha) - mg \sin \beta = ma.$$

Отсюда найдём соотношение для определения ускорения движения тела по наклонной плоскости

$$a = \frac{F}{m}(\cos \alpha + \mu \sin \alpha) - g(\mu \cos \beta + \sin \beta).$$

Подставив числовые значения, получим

$$a = \frac{100}{10}(0,86 + 0,1 \cdot 0,5) - 9,81(0,1 \cdot 0,86 + 0,5) = 3,3 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right).$$

Задачи для самостоятельного решения

Задача 1. На брусок массой m , движущийся по горизонтальной поверхности, действует сила F , направленная под углом α к горизонту. Определить ускорение, с которым движется брусок, если коэффициент трения скольжения равен μ .

Начальные условия для задач 1.1–1.6:

№ задачи	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
m , кг	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
F , Н	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,0
μ	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,19
α , град	5	10	15	20	25	30
$\sin \alpha$	0,087	0,173	0,259	0,342	0,423	0,500
$\cos \alpha$	0,996	0,985	0,966	0,937	0,940	0,866

Начальные условия для задач 1.7–1.12:

№ задачи	1.7	1.8	1.9	1.10	1.11	1.12
m , кг	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,20
F , Н	2,5	2,0	4,0	3,5	4,5	5,0
μ	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25
α , град	35	40	45	50	55	60
$\sin \alpha$	0,573	0,643	0,707	0,766	0,819	0,866
$\cos \alpha$	0,819	0,766	0,707	0,643	0,573	0,500

Задача 2. На тело массой m действует сила F , параллельная наклонной плоскости. С каким ускорением a будет двигаться тело? Коэффициент трения скольжения равен μ , угол наклона плоскости к горизонту равен α .

Начальные условия для задач 2.1–2.6:

№ задачи	2.7	2.8	2.9	2.10	2.11	2.12
m , кг	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,70
F , Н	2,5	2,0	4,0	4,5	5,5	6,0
μ	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12
α , град	35	40	45	50	55	60
$\sin \alpha$	0,573	0,643	0,707	0,766	0,819	0,866
$\cos \alpha$	0,819	0,766	0,707	0,643	0,573	0,500

Начальные условия для задач 2.7–2.12:

№ задачи	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6
m , кг	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
F , Н	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	3,0
μ	0,25	0,24	0,23	0,22	0,19	0,18
α , град	5	10	15	20	25	30
$\sin \alpha$	0,087	0,173	0,259	0,342	0,423	0,500
$\cos \alpha$	0,996	0,985	0,966	0,940	0,906	0,866

Практическое занятие 3

Законы сохранения в механике

При решении задач данного практического занятия необходимо использовать:

- 1) закон сохранения импульса;
- 2) закон сохранения механической энергии для консервативной системы;
- 3) закон сохранения и превращения энергии для диссипативной системы.

Приступая к решению задач на закон сохранения импульса, не забудьте:

- 1) выполнить рисунок, указав на нём все взаимодействующие тела;
- 2) записать закон сохранения импульса;
- 3) спроектировать векторное уравнение на координатные оси;
- 4) решить систему полученных скалярных уравнений относительно указанной в условии задачи величины.

Основные понятия и формулы

Закон сохранения импульса: суммарный импульс замкнутой системы взаимодействующих тел с течением времени не изменяется:

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const.}$$

Этот закон является следствием однородности пространства.

Если сумма проекций сил на выбранное направление равна нулю, то систему можно считать замкнутой в этом направлении и применять при решении задачи закон сохранения импульса, перейдя к скалярной форме записи.

Закон сохранения механической энергии: полная механическая энергия тела в поле консервативных сил с течением времени не изменяется:

$$W = W_{\text{к}} + W_{\text{р}} = \text{const},$$

где W – полная механическая энергия; W_k – кинетическая энергия; W_p – потенциальная энергия. При этом потенциальная энергия не изменяется, если её расчёт производится относительно одного и того же уровня. Этот закон является следствием однородности времени.

Для системы взаимодействующих тел, в которой присутствуют неконсервативные (диссипативные) силы, например, сила трения, или часть механической энергии переходит в тепло, полная механическая энергия не сохраняется:

$$\Delta W = A_{\text{тр}} \quad \text{или} \quad \Delta W = A_{\text{деф}} = Q.$$

Примеры решения задач

Пример 1. Снаряд массой 200 г, выпущенный под углом 30° к горизонту (рис. 3.1), поднялся на высоту 4 м. Определить кинетическую энергию снаряда перед его падением на землю.

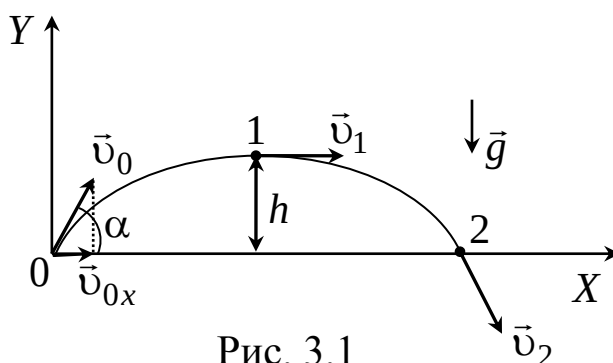


Рис. 3.1

Решение. Поскольку снаряд движется под действием консервативной силы тяжести, во время его движения выполняется закон сохранения механической энергии: в любой точке траектории полная механическая энергия снаряда имеет одну и ту же величину. Так,

$$W_0 = W_1 = W_2,$$

где $W_0 = \frac{mv_0^2}{2}$ – энергия снаряда в точке запуска; $W_1 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh$ – его энергия верхней точке траектории (высота отсчитывается от уровня земли); $W_2 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh$ – энергия снаряда непосредственно перед падением.

Таким образом, кинетическая энергия снаряда в момент падения равна его начальной кинетической энергии $W_0 = \frac{mv_0^2}{2}$.

При отсутствии сил сопротивления горизонтальная составляющая скорости снаряда $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ постоянна. В верхней точке траектории вертикальная составляющая скорости равна нулю, поэтому $v_1 = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$.

Из этого получаем:

$$W_{k2} = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{mv_0^2 \cos^2 \alpha}{2} + mgh = W_{k2} \cos^2 \alpha + mgh;$$

$$W_{k2}(1 - \cos^2 \alpha) = mgh; \quad W_{k2} = \frac{mgh}{1 - \cos^2 \alpha} = 32 \text{ (Дж)}.$$

Пример 2. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Какое количество теплоты выделилось при ударе, если перед ударом кинетическая энергия мяча была равна 20 Дж?

Решение. В соответствии с законом сохранения и превращения энергии начальная кинетическая энергия мяча W_0 равна сумме кинетической энергии после удара W и энергии, выделившейся в форме теплоты Q :

$$W_0 = W + Q.$$

$$W_0 = \frac{mv_0^2}{2}; \quad W = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \cdot \frac{v_0^2}{4} = \frac{W_0}{4}.$$

$$\text{Отсюда } Q = W_0 - W = W_0 - \frac{W_0}{4} = \frac{3W_0}{4} = 15 \text{ (Дж)}.$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Из ствола пушки, закреплённой на железнодорожной платформе, вдоль рельсов под углом 45° к горизонту вылетает снаряд массой 20 кг со скоростью 600 м/с. Масса платформы с пушкой 10 т. До выстрела платформа с пушкой покоится. Чему равна скорость платформы, с которой она будет двигаться сразу после выстрела?

2. Шар массой 10 кг движется со скоростью 2 м/с и сталкивается с покоящимся шаром массой 4 кг. Определить скорости

шаров после удара. Шары считать абсолютно упругими, удар прямым, центральным.

3. Снаряд, летевший со скоростью 800 м/с, разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 40 % от массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью 300 м/с. Определить скорость большего осколка.

4. При горизонтальном полёте со скоростью 250 м/с снаряд массой 8 кг разорвался на две части. Большая часть массы 6 кг получила скорость 400 м/с в направлении полёта снаряда. Определить величину и направление скорости меньшей части снаряда.

5. Пуля массой 10 г, летящая горизонтально со скоростью 200 м/с, пробила лежащий на столе пластмассовый кубик массой 200 г и вылетела наружу со скоростью 100 м/с. Определить скорость кубика после вылета пули.

6. Пуля массой 10 г, летящая с горизонтальной скоростью 400 м/с, попадает в мешок с ватой массой 4 кг, висящий на длинной нити. Определить скорость мешка, если пуля застрянет в нём?

7. Граната, летящая со скоростью 10 м/с, разорвалась на два осколка. Большой осколок, масса которого составляла 60 % массы всей гранаты, продолжал двигаться в прежнем направлении, но с увеличенной скоростью, равной 25 м/с. Определить скорость меньшего осколка.

8. Пуля летит горизонтально со скоростью 150 м/с, пробивает стоящий на горизонтальной поверхности льда брусок и продолжает движение в прежнем направлении со скоростью $v_0/3$. Масса бруска в 10 раз больше массы пули. Определить скорость бруска после вылета пули.

10. Пуля массой m , летящая горизонтально со скоростью 160 м/с, пробивает брусок массой $14m$, покоящийся на гладкой поверхности, и вылетает из него со скоростью в 8 раз меньшей. Определите скорость бруска после вылета пули.

11. На вагонетку массой 1 т, катящуюся по горизонтальному пути со скоростью 0,4 м/с, насыпали сверху 500 кг щебня. Определить скорость вагонетки со щебнем.

12. На вагонетку массой 800 кг, катящуюся по горизонтальному пути со скоростью 0,2 м/с, насыпали сверху 200 кг щебня. На сколько при этом уменьшилась скорость вагонетки?

13. Из ствола пушки, закрепленной на железнодорожной платформе, вдоль рельсов под углом 60° к горизонту вылетает снаряд массой 10 кг. Масса платформы с пушкой 10 т. До выстрела платформа с пушкой покоится. Чему равно отношение скоростей снаряда и пушки, с которыми они будут двигаться сразу после выстрела?

14. Налетев на пружинный буфер, вагон массой 16 т, двигавшийся со скоростью 0,6 м/с, остановился, сжав пружину буфера на 8 см. Найти жёсткость пружины.

15. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх пуля массой 20 г поднялась на высоту 5 м. Определить жёсткость пружины пистолета, если она была сжата на 10 см. Массой пружины пренебречь.

16. Пуля массой 10 г, летящая с горизонтальной скоростью 200 м/с, попадает в мешок с ватой массой 4 кг, висящий на длинной нити. На какую высоту поднимется мешок, если пуля застрянет в нём?

17. Стальной шарик массой 20 г, падая с высоты 1 м на стальную плиту, отскакивает от неё на высоту 81 см. Найти количество теплоты, выделившейся при ударе.

18. Движущийся со скоростью 3 м/с вагон массой 50 т сцепляется с неподвижным вагоном массой 25 т, после чего вагоны начинают вкатываться на горку. На какую высоту поднимутся вагоны? Силой сопротивления движению пренебречь.

19. Скорость брошенного мяча непосредственно перед ударом о стену была вдвое больше его скорости сразу после удара. Какое количество теплоты выделилось при ударе, если перед ударом кинетическая энергия мяча была равна 20 Дж?

20. Мяч массой 600 г падает с высоты 25 м с начальной скоростью, равной нулю. Его кинетическая энергия при падении на землю равна 130 Дж. Определите потерю механической энергии за счёт сопротивления воздуха.

21. Автомобиль массой 1000 кг подъезжает со скоростью 20 м/с к подъёму высотой 5 м. В конце подъёма его скорость уменьшается до 6 м/с. Чему равно по модулю изменение механической энергии автомобиля?

22. Определить кинетическую энергию и скорость шарика массой 5 г в момент выстрела из пружинного пистолета, если жёсткость пружины 200 Н/м, а до выстрела она была сжата на 5 см. Трением пренебречь.

23. Тело массой 0,1 кг брошено горизонтально со скоростью 4 м/с с высоты 2 м относительно поверхности Земли. Чему равна кинетическая энергия тела в момент его приземления? Сопротивление воздуха не учитывать.

24. Автомобиль, двигаясь с выключенным двигателем, на горизонтальном участке дороги имеет скорость 20 м/с. На какую высоту он поднимется до полной остановки вверх по склону горы под углом 30° к горизонту? Трением пренебречь.

25. Шар массой 2 кг движется со скоростью 5 м/с навстречу шару массой 3 кг, движущемуся со скоростью 10 м/с. Найти величину изменения кинетической энергии системы шаров после неупругого центрального удара.

Задание для самостоятельной работы

Изучить тему «Вес тела. Невесомость. Космические скорости», используя учебное пособие [1] §§ 30, 31; [2] 2.9.

Ответить на вопросы:

1. В чём отличие силы тяжести и веса тела?
2. Сравните вес тела и силу тяжести при равномерном и равноускоренном движении лифта вертикально вверх.
3. Как проявляется состояние невесомости?
4. Как рассчитать значение первой космической скорости?
5. Какова траектория спутника, если ему сообщена первая космическая скорость?
6. Как рассчитать значение второй космической скорости?

Практическое занятие 4

Молекулярная физика

При решении задач данной темы необходимо знать основные положения молекулярно-кинетической теории и основные

закономерности, которые используются для анализа движения частиц и их свойств.

Основные понятия и формулы

1. Энергия теплового движения складывается из энергии молекул, участвующих во всех видах движения. Если молекула жёсткая, то она обладает только энергией поступательного и вращательного движений.

2. Числом степеней свободы называют число независимых координат, полностью определяющих положение системы в пространстве.

Для жёсткой пространственно-ориентированной системы возможны три степени свободы поступательного движения (вдоль осей координат) и три степени свободы вращательного движения.

Молекулу двухатомного газа рассматривают как систему из двух жёстко связанных материальных точек. Такая молекула, кроме трёх степеней свободы поступательного движения, имеет еще две степени свободы вращательного движения. Вращение вокруг третьей оси, проходящей через оба атома, не учитывается, т. е. молекула двухатомного газа имеет пять степеней свободы:

$$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}}.$$

Трёхатомные и многоатомные нелинейные молекулы с жёсткими связями между атомами имеют шесть степеней свободы: три поступательных и три вращательных.

3. Согласно закону равномерного распределения энергии по степеням свободы теплового движения частиц, на каждую степень свободы в среднем приходится одинаковая энергия, равная

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{1}{2} k T,$$

где k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

4. Давление, производимое идеальным газом:

$$p = \frac{2}{3} n \langle \epsilon \rangle,$$

где n – число молекул в единице объема (концентрация молекул).

5. Распределение молекул по скоростям теплового движения позволяет определить скорости их теплового движения:

$$v_B = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} \text{ – наиболее вероятная скорость;}$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \text{ – средняя арифметическая скорость;}$$

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \text{ – средняя квадратичная скорость,}$$

где R – газовая постоянная; M – молярная масса; m_0 – масса молекулы.

6. Среднее число $\langle Z \rangle$ столкновений молекул за единицу времени определяется соотношением

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2 n \langle v \rangle ,$$

где d – эффективный диаметр молекулы.

7. Средняя длина $\langle \ell \rangle$ свободного пробега молекул – среднее расстояние между двумя последовательными столкновениями

$$\langle \ell \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle Z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n} .$$

Примеры решения задач

Пример 1. Определить среднюю кинетическую энергию молекулы азота при температуре 27°C и кинетическую энергию поступательного движения всех молекул, содержащихся в 7 г азота.

$$t = 27^\circ \text{C}; T = 300 \text{ K}$$

$$M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$i = 5; i_{\text{пост}} = 3$$

$$m = 7 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

Средняя кинетическая энергия молекулы равна

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} k T ,$$

$$\langle \epsilon \rangle - ? W_{\text{пост}} - ?$$

где i – число степеней свободы; k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура.

Для двухатомной молекулы кислорода $i = 5$.

Средняя кинетическая энергия двухатомной молекулы

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{5}{2} k T.$$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы (три степени свободы)

$$\langle \epsilon_{\text{пост}} \rangle = \frac{i_{\text{пост}}}{2} k T.$$

Число молекул, содержащихся в массе m газа, определяется из соотношения:

$$N = \frac{m}{M} N_A.$$

Средняя кинетическая энергия поступательного движения всех молекул кислорода

$$W_{\text{пост}} = N \langle \epsilon_{\text{пост}} \rangle = \frac{m}{M} N_A \frac{i_{\text{пост}}}{2} k T = \frac{i_{\text{пост}}}{2} \frac{m}{M} R T.$$

Вычислим энергию поступательного движения молекул газа

$$W_{\text{пост}} = \frac{3 \cdot 7 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 300}{2 \cdot 28 \cdot 10^{-3}} \approx 934,9 \text{ (Дж)}.$$

Пример 2. Определить среднюю кинетическую энергию молекулы кислорода при температуре 17 °С. Во сколько раз она больше средней кинетической энергии молекулы гелия при той же температуре? Найти кинетическую энергию вращательного движения всех молекул, содержащихся в 4 г кислорода.

$$t = 17 \text{ }^\circ\text{C}; T = 290 \text{ К}$$

$$M_{\text{O}_2} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$i_{\text{O}_2} = 5; i_{\text{вр}} = 2; i_{\text{He}} = 3$$

$$m_{\text{O}_2} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$$

$$\frac{\langle \epsilon \rangle_{\text{O}_2}}{\langle \epsilon \rangle_{\text{He}}} - ? \quad W_{\text{вр}} - ?$$

Средняя кинетическая энергия молекулы равна

$$\langle \epsilon \rangle = \frac{i}{2} k T,$$

где i – число степеней свободы;
 k – постоянная Больцмана; T – термодинамическая температура. Для двухатомной молекулы кислорода $i_{\text{O}_2} = 5$.

Средняя кинетическая энергия двухатомной молекулы

$$\langle \epsilon \rangle_{\text{O}_2} = \frac{5}{2} k T.$$

Молекула гелия является одноатомной, поэтому для неё число степеней свободы равно $i_{\text{He}} = i_{\text{пост}} = 3$, а средняя энергия её поступательного движения $\langle \epsilon \rangle_{\text{He}} = \frac{3}{2} k T$.

Найдём отношение средних кинетических энергий молекулы кислорода и молекулы гелия

$$\frac{\langle \epsilon \rangle_{\text{O}_2}}{\langle \epsilon \rangle_{\text{He}}} = \frac{5}{3} = 1,67.$$

Средняя кинетическая энергия вращательного движения молекулы кислорода

$$\langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle_{\text{O}_2} = \frac{i_{\text{вр}}}{2} k T.$$

Число молекул, содержащихся в массе m кислорода:

$$N = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} N_A.$$

Средняя кинетическая энергия вращательного движения всех молекул кислорода

$$W_{\text{вр}} = N \langle \epsilon_{\text{вр}} \rangle_{\text{O}_2} = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} N_A \frac{i_{\text{вр}}}{2} k T = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{O}_2}} R T.$$

Вычислим среднюю кинетическую энергию вращательного движения всех молекул кислорода, содержащихся в 4 г газа:

$$W_{\text{вр}} = \frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль}) \cdot 290 \text{ К}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \approx 301,2 \text{ Дж}.$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Под каким давлением находится в баллоне водород, если ёмкость баллона 10 л, а кинетическая энергия поступательного движения всех молекул водорода равна $7,5 \cdot 10^3$ Дж?

2. Под каким давлением находится газ, плотностью $9 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$, если средняя квадратичная скорость его молекул 550 м/с ?

3. Чему равна кинетическая энергия поступательного движения всех молекул, содержащихся в 1 кг гелия при температуре 1000 К ?

4. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа, заключённого в сосуде объёмом 2 л под давлением 200 кПа . Масса газа $0,3 \text{ г}$.

5. Найти среднюю длину свободного пробега молекул углекислого газа при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $13,3 \text{ Па}$. Эффективный диаметр молекулы принять равным $0,32 \text{ нм}$.

6. Одноатомный газ массой $1,5 \text{ кг}$ находится под давлением 5 атм и имеет плотность 6 кг/м^3 . Найти энергию теплового движения молекул газа при этих условиях.

7. Определить среднюю квадратичную скорость молекул газа, заключённого в сосуде объёмом $2,5 \text{ л}$ под давлением 100 кПа . Масса газа $0,6 \text{ г}$.

8. Двухатомный газ массой 2 кг находится под давлением $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ и имеет плотность 5 кг/м^3 . Найти энергию поступательного движения молекул этого газа при указанных условиях.

9. Определить среднюю арифметическую скорость молекул газа, заключённого в сосуде объёмом $1,5 \text{ л}$ под давлением 200 кПа . Масса газа $0,5 \text{ г}$.

10. Найти среднюю длину свободного пробега молекул азота при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 100 Па . Эффективный диаметр молекулы принять равным $0,3 \text{ нм}$.

11. После нагревания газа в цилиндре под поршнем его объём увеличился в 3 раза, а давление осталось неизменным. Как изменилось при этом среднее число соударений молекул за единицу времени?

12. Средняя длина свободного пробега молекул водорода при нормальных условиях составляет $0,1 \text{ мкм}$. Определить среднюю длину свободного пробега этих молекул при давлении 10 Па и той же температуре.

13. Как изменится средняя длина свободного пробега молекул азота, находящегося в цилиндре под поршнем, при двукратном увеличении объёма?

14. Водород находится при температуре 300 К. Рассчитать среднюю кинетическую энергию вращательного движения одной молекулы, а также внутреннюю энергию 0,5 моля водорода.

15. Газ занимает объём 2 л под давлением 0,5 МПа. Определить суммарную кинетическую энергию поступательного движения молекул.

16. Под каким давлением находится газ, если средняя квадратичная скорость молекул этого газа 500 м/с, а его плотность $8 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$?

17. Под каким давлением находится в баллоне кислород, если ёмкость баллона 10 л, а кинетическая энергия поступательного движения всех молекул кислорода равна $12,0 \cdot 10^3 \text{ Дж}$?

18. Найти среднее число столкновений в единицу времени молекулы углекислого газа при давлении 100 кПа и температуре 50°C. Эффективный диаметр этой молекулы 0,32 нм.

19. Найти среднюю длину свободного пробега молекул водорода при температуре 50 °С и давлении 100 Па. Эффективный диаметр молекулы водорода 0,1 нм.

20. Чему равна кинетическая энергия вращательного движения всех молекул, содержащихся в 1 кг азота при температуре 500 К?

21. Под каким давлением находится в баллоне азот, если ёмкость баллона 5 л, а кинетическая энергия поступательного движения всех молекул водорода равна $7,0 \cdot 10^3 \text{ Дж}$?

22. Определить среднюю арифметическую скорость молекул газа, заключённого в сосуде объёмом 1 л под давлением 300 кПа. Масса газа 0,3 г.

23. Под каким давлением находится газ плотностью $9 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^3$, если средняя квадратичная скорость его молекул 600 м/с?

24. Чему равна кинетическая энергия поступательного движения всех молекул, содержащихся в 2 молях азота, если температура газа 800 К?

25. Определить энергию вращательного движения молекул углекислого газа, содержащихся в 2 г при температуре 27° С.

Задание для самостоятельной работы

Изучить тему «Агрегатные состояния. Фазовые переходы», используя учебное пособие [1] §§ 86–88; [2] 6.1–6.4.

Ответить на вопросы:

1. Когда совпадают понятия фазы и агрегатного состояния?
2. Дайте определение фазового перехода первого рода.
3. Какое количество теплоты необходимо для превращения жидкости в пар при её температуре кипения?
4. В чём отличие ненасыщенного и насыщенного пара?
5. Каковы способы определения относительной влажности воздуха?
6. Чем кипение жидкости отличается от её испарения?

Практическое занятие 5

Термодинамика

Решение задач этой темы требует особого внимания при использовании понятий и законов термодинамики для анализа термодинамической системы и способов перехода из одного равновесного состояния в другое. При решении данных задач необходимо использовать графическое представление обсуждаемых процессов в координатах $p - V$, $p - T$, $V - T$.

Основные понятия и формулы

Согласно первому началу термодинамики количество теплоты Q , сообщаемое системе, расходуется на увеличение внутренней энергии ΔU системы и на совершение системой работы A против внешних сил:

$$Q = \Delta U + A.$$

Решая задачи на применение первого начала термодинамики, обратите внимание на направление протекания рассматриваемого газового процесса.

1. При изотермическом процессе (протекает при постоянной температуре $T = \text{const}$) и сообщаемое системе количество теплоты расходуется на совершение системой работы: $Q = A$.

Так как внутренняя энергия U является функцией состояния системы, а её изменение определяется при любых термодинамических процессах соотношением

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T,$$

то при изотермическом переходе $\Delta U = 0$.

2. При изохорном процессе (протекает при постоянном объеме $V = \text{const}$) работа не совершается и $Q = \Delta U$,

3. При изобарном процессе (протекает при постоянном давлении $p = \text{const}$) $Q = \Delta U + A$.

4. При адиабатном процессе (протекает без теплообмена с окружающей средой $Q = 0$)

$$A = -\Delta U \quad \text{или} \quad \Delta U = -A = A',$$

где A' – работа, совершаемая внешними силами над системой.

Примеры решения задач

Пример 1. Водород занимает объем 100 л и находится под давлением 100 кПа. При нагревании газ расширяется при постоянном давлении до объема 300 л, а затем его давление возросло до 300 кПа при неизменном объёме. Найти изменение внутренней энергии газа, совершённую им работу и количество теплоты, переданной газу.

$V_1 = 0,1 \text{ м}^3$ $p_1 = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$ $V_2 = 0,3 \text{ м}^3$ $p_3 = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$	Процесс $1 \rightarrow 2$ – изобарное нагревание (рис. 5.1), работа при изобарном процессе определяется соотношением $A_{12} = p_1 \Delta V_{12} = p_1 (V_2 - V_1).$
$\Delta U; A; Q - ?$	

Процесс $2 \rightarrow 3$ – изохорное нагревание. В этом процессе работа не совершается.

Таким образом, работа, совершаемая газом при переходе из состояния 1 в состояние 3:

$$A_{13} = p_1(V_2 - V_1). \quad (1)$$

Увеличение внутренней энергии при переходе газа из состояния 1 в состояние 3:

$$\Delta U_{13} = \nu \frac{i}{2} R \Delta T_{13} = \nu \frac{i}{2} R(T_3 - T_1).$$

Используя уравнение Клапейрона – Менделеева $pV = \nu RT$ для начального и конечного его состояний, получим

$$\frac{i}{2} \nu R(T_3 - T_1) = \frac{i}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1).$$

Тогда увеличение внутренней энергии системы при переходе из состояния 1 в состояние 3 можно рассчитать по формуле

$$\Delta U_{13} = \frac{i}{2} (p_3 V_3 - p_1 V_1). \quad (2)$$

Количество теплоты, переданной газу, найдем из первого начала термодинамики:

$$Q = A + \Delta U. \quad (3)$$

Подставим в формулы (1), (2) и (3) численные значения:

$$A_{13} = 1 \cdot 10^5 (0,03 - 0,01) = 0,2 \cdot 10^4 \text{ (Дж)};$$

$$\Delta U_{13} = \frac{5}{2} (3 \cdot 10^5 \cdot 0,03 - 1 \cdot 10^5 \cdot 0,01) = 2,0 \cdot 10^4 \text{ (Дж)};$$

$$Q = (0,2 + 2,0) \cdot 10^4 = 2,2 \cdot 10^4 \text{ (Дж)}.$$

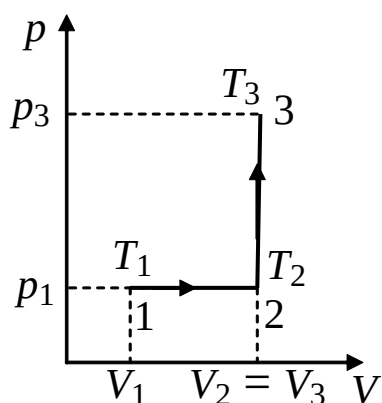


Рис. 5.1

Задачи для самостоятельного решения

На рис. 1–25 изображены круговые процессы (циклы) в соответствующих координатах, указан газ и число его молей. Газ переходит из одного состояния в другое. Назвать указанные в таблице процессы, записать их уравнение.

Определить:

- 1) изменение внутренней энергии ΔU газа;
- 2) совершённую им работу A ;
- 3) теплоёмкость C (или молярную теплоёмкость C_m) при заданном процессе;

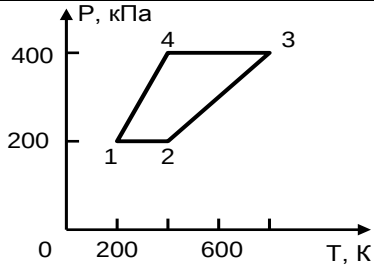
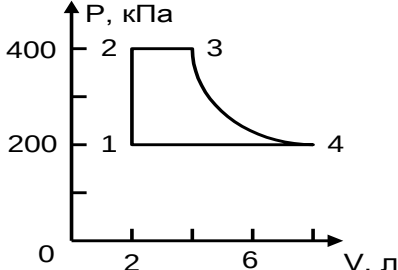
4) количество теплоты Q , переданной газу при переходе между указанными состояниями.

№ задачи	Рисунок	Число молей	Газ	Переходы
1		0,5	Кислород	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$
2		1,0	Азот	$2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$
3		0,1	Углекислый газ	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$
4		1,0	Водород	$2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$
5		1,5	Гелий	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$

6		-	0,1	Водород (3→4 – изотер- ма)	4→1→2
7		-	1,0	Кисло- род	3→4→1
8		-	0,2	Азот	2→3→4
9		-	0,1	Кисло- род	4→1→2
10		-	0,5	Гелий (1→2 – изотер- ма)	2→3→4
11		-	0,5	водород	3→4→1

12		1,0	Гелий	$3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$
13		0,1	Угле- кислый газ	$2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$
14		1,0	Азот	$3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$
15		1,5	Водород	$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$
16		-	Водород (3→4 – изотер- ма)	$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$
17		-	Аргон	$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$

18		-	0,2	Азот	$1 \rightarrow 4 \rightarrow 3$
19		-	0,5	Кислород	$4 \rightarrow 3 \rightarrow 2$
20		-	1,5	Гелий ($1 \rightarrow 2$ – изотерма)	$1 \rightarrow 4 \rightarrow 3$
21		-	0,2	Водород ($3 \rightarrow 4$ – изотерма)	$2 \rightarrow 1 \rightarrow 4$
22		-	1,0	Гелий	$3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$
23		-	2,0	Водород	$4 \rightarrow 3 \rightarrow 2$

24		0,5	Кислород	$2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$
25		1,0	Аргон (3→4 – изотерма)	$3 \rightarrow 2 \rightarrow 1$

Список литературы

1. Фирсов, А. В. Физика для профессий и специальностей технического и естественнонаучного профилей [Электронный ресурс] : учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений СПО на базе основного общего образования с получением среднего общего образования / А. В. Фирсов ; под ред. Т. И. Трофимовой. – Москва : Академия, 2017. – 352 с.

Режим доступа: <http://academia-moscow.ru/reader/?id=227482#copy>. – Загл. с экрана.

2. Дмитриева, В. Ф. Физика для профессий и специальностей технического профиля [Электронный ресурс] : учебник для использования в учебном процессе образовательных учреждений СПО на базе основного общего образования с получением среднего общего образования / В. Ф. Дмитриева. – Москва : Академия, 2017. – 448 с.

Режим доступа: <http://academia-moscow.ru/reader/?id=213496#copy>. – Загл. с экрана.