СБОРНИК ЗАДАЧ

и вариантов заданий для расчётно-графических работ по механике и молекулярной физике

Для студентов всех специальностей

2019 г.

Раздел 1. Механика

Основные формулы.

Кинематика материальной точки

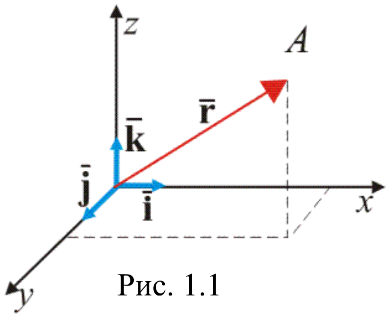

Рис. 1.1

В Декартовой системе координат, используемой наиболее часто, положение точки A в данный момент времени характеризуется тремя координатами x, y, z или радиусом - вектором $\vec{\mathbf{r}}$, проведенным из начала координат в данную точку (Рис. 1).

При движении материальной точки её координаты с течением времени изменяются. В общем случае её движение определяется скалярными уравнениями:

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t) \qquad (1)$$

Эти уравнения эквивалентны векторному уравнению

$$\vec{\mathbf{r}} = \vec{\mathbf{r}}(t) = x\vec{\mathbf{i}} + y\vec{\mathbf{j}} + z\vec{\mathbf{k}} \qquad (2)$$

где x, y, z – проекции радиуса-вектора на оси координат, а $\vec{\mathbf{i}}, \vec{\mathbf{j}}, \vec{\mathbf{k}}$ - единичные векторы, направленные по соответствующим осям. Уравнения (1) и (2) называются *кинематическими уравнениями движения материальной точки.*

Мгновенная скорость в общем случае движения определяется первой производной от радиус-вектора по времени:

$$\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

$\vec{\upsilon}$ - вектор мгновенной скорости, $[\upsilon] = м/с$

Проекции скорости: $\upsilon_x = \dot{x} \qquad \upsilon_y = \dot{y} \qquad \upsilon_z = \dot{z}$

Мгновенное ускорение: $\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{\partial^2 \vec{r}}{\partial t^2}$,

Кинематика вращательного движения

Угловая скорость - векторная величина, характеризующая скорость вращения тела, численно равная первой производной псевдовектора угла поворота $\vec{\varphi}$ по времени *t:*

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$$

Угловое ускорение — векторная величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости твёрдого тела.

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

Тангенциальное (касательное) ускорение $\vec{a}_\tau$ (составляющая ускорения)

$$\vec{a}_\tau = \frac{d\upsilon}{dt}\vec{e}$$

Нормальное (центростремительное) ускорение (составляющая ускорения) - векторная величина, характеризующя изменение направления скорости:

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{\mathrm{n}}$$

Модуль полного ускорения:

$$a = \sqrt{\left(a_t^2 + a_n^2\right)}$$

Динамика вращательного движения

Основное уравнение динамики вращательного движени (Второй закон Ньютона)

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt},$$

где: $\vec{p}$ -вектор импульса.

Основное уравнение динамики вращательного движения твердого тела

$$\vec{\mathrm{M}} = J\vec{\varepsilon} \quad , \qquad (1)$$

где $\vec{\mathrm{M}}$ - суммарный момент внешних сил, приложенных к телу относительно оси вращения; J - момент инерции тела относительно той же оси; $\vec{\varepsilon}$ - угловое ускорение.

В динамике вращательного движения различают два понятия: момент силы относительно точки и момент силы относительно оси вращения.

Момент силы относительно точки О определяется как векторное произведение

$$\vec{\mathrm{M}} = \left[\vec{r} \times \vec{F}\right],$$

где $\vec{F}$ - сила, $\vec{r}$ - радиус-вектор, проведенный из точки *O*, в точку приложения силы.

Момент силы относительно оси вращения есть проекция $\vec{\mathrm{M}}$ на произвольную ось *z*, которая проходит через точку *O*:

$$M = Fl.$$

Где l – плечо силы, то есть кратчайшее расстояние от оси до линии действия силы.

Момент инерции тела

$$J = \lim_{\Delta m_i \to 0} \sum_i \Delta m_i r_i^2$$

или

$$J = \int r^2 dm = \int \rho r^2 dV,$$

где Δm_i - масса элемента; r_i - расстояние от элемента до оси вращения; ρ - плотность вещества в элементе объема dV, находящегося на расстоянии r от оси вращения. Таким образом, задача нахождения момента инерции сводится к интегрированию.

Для расчетов моментов инерции относительно произвольной оси может быть использована теорема Штейнера. Согласно ей, момент инерции J относительно произвольной оси равен сумме момента инерции тела J_c относительно оси, проходящей через центр инерции тела параллельно рассматриваемой оси, и произведения массы тела m на квадрат расстояния d между осями.

$$J = J_c + md^2$$

Момент импульса $\vec{L}$ ***материальной точки*** определяется как векторное произведение

$$\vec{L} = \left[\vec{r} \times m\vec{v}\right],$$

где m- масса материальной точки, $\vec{v}$ - ее скорость, $\vec{r}$ -расстояние от точки до оси вращения.

Величина момента импульса L материальной точки равна

$$L = mvr$$

Момент импульса твердого тела, вращающегося вокруг некоторой оси равен

$$\vec{L} = J\vec{\omega},$$

где J – момент инерции тела, ω -угловая скорость.

Закон сохранения момента импульса: в замкнутой системе суммарный момент импульса всех тел этой системы остается постоянным.

Кинетическая энергия вращающегося тела выражается формулой

$$E_k = \frac{J\omega^2}{2}$$

Задания для расчётно - графических работ

Задание 1.1

Тема: *Кинематика вращательного движения.*

Формулировка задания.

Сплошной диск вращается относительно оси, проходящей через его центр масс и перпендикулярной плоскости диска. Уравнения изменения со временем кинематических характеристик вращающегося диска приведены в таблице 1. Угол поворота φ задан в радианах, A = 0.0314 рад/с^2, B = 0.1 рад/с.

1. Построить графики изменения со временем угла поворота φ(t), модуля угловой скорости ω(t) и углового ускорения β(t).
2. Для точки, находящейся на расстоянии R = 0,N м (здесь N-номер варианта), определить полное ускорение в момент времени t .

Значения параметров по вариантам.

Таблица 1.1

Вариант	Заданное уравнение	Начальные условия (при t = 0)	t, c
1.	$\beta = Ae^{-Bt}$	φ = 0, ω = 0	5
2.	$\varphi = 1-(1+Bt)^{-1}$	-	10
3.	$\beta = -A(1+Bt)^{-2}$	φ = 0, ω = 0.1 π рад/с	15
4.	$\omega = B(1+e^{-Bt})$	φ = 0	20
5.	$\varphi = \ln(1+Bt)$	-	5
6.	$\varphi = \sin Bt$	-	10
7.	$\varphi = 1 - e^{-Bt}$	-	15
8.	$\beta = -A \cos Bt$	φ = 0, ω = 0.1 π рад/с	20
9.	$\omega = B(1 + \sin Bt)$	φ = 0	5
10.	$\omega = Be^{-Bt}$	φ = 0	10
11.	$\omega = B \sin Bt$	φ = 0	15
12.	$\beta = -A \sin Bt$	φ = 0, ω = 0.1 π рад/с	20
13.	$\varphi = 1 - e^{-Bt} + 2Bt$	-	5
14.	$\varphi = B(1+Bt)^{-1}$	φ = 0	10
15.	$\beta = - A(1+Bt)^{-3}$	φ = 0, ω = 0.1 π рад/с	15
16.	$\varphi = 2Bt – 1 + e^{-Bt}$	-	20
17.	$\omega = B \cos Bt$	φ = 0	5
18.	$\omega = B(1- \sin Bt)$	φ = 0	10
19.	$\omega = Bt - \sin Bt$	-	15
20.	$\beta = A \cos Bt$	φ = 0, ω = 0	20
21.	$\varphi = 1- \cos Bt$	-	5

22.	ω = B(1 - e^{-Bt})	φ = 0	10
23.	β = A sin Bt	φ = 0, ω = 0	15
24.	ω = $B(1+Bt)^{-2}$	φ = 0	20
25.	β = A e^{-Bt}	φ = 0, ω = 0.1 π рад/с	10

Задание 1.2
Тема: *Кинематика материальной точки.*
Формулировка задания.

Под действием силы материальная точка массой m движется так, что её координата меняется по закону $x(t)$. Уравнение движения и параметры приведены в таблице 1. (где A, B, C и D – постоянные величины).

Определить, в момент времени Δt, следующие показатели: путь, модуль перемещения, модуль скорости, проекцию скорости и работу силы, действующей на материальную точку.

Построить графики зависимостей за интервал времени Δt приведённые в таблице 1.2.2

Значения параметров по вариантам.

Таблица 1.2

Вариант	**Уравнение движения.**	***m, кг***	***A*, м**	***B*, м/с**	***C*, м/с²**	***D*, м/с³**	**Δ*t*, мин**
1.	$x(t) = A + B\cdot t + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	1,5	10	50	1,5	0,0008	35
2.	$x(t) = B\cdot t + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	2,0	-	60	6	0,003	36
3.	$x(t) = A + B\cdot t - D\cdot t^3$	1,0	50	150	-	0,0001	23
4.	$x(t) = A - C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	2,2	-45	-	8	0,08	24
5.	$x(t) = -B\cdot t + C\cdot t^2 + D\cdot t^3$	2,2	-	-75	8	-0,005	28
6.	$x(t) = A + B\cdot t + D\cdot t^3$	2,3	150	120	-	-0,0008	24
7.	$x(t) = A + C\cdot t^2 + D\cdot t^3$	1,8	125	-	7	-0.005	25
8.	$x(t) = -A + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	3,2	-35	-	8	0,006	24
9.	$x(t) = A - B\cdot t + D\cdot t^3$	3,5	350	-125	-	-0.00008	18
10.	$x(t) = A + B\cdot t + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	1,3	15	65	3	0,002	33
11.	$x(t) = B\cdot t + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	1,8	-	50	3	0,002	32
12.	$x(t) = A + B\cdot t - D\cdot t^3$	1,2	35	150	-	0,00015	24
13.	$x(t) = A - C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	3,2	55	-	-135	0,1	25
14.	$x(t) = -B\cdot t + C\cdot t^2 + D\cdot t^3$	2,5	-	-65	15	-0,01	26
15.	$x(t) = A + B\cdot t + D\cdot t^3$	2,15	35	105	-	-0,00005	23
16.	$x(t) = A + C\cdot t^2 + D\cdot t^3$	1,95	95	-	5	-0.003	30
17.	$x(t) = -A + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	3,20	-45	-	12	0,008	24
18.	$x(t) = A - B\cdot t + D\cdot t^3$	1,95	200	-165	-	-0,0001	25
19.	$x(t) = A + B\cdot t + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	1,5	10	50	1,5	0,0008	35
20.	$x(t) = B\cdot t + C\cdot t^2 - D\cdot t^3$	2,0	-	60	6	0,003	36

21.	$x(t) = A + B \cdot t - D \cdot t^3$	1,0	50	150	-	0,0001	23
22.	$x(t) = A - C \cdot t^2 - D \cdot t^3$	2,2	-45	-	8	0,08	24
23.	$x(t) = -B \cdot t + C \cdot t^2 + D \cdot t^3$	2,2	-	-75	8	-0,005	28

Зависимости для построения графиков.

Таблица 1.2.2

Вариант	$x(t)$	$S(t)$	$\upsilon(t)$	$\upsilon_x(t)$	$A(t)$	$N(t)$
1.	+		+		+	
2.		+		+		+
3.	+		+		+	
4.		+		+		+
5.	+		+		+	
6.		+		+		+
7.	+		+		+	
8.		+		+		+
9.	+		+		+	
10.		+		+		+
11.	+		+		+	
12.		+		+		+
13.	+		+		+	
14.		+		+		+
15.	+		+		+	
16.		+		+		+
17.	+		+		+	
18.		+		+		+
19.	+		+		+	
20.		+		+		+
21.	+		+		+	
22.		+		+		+
23.	+		+		+	

Задание 1.3
Тема: *Динамика вращательного движения*
Формулировка задания.
Тело массой $\boldsymbol{m}$ вращается без начальной скорости вокруг своей оси. На тело действует пара сил с величиной момента $\boldsymbol{M}$ и момент сопротивления, модуль которого является функцией угловой скорости $\boldsymbol{M_{сопр.}}$= f(ω). Сколько оборотов сделает тело до того, как его угловая скорость станет равной $\boldsymbol{\omega}$?

Значения параметров по вариантам.

Таблица 1.2

Вариант	Тело	***R***, (***l***) м	***m***, кг	***M***, Дж	$M_{сопр}$	***k***, кг·м^2	***ω***, рад/с
1.	Полый цилиндр	0,50	400	23,0	$k\cdot\omega^2$	2,32	3,00
2.	Сплошной цилиндр	0,30	500	21,0	$k\cdot\omega$	2,10	2,50
3.	Шар	0,45	350	23,5	$k\cdot\omega$	2,55	2,89
4.	Диск	0,75	560	21,5	$k\cdot\omega^2$	2,42	3,21
5.	Обруч	0,46	455	24,0	$k\cdot\omega^2$	2,33	3,11
6.	Стержень (ось проходит через середину стержня)	0,55	550	23,7	$k\cdot\omega$	2,55	2,75
7.	Стержень (ось проходит через конец стержня)	0,65	750	23,4	$k\cdot\omega$	2,42	2,55
8.	Полый цилиндр	0,45	580	21,8	$k\cdot\omega$	2,22	3,05
9.	Шар	0,55	850	24,3	$k\cdot\omega^2$	2,65	3,19
10.	Обруч	0,58	655	23,0	$k\cdot\omega^2$	2,53	3,56
11.	Полый цилиндр	0,45	450	22,5	$k\cdot\omega^2$	2,12	3,10
12.	Сплошной цилиндр	0,35	550	21,5	$k\cdot\omega$	2,15	2,50
13.	Стержень (ось проходит через середину стержня)	0,55	350	22,7	$k\cdot\omega$	2,55	3,05
14.	Стержень (ось проходит через конец стержня)	0,65	750	23,4	$k\cdot\omega$	2,42	2,55
15.	Полый цилиндр	0,45	580	21,9	$k\cdot\omega$	2,52	3,05
16.	Шар	0,35	850	24,3	$k\cdot\omega^2$	3,55	3,19
17.	Обруч	0,58	755	23,0	$k\cdot\omega^2$	2,53	3,56
18.	Шар	0,48	380	25,5	$k\cdot\omega$	2,35	2,85
19.	Диск	0,75	540	22,5	$k\cdot\omega^2$	2,32	2,81
20.	Обруч	0,46	455	24,0	$k\cdot\omega^2$	2,33	3,21
21.	Стержень (ось проходит через конец стержня)	0,65	750	23,4	$k\cdot\omega$	2,42	2,55
22.	Полый цилиндр	0,45	580	21,9	$k\cdot\omega$	2,52	3,05
23.	Шар	0,45	750	24,3	$k\cdot\omega^2$	3,35	3,29
24.	Стержень (ось проходит через конец стержня)	0,65	850	21,4	$k\cdot\omega$	2,32	2,55
25.	Обруч	0,56	555	24,5	$k\cdot\omega^2$	2,35	3,15

Задание 1.4
Тема: ***Вязкость.***
Формулировка задания.

Шар радиусом **R** и массой **m** и плотностью $\rho_т$ без начальной скорости погружается в среде, плотность которой **ρ.** Найти закон движения шара, считая, что сила сопротивления жидкости является функцией скорости погружения т.е.
F_c = **f(v)**. Максимальная скорость шара **Vмах**. Определить константу **k**. Построить график зависимости скорости от времени **v= f(t)**

Значение параметров по вариантам

Таблица 1.4

Вариант	Параметр / Материал шара	**R**	**f(v)**	$\rho_т$	**Vмах**	ρ
		мм	Н	кг/м^3	м/с	кг/м^3
1.	Медь	4	$\mathbf{k\,v^2}$	8930	0,3/с.	900
2.	Свинец	2.	$\mathbf{k\,v}$	11300	0,4м/с	1200
3.	Алюминий	2.5	$\mathbf{k\,v^2}$	2700	0,5 м/с	800
4.	Железо	3	$\mathbf{k\,v}$	7870	0,1 м/с	1000
5.	Платина	1.5	$\mathbf{k\,v^2}$	13600	0,05 м/с	1100
6.	Медь	4	$\mathbf{k\,v^2}$	8930	0,3/с.	900
7.	Свинец	2.	$\mathbf{k\,v}$	11300	0,4м/с	1200
8.	Алюминий	2.5	$\mathbf{k\,v^2}$	2700	0,5 м/с	800
9.	Железо	3	$\mathbf{k\,v}$	7870	0,1 м/с	1000
10.	Платина	1.5	$\mathbf{k\,v^2}$	13600	0,05 м/с	1100
11.	Медь	4	$\mathbf{k\,v^2}$	8930	0,3/с.	900
12.	Свинец	2.	$\mathbf{k\,v}$	11300	0,4м/с	1200
13.	Алюминий	2.5	$\mathbf{k\,v^2}$	2700	0,5 м/с	800
14.	Железо	3	$\mathbf{k\,v}$	7870	0,1 м/с	1000
15.	Платина	1.5	$\mathbf{k\,v^2}$	13600	0,05 м/с	1100
16.	Медь	4	$\mathbf{k\,v^2}$	8930	0,3/с.	900
17.	Свинец	2.	$\mathbf{k\,v}$	11300	0,4м/с	1200
18.	Алюминий	2.5	$\mathbf{k\,v^2}$	2700	0,5 м/с	800
19.	Железо	3	$\mathbf{k\,v}$	7870	0,1 м/с	1000
20.	Платина	1.5	$\mathbf{k\,v^2}$	13600	0,05 м/с	1100
21.	Медь	4	$\mathbf{k\,v^2}$	8930	0,3/с.	900
22.	Свинец	2.	$\mathbf{k\,v}$	11300	0,4м/с	1200
23.	Алюминий	2.5	$\mathbf{k\,v^2}$	2700	0,5 м/с	800
24.	Железо	3	$\mathbf{k\,v}$	7870	0,1 м/с	1000
25.	Платина	1.5	$\mathbf{k\,v^2}$	13600	0,05 м/с	1100

Раздел 2. Молекулярная физика и термодинамика.

Основные формулы и теоретические сведения

Состояние термодинамической системы

Термодинамической системой называется совокупность макроскопических тел, которые могут обмениваться между собой и с другими телами (внешней средой) энергией и веществом. В частности, система может состоять из одного тела в твердом, жидком или газообразном состоянии. Каждое макроскопическое тело состоит из совокупности огромного числа структурных частиц (атомов и молекул). Поэтому описание *микросостояния* такой системы с подробным перечислением физических характеристик каждой составляющей ее частицы нереально и бесполезно.

Вместо этого в термодинамике для описания *макроскопического состояния* вещества используют физические величины, которые характеризуют свойства системы в большом масштабе. Это давление p, объем V, температура T, концентрация частиц n, масса тела m и т.п. Такие величины называются *макропараметрами,* или *термодинамическими параметрами.* Макропараметры принято делить на *внешние,* которые задают внешние условия для системы, и *внутренние,* которые описывают поведение системы во внешних условиях. Некоторые внутренние макропараметры связаны с количеством и свойствами молекул системы.

Любая термодинамическая система независимо от начального состояния в заданных внешних условиях самопроизвольно переходит в единственное макросостояние, в котором она может находиться, пока не изменятся внешние условия. Это состояние называется *равновесным.* Функциональная зависимость между внутренними и внешними макропараметрами при равновесии называется *уравнением состояния.*

Задачи по данной теме можно разделить на две группы. К первой группе относятся задачи, в которых используется или устанавливается связь между макропараметром и количеством или свойствами отдельных молекул. Простейший пример: масса вещества равна сумме масс отдельных молекул $m = Nm_1$. Для решения подобных задач достаточно использовать взаимосвязь между различными способами описания количества вещества. Так, одному *молю* вещества (ν = 1 моль) соответствует:

масса вещества, равная *молярной массе* M,

или

объем, равный *молярному объему* V_M,

или

количество молекул, равное *числу Авогадро* N_A, т.е.

1 моль, или M кг/моль, или V_M м^3/моль, или N_A 1/моль.

Поэтому любое другое количество вещества можно выразить через пропорциональные величины ν, m, V, N:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} = \frac{V}{V_m}. \quad \textbf{(1)}$$

Ко второй группе относятся задачи, в которых используются уравнения состояния. Например, для идеальных газов уравнение состояния имеет вид

$$p = nkT. \quad \textbf{(2)}$$

где $k = 1{,}38\cdot 10^{23}$,Дж/К - постоянная Больцмана. Его можно записать в другой форме:

$$pV = \nu RT. \quad \textbf{(3)}$$

где R = 8,31 Дж/(моль*К). Это уравнение называется уравнением Клапейрона — Менделеева.

Первое начало термодинамики.

Основные теоретические сведения

В термодинамике, как и в других разделах физики, одним из основных параметров системы является энергия. В отличие от механики здесь рассматривает *внутренняя энергия* системы, т.е. все виды энергии системы без учета потенциальной энергии взаимодействия системы с другими системами и кинетической энергии движения всей системы как целого. Таким образом, внутренняя энергия U системы слагается из кинетической энергии движения отдельных молекул, потенциальной энергии взаимодействия между молекулами и внутримолекулярной энергии. В формулы термодинамики всегда входит изменение внутренней энергии ΔU системы в процессе перехода из одного ее состояния в другое. Для его расчета используется *первое начало термодинамики*, которое выражает закон сохранения энергии в макроскопических процессах и записывается в виде

$$\Delta U = Q - A \qquad (1)$$

где Q – полученное системой *количество теплоты*, A – совершаемая системой *работа*. Если система отдает количество теплоты или работа совершается над системой, то знак у соответствующей величины нужно поменять на противоположный.

При нагревании вещества системы от одного состояния 1 до другого 2 полученное количество теплоты можно рассчитать по формуле

$$Q = m\int\limits_{1-2} c dT = \nu \int\limits_{1-2} C_м dT \qquad (2)$$

где c - *удельная теплоемкость* вещества, $C_м$ - его *молярная теплоемкость.* В большинстве задач значения c и $C_м$ можно считать не зависящими от температуры и выносить их за знак интеграла. При этом необходимо учитывать, что количество теплоты и, соответственно, значения теплоемкостей зависят от типа процесса 1-2. Если теплообмен идет при постоянном давлении (*изобарический* процесс) или постоянном объеме (*изохорический* процесс), то разность соответствующих молярных теплоемкостей C_p и C_v определяется по *уравнению Майера*

$$C_p - C_v = R \qquad (3)$$

Работа, совершаемая газом в процессе 1-2, вычисляется по формуле

$$A = \int\limits_{1-2} p dV \qquad (4)$$

Полученная при интегрировании работа также зависит от типа процесса 1 – 2 (*см. рис. 1*). На графике процесса в координатах p – V работа численно равна площади криволинейной трапеции под линией процесса (на рис. 1 серый участок).

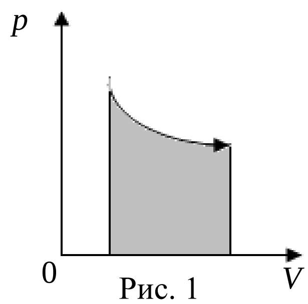

Рис. 1

Расчет существенно облегчается, если удается использовать уравнение соответствующего процесса. Например, при постоянстве температуры (*изотермический* процесс) можно воспользоваться уравнением Бойля – Мариотта $pV = p_1V_1$, где p_1 и V_1 – параметры одного из состояний. Если же процесс идет без теплообмена, то удобно применить одно из *уравнений адиабаты:*

$$pV^{\gamma} = p_1V_1^{\gamma} \quad или \quad TV^{\gamma-1} = T_1V_1^{\gamma-1} \qquad (5)$$

где показатель адиабаты

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V} \succ 1 \qquad (6)$$

Например, если состояние 1 является начальным, а состояние 2 конечным, то работа при адиабатическом процессе

$$A=\int\limits_{1-2} pdV = p_1V_1^\gamma \int\limits_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V^\gamma} dV = \frac{p_1V_1^\gamma}{1-\gamma}\left(\frac{1}{V_2^{\gamma-1}}-\frac{1}{V_1^{\gamma-1}}\right).$$

Вычисление работы при изобарическом и изотермическом процессах выполнено с примере ***A***. Из формулы (***4)*** следует, что работа при изохорическом процессе (*V=const*) равна нулю. Тогда первое начало термодинамики (***1)*** можно переписать в виде

$$\vartriangle U = Q = \nu\int\limits_{1-2} C_V dT = \nu C_V \vartriangle T \qquad (7)$$

Используя уравнения (***3)*** и (***6)***, получим формулы, полезные при решении задач:

$$C_p=\frac{\gamma}{\gamma-1}R \quad и \quad C_V=\frac{1}{\gamma-1}R. \qquad (8)$$

Решение задач целесообразно начинать с построения графика процесса. При этом наиболее удобно использовать *pV*-диаграмму.

Задания для расчётно - графических работ

Задание 2.1
Тема: ***термодинамические циклы.***

Формулировка задания.

1. Идеальный газ совершает цикл *a-b-c-d-a*, состоящий из чередующихся процессов, указанных в таблице ***2.1*** в соответствии с номерами варианта. Постройте цикл в координатах $p - V$ и определите для одного из процессов величину, указанную в последнем столбце таблицы ***2.1*** .

Дано: масса газа $m = 1$ г, $p_1 = 0{,}2$ МПа, $p_2 = 0{,}1$ МПа, $p_3 = 0{,}15$ МПа, $V_1 = 1$ л, $V_2 = 2$ л.

Для всех участков цикла укажите знак изменения внутренней энергии и определите: получает или отдает газ тепло; совершает газ работу или работа совершается над газом.

Примечания: 1) символы $d{=}a$ обозначают отсутствие процесса $d \to a$, т.е. точки d и a совпадают; 2) символы типа $p_1 = const$, $T = const$ и т.п. обозначают изопроцессы (в данном примере – изобарный $p_1 = 0{,}2$ МПа и изотермический процессы); 3) запись $Q = 0$ обозначает адиабатический процесс.

Значения параметров по вариантам.

Таблица 2.1

Номер задачи	Газ	Параметры	Вид процесса				Найдите
			$a \to b$	$b \to c$	$c \to d$	$d \to a$	
1	H_2O	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2$	$p = const$	$T = const$	$p = const$	$Q=0$	$A_{d \to a}$
2	O_2	$V_a = V_1,\ V_b = V_2, V_c = V_1,\ p_b = p_2$	$T = const$	$p = const$	$V = const$	$d = a$	$Q_{c \to d}$
3	CO_2	$p_c = p_2,\ p_a = p_1,\ V_b = V_2$	$p = const$	$V = const$	$T = const$	$d = a$	$Q_{a \to b}$
4	CH_4	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2$	$p = const$	$T = const$	$p = const$	$T = const$	$Q_{c \to d}$
5	H_2	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2$	$p = const$	$Q=0$	$p = const$	$Q=0$	$A_{b \to c}$
6	NO	$p_a = p_1,\ p_d = p_2,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$T = const$	$V = const$	$T = const$	$V = const$	$Q_{b \to c}$
7	N_2	$p_a = p_1,\ p_b = p_2,\ V_c = V_1$	$Q=0$	$T = const$	$V = const$	$d = a$	$A_{a \to b}$
8	C_2H_6	$p_b = p_1,\ p_c = p_2,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$Q=0$	$V = const$	$Q=0$	$V = const$	$Q_{b \to c}$
9	Ne	$p_a = p_1,\ p_b = p_2,\ V_b = V_2$	$T = const$	$V = const$	$Q=0$	$d = a$	$A_{c \to d}$
10	H_2	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_b = p_2$	$T = const$	$p = const$	$Q=0$	$d = a$	$Q_{b \to c}$
11	N_2O	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_a = p_1$	$p = const$	$Q=0$	$T = const$	$d = a$	$A_{b \to c}$
12	CO_2	$V_b = V_2,\ p_b = p_2, V_c = V_1,$	$Q=0$	$p = const$	$V = const$	$d = a$	$A_{a \to b}$
13	O_2	$V_a = V_1,\quad p_a = p_1, V_b = V_2$	$p = const$	$V = const$	$Q=0$	$d = a$	$Q_{b \to c}$
14	H_2O	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2$	$p = const$	$Q=0$	$p = const$	$T = const$	$Q_{c \to d}$
15	C_2H_4	$p_b = p_1,\ p_c = p_2,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$Q=0$	$V = const$	$T = const$	$V = const$	$Q_{d \to a}$
16	N_2	$p_a = p_1,\ p_d = p_2,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$T = const$	$V = const$	$Q=0$	$V = const$	$A_{c \to d}$
17	NH_3	$V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2, V_d = V_1,$	$p = const$	$T = const$	$p = const$	$V = const$	$Q_{c \to d}$
18	H_2	$p_b = p_1,\ p_c = p_2,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$T = const$	$V = const$	$p = const$	$V = const$	$Q_{b \to c}$
19	Ar	$V_a = V_1,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2, V_b = V_2$	$p = const$	$V = const$	$p = const$	$Q=0$	$A_{d \to a}$
20	CH_4	$V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_2, V_d = V_1$	$p = const$	$Q=0$	$p = const$	$V = const$	$Q_{d \to a}$
21	H_2O	$p_b = p_1,\ p_c = p_2,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$Q=0$	$V = const$	$p = const$	$V = const$	$A_{a \to b}$
22	O_2	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_a = p_1,\ p_c = p_3$	$p = const$	$V = const$	$p = const$	$T = const$	$Q_{b \to c}$
23	C_2H_6	$V_a = V_1,\ V_b = V_2,\ p_c = p_2,\ p_a = 2p_1$	$p = const$	$V = const$	$Q=0$	$V = const$	$A_{c \to d}$
24	NH_3	$p_c = p_2,\ p_a = 2p_1,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$p = const$	$V = const$	$Q=0$	$V = const$	$Q_{b \to c}$
25	He	$p_c = p_2,\ p_a = 2p_1,\ V_b = V_2, V_d = V_1$	$p = const$	$V = const$	$T = const$	$V = const$	$Q_{c \to d}$

Приложение

I. ***Справочные данные***

Константы	
число π	$\pi = 3{,}14$
ускорение свободного падения на Земле	$g = 10$ м/с^2
гравитационная постоянная	$G = 6{,}7\cdot10^{-11}$ Н·м^2/кг^2
газовая постоянная	$R = 8{,}31$ Дж/(моль·К)
постоянная Больцмана	$k = 1{,}38\cdot10^{-23}$ Дж/К
постоянная Авогадро	$N_A = 6\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$
скорость света в вакууме	$c = 3\cdot10^8$ м/с
коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\cdot10^9$ Н·м^2/Кл^2
элементарный заряд	$e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ Кл
постоянная Планка	$h = 6{,}6\cdot10^{-34}$ Дж·с

Соотношение между различными единицами	
температура	0 К = – 273,15°С
атомная единица массы	1 а.е.м. = $1{,}66\cdot10^{-27}$ кг
1 атомная единица массы эквивалентна	931,5 МэВ
1 электронвольт	1 эВ = $1{,}6\cdot10^{-19}$ Дж

Масса частиц	
электрона	$9{,}1\cdot10^{-31}$кг ≈ $5{,}5\cdot10^{-4}$ а.е.м.
протона	$1{,}673\cdot10^{-27}$ кг ≈ 1,007 а.е.м.
нейтрона	$1{,}675\cdot10^{-27}$ кг ≈ 1,008 а.е.м.

Плотность			
воды	1000 кг/м^3	алюминия	2700 кг/м^3
древесины (сосна)	400 кг/м^3	меди	8900 кг/м^3
парафина	900 кг/м^3	ртути	13600 кг/м^3

Удельная	
теплоемкость воды	$4{,}2\cdot10^3$ Дж/(кг·К)
теплоемкость алюминия	900 Дж/(кг·К)
теплоемкость железа	640 Дж/(кг·К)
теплоемкость меди	380 Дж/(кг·К)
теплоемкость свинца	130 Дж/(кг·К)
теплота парообразования воды	$2{,}3\cdot10^6$ Дж/кг
теплота плавления свинца	$2{,}5\cdot10^4$ Дж/кг
теплота плавления льда	$3{,}3\cdot10^5$ Дж/кг
Нормальные условия давление 10^5 Па, температура 0°С	

Молярная масса			
азота	$28\cdot10^{-3}$ кг/моль	кислорода	$32\cdot10^{-3}$ кг/моль
аргона	$40\cdot10^{-3}$ кг/моль	лития	$6\cdot10^{-3}$ кг/моль
водорода	$2\cdot10^{-3}$ кг/моль	молибдена	$96\cdot10^{-3}$ кг/моль
воздуха	$29\cdot10^{-3}$ кг/моль	неона	$20\cdot10^{-3}$ кг/моль
гелия	$4\cdot10^{-3}$ кг/моль	глекислого газа	$44\cdot10^{-3}$ кг/моль

Десятичные приставки

Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	10^{9}
мега	М	10^{6}
кило	к	10^{3}
гекто	г	10^{2}
деци	д	10^{-1}
санти	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}
санти	с	10^{-2}

II. ***Рекомендации к решению задач и содержанию очёта по расчётно – графическому заданию.***

При решении задач необходимо:

- выполнить рисунок или начертить схему (если это требуется для решения);
- сопровождать применяемые формулы и законы пояснениями, мотивирующими решение;
- представить результат в общем виде, т.е. преобразовать выражение для определяемой величины так, чтобы в него входили лишь буквенные обозначения величин, заданных в условии задачи, и необходимые физические константы;
- проверить размерность полученного результата;
- выполнить необходимые вычисления и представить результат в Международной системе единиц ;
- построить графики (если необходимо);
- сформулировать полный ответ в соответствии с вопросом задачи.

При выполнении расчётно-графических работ по общей физике рекомендуется оформить отчёт следующего содержания:

I. Титул в соответствии с требованиями вуза.

II. Задание в соответствии с вариантом.

III. Краткое теоретическое содержание:

1. Явление изучаемое в РГР.
2. Определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин.

3. Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы.
4. Пояснение к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерения.

IV. Решение поставленных задач:
1. Рисунок (если необходимо для решения)
2. Обоснование применения законов, уравнений и соотношений, используемых при решении.
3. Вывод формул для определяемых физических величин.
4. Проверка размерности величин, полученных в результате решения.
5. Вычисления.

V. Графический материал:
1. Таблицы (если необходимо для построения графиков).
2. График полученной зависимости.

При этом следует указать аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить и
на осях координат указать масштаб, физические величины и единицы измерения.

VI. Анализ и выводы по результатам работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Калашников Н.П.* Основы физики. М.: Дрофа, 2004. Т. 1
2. *Савельев И.В*. Курс физики. М.: Наука, 1998. Т. 2.
3. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики. М.: Высшая школа, 2000.
4. *Иродов И.Е* Электромагнетизм. М.: Бином, 2006.
5. *Яворский Б.М., Детлаф А.А.* Справочник по физике. М.: Наука, 1998.