МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ
МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ

АКАДЕМИЧЕСКИЙ ЛИЦЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ИМЕНИ МУХАММАДА АЛЬ-ХОРАЗМИЙ

КАФЕДРА ФИЗИКИ

**Сборник задач и методическое пособие
к практическим занятиям по физике
для учащихся лицеев**

МЕХАНИКА. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

ЧАСТЬ I

Ташкент - 2023

Ташкентский университет информационных технологий
имени Мухаммада аль - Хоразмий, 2023

Академический лицей при Ташкентском университете
информационных технологий
имени Мухаммада аль - Хоразмий, 2023

**Авторы: Мухамедаминова Л.М., Туляганова Ш.А.
Ибoтов У.Н.**

Механика. Молекулярная физика. Электростатика. Часть 1. Сборник задач по физике. - Ташкент: ТУИТ имени Мухаммада аль-Хоразмий. 2023 г. - стр. 94

Данное методическое пособие составлено в соответствии с программой курса общей физики и содержит задачи, распределенные по разделам: Механика. Молекулярная физика. Электростатика. По каждому разделу подобраны порядка несколько сот задач.

Данное методическое пособие предназначено для учащихся первого курса лицеев технического направления.

Для самостоятельной подготовки по каждой теме приведены формулы и примеры для решения задач.

Рассмотрен на научно-педагогическом совете академического лицея при ТУИТ и рекомендован к публикации. (Протокол №8/1 от 01.03.2023 г.).

Рекомендовано к публикации на заседании совета ТУИТ имени Мухаммада аль - Хоразмий (протокол №8(165) 26.04.2023 г).

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

Знание законов физики предполагает умение не только формулировать эти законы, но и применять их при решении конкретных практических задач. Умение решать задачи способствует приобщению учащихся к самостоятельной творческой работе, учит анализировать изучаемые явления, выделять главные факторы, их обусловившие. Наибольшую пользу приносит процесс решения задач при условии самостоятельности этого процесса, которую и призвано обеспечить данное методическое руководство. Оно составлено в соответствии с программой курса общей физики и содержит задачи, распределенные по разделам курса физики, рассматриваемым в первом семестре. По каждой теме подобрано порядка сотен задач. Перед каждой темой даются краткие методические указания и рекомендации к решению задач, рассматриваются примеры решения задач соответственно в пределах каждой темы. Сознательное решение задач возможно при условии усвоения соответствующего теоретического материала. Пользуясь данным пособием, учащийся должен:

- целенаправленно, по формулам и указанной литературе, изучить предлагаемый раздел;

- самостоятельно, опираясь на изученную теорию, методические указания и примеры, выполнить домашнее задание в соответствии с указанным учителем вариантом. При решении задач целесообразно руководствоваться следующими правилами:

1. Прежде всего, внимательно прочесть условие, вникнуть в него. Если характер задачи позволяет, обязательно сделать пояснительный рисунок.

2. Произвести анализ задачи, выяснить, о каких объектах или процессах идет речь, какие величины его определяют, каким физическим закономерностям подчиняются рассматриваемые явления.

3. Выбрать оптимальный метод решения задачи.

4. Решение задачи проводить сначала в общем виде, при этом искомая величина должна быть выражена через заданные в условии величины.

5. Подстановка числовых данных должна производиться в одной системе единиц - системе СИ.

6. В конце решения производиться проверка соответствия единиц измерения.

7. При оформлении домашнего задания используемые законы и формулы должны быть кратко, но исчерпывающе пояснены.

1. ПОЛЕЗНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ

1.1. Алгебра

Формулы сокращенного умножения и разложения на множители:

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2 \text{ (квадрат суммы)}$$
$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2 \text{ (квадрат разности)}$$
$$(a+b)(a-b) = a^2 - b^2.$$

Дроби:

Величина дроби не изменяется, если числитель и знаменатель умножить (или разделить) на одно и то же число

$$\frac{A}{B} = \frac{A_m}{B_m}; \quad \frac{A}{B} = \frac{A/m}{B/m}.$$

При сложении и вычитании дробей их приводят к общему знаменателю и производят сложение или вычитание числителей, подписывая общий знаменатель

$$\frac{a}{b} \pm \frac{c}{d} = \frac{ad \pm bc}{bd}.$$

Умножение и деление дробей происходит по схеме

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c}{d} = \frac{ac}{bd}; \qquad \frac{a}{b} : \frac{c}{d} = \frac{ad}{b \cdot c}.$$

Пропорции:

Основное свойство пропорции $a : b = c : d$ заключается в том, что произведение крайних членов пропорции равно произведению ее средних членов, а именно $ad = bc$.

Возведение в степень n числа a имеет вид $a^n = a \cdot a \cdot \ldots \cdot a$ (произведение n одинаковых множителей).

Действия со степенями и корнями:

$$(abc \ldots)^n = a^n \cdot b^n \cdot c^n \ldots; \qquad \left(\frac{a}{b}\right)^n = \frac{a^n}{b^n};$$

$$a^m \cdot a^n = a^{m+n}; \qquad a^m : a^n = a^{m-n};$$

$$(a^m)^n = a^{mn}; \qquad \sqrt[n]{abc} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} \cdot \sqrt[n]{c};$$

$$a^1 = a; \qquad a^0 = 1;$$

$$a^{-n} = \frac{1}{a^n}; \qquad a^{\frac{m}{n}} = \sqrt[n]{a^m}.$$

Формулы решения квадратных уравнений:

$$ax^2 + bx + c = 0 \qquad x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a},$$

или в приведенной форме

$$x^2 + px + q = 0 \to x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}.$$

Правила логарифмирования:

$$log(ab) = log\, a + log\, b, \qquad log\left(\frac{a}{b}\right) = log\, a - log\, b;$$

$$log\, a^n = n\, log\, a, \qquad log\sqrt[n]{a} = \frac{1}{n} log\, a.$$

Производные:

$(a)' = 0$, где a - постоянная величина.

Производная независимой переменной: $(x)' = 1$.

Производная линейной функции: $(ax + b)' = a$.

Производная степенной функции: $(x^n)' = nx^{n-1}$.

Производная сложной функции: $f = z[y(x)]$ имеет вид:

$$\frac{dz}{dx} = \frac{dz}{dy} \cdot \frac{dy}{dx}.$$

Производная произведения двух функций вычисляется как

$$[u(x) \cdot v(x)]' = u \cdot v' + v \cdot u'.$$

Производные тригонометрических функций:

$$(\sin x)' = \cos x, \qquad (\cos x)' = -\sin x,$$

$$(tg\, x)' = \frac{1}{cos^2 x}, \qquad (ctg\, x)' = -\frac{1}{sin^2 x}.$$

1.2. Геометрия и элементы векторной алгебры

1.2.1. Векторы

Любой вектор, например $\vec{a}$, характеризуется модулем $|\vec{a}|$ и направлением.

Сумма двух векторов, исходящих из одной точки, равна вектору, который направлен вдоль диагонали параллелограмма, построенного на суммируемых векторах, как на сторонах этого параллелограмма, и равен по модулю длине этой диагонали (рис. 1). Если один из векторов перенести параллельно так, чтобы он исходил из конца второго вектора, то построение параллелограмма можно заменить построением треугольника (рис. 2).

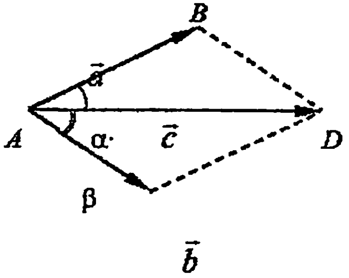


рис. 1

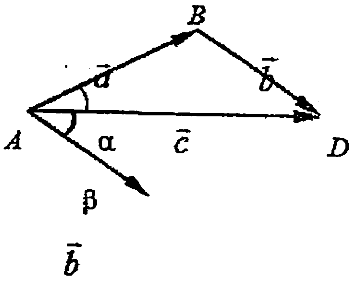


рис. 2

Таким образом, $\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}$ или $|\vec{c}| = AB\cos\alpha + AC\cos\beta$.

Скалярное произведение двух векторов, например, $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, представляет собой скалярную величину, равную произведению модулей этих векторов на косинус угла между ними

$$\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2 = |\vec{F}_1| \cdot |\vec{F}_2| cos\left(\widehat{\vec{F}_1\vec{F}_2}\right)$$

Скалярное произведение - это операция над двумя векторами, результатом которой является скаляр, то есть число, которое не зависит от выбора системы координат. При умножении вектора на вектор получается число. Если длины векторов $|\vec{F}_1|, |\vec{F}_2|$ это числа, косинус угла - число, то скалярное произведение этих векторов можно найти по формуле $|\vec{F}_1| \cdot |\vec{F}_2| cos\left(\widehat{\vec{F}_1\vec{F}_2}\right)$

Векторное произведение двух векторов представляет собой вектор $\vec{F} = \vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2$, модуль которого численно равен площади параллелограмма, построенного на этих векторах:

$$|\vec{F}| = |\vec{F}_1 \, \mathrm{x} \, \vec{F}_2| = |\vec{F}_1| \cdot |\vec{F}_2| \sin\left(\widehat{\vec{F}_1\vec{F}_2}\right).$$

Линия действия этого вектора $\vec{F}$ перпендикулярна плоскости, в которой расположены два умножаемых вектора (рис. 3), а его направление определяется по так называемой правилой левой руки: если пальцы левой руки направить по первому вектору так, чтобы второй входил в ладонь, то отогнутый большой палец покажет направление векторного произведения (правило «левой руки»).

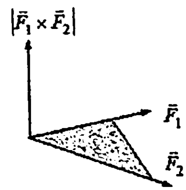


рис. 3

Определить направление векторного произведения $\vec{F} = \vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2$ можно также, пользуясь «правилом буравчика»: если буравчик вращать от первого вектора ко второму, то направление поступательного движения буравчика будет совпадать с направлением векторного произведения. Изменять порядок сомножителей в векторном произведении нельзя: вектор $\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2$ направлен в сторону, противоположную вектору $\vec{F}_1 \cdot \vec{F}_2$.

Разложение вектора на составляющие по двум направлениям проводят по правилу параллелограмма, в котором разлагаемый вектор представляет собой диагональ, а составляющие векторы являются сторонами создаваемого параллелограмма. В частном варианте разложения вектора по двум взаимно перпендикулярным направлениям, например, по координатным осям X и Y, параллелограмм превращается в прямоугольник (рис. 4).

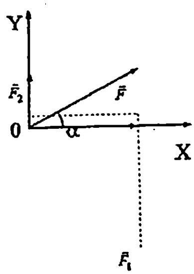


рис. 4

На этом рисунке $F_1 = F \cdot cos\alpha$ и $F_2 = F \cdot sin\alpha$ - модули составляющих векторов $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

Проекция вектора $\overrightarrow{AB}$ на какую либо ось, например X, представляет собой отрезок ab между проекциями на эту ось начала и конца вектора. Проекцией точки на какую-либо ось называют основание перпендикуляра, опущенного из этой точки на рассматриваемую ось. (рис. 5); $ab = AB \cdot cos\alpha$.

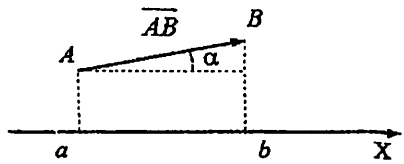


рис. 5

Если направление от проекции начала вектора (a) к проекции его конца (b) совпадает с заданным направлением оси, то проекция вектора считается положительной (рис. 5), если наоборот – отрицательной. Таким образом, проекция вектора на ось является скалярной величиной, математические действия с которой проводят алгебраически.

2. МЕХАНИКА.
(Кинематика. Динамика. Статика. Основные формулы)
2.1. Кинематика

Механика - раздел физики, изучающий механическое движение.

Механическое движение - это изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени.

Кинематика - раздел механики, изучающий геометрические характеристики механического движения.

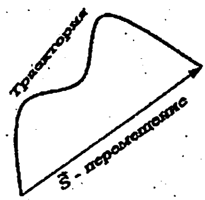


рис. 6

2.2. Основные понятия механического движения

Траектория - линия, которую описывает тело при своем движении.

Путь, S - длина траектории.

Перемещение, $\vec{S}$ - направленный отрезок (вектор), соединяющий начальное и конечное положения тела при его движении.

Если размеры тела намного меньше проходимого им пути, то размерами тела можно пренебречь и рассматривать его как ***материальную точку***.

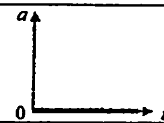
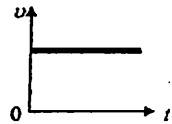
Механическое движение всегда рассматривают относительно некоторой системы отчета, которая позволяет определить характеристики этого движения.

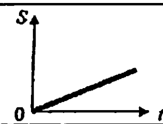
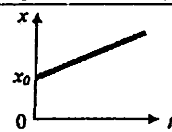
Систему отсчета образуют тело отсчета, связанная с ним прямоугольная система координат и прибор для измерения времени (часы).

Виды механического движения			
по виду траектории		по характеру движения	
прямолинейное	*криволинейное*	*равномерное* (с постоянной скоростью)	*равнопеременное* (с постоянным ускорением)

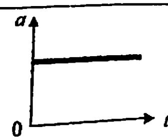
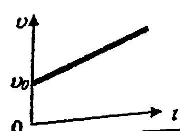
Физические величины, характеризующие механическое движение

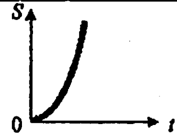
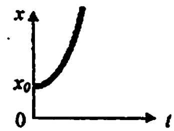
Прямолинейное равномерное движение

Физическая величина	Формула	График зависимости от времени
Ускорение, $\vec{a}$, (м/с^2)	$\vec{a} = 0,$ $a = 0$	
Скорость, $\vec{v}$, (м/с^2)	$\vec{v} = const, \quad \vec{v} = \dfrac{\vec{S}}{t},$ $v = \dfrac{S}{t}$	

Физическая величина	Формула	График зависимости от времени
Перемещение (путь), $\vec{S}$, (*м*)	$\vec{S} = \vec{v} \cdot t,$ $S = v \cdot t$	
Координата, x, (*м*)	$x = x_0 + v \cdot t$	

Прямолинейное равнопеременное движение

Физическая величина	Формула	График зависимости от времени
Ускорение, $\vec{a}$, (м/с^2)	$\vec{a} = 0, \quad \vec{a} = \dfrac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t},$ $a = \dfrac{v - v_0}{\Delta t}$	
Скорость, $\vec{v}$, (м/с^2)	$\vec{v} = const,$ $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a} \cdot t,$ $v = v_0 + a \cdot t$	

Физическая величина	Формула	График зависимости от времени
Перемещение (путь), $\vec{S}$, ($м$)	$\vec{S} = \vec{v}_0 \cdot t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2}$, $S = v \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$, $S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, $S = \frac{v_0 + v}{2} t$	
Координата, x, ($м$)	$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$, закон движения	

Средняя скорость движения - это величина, равная отношению пути, пройденного телом, ко времени, за которое пройден этот путь:

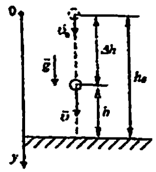
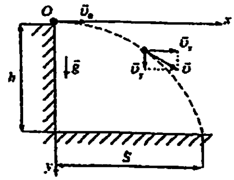
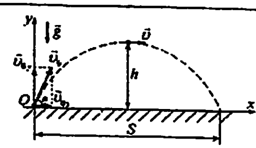
$$v_{ср} = \frac{S}{t}$$

$v_{ср}$ - средняя скорость движения; S - путь; t - время.

2.3. Движение в поле силы тяжести

Свободным падением называется движение, которое совершило бы тело только под действием силы тяжести без учета сопротивления воздуха.

Движение тела по вертикали	*Движение тела, брошенного гори - зонтально с некоторой высоты*	*Движение тела, брошенного под углом к горизонту*
При свободном падении тела с небольшой высоты h_0 от поверхности Земли с начальной скоростью v_0 оно движется с постоянным ускорением $g=9{,}8\ м/с^2$, направленным вертикально вниз. Для	Это движение можно разложить на два независимых движения: равномерное прямолинейное, происходящее в горизонтальном направлении со скоростью v_x, равной начальной скорости бросания v_0 ($v_x = v_0$), и свободное падение с высоты, на которой находилось тело в момент бросания, с ускорением g.	Данное движение также можно разложить на два независимых движения: равномерное прямолинейное, происходящее в горизонтальном направлении с начальной скоростью $v_{0x}=v_0 \cdot cos\alpha$ и свободное падение с начальной скоростью $v_{0y}=v_0 \cdot sin\alpha$, где α - угол между

описания этого движения выбирают вертикальную координатную ось *Oy*.	Для описания этого движения выбирают прямоугольную систему координат *xOy*. Траекторией движения является ветвь параболы.	направлениями вектора скорости v_0 и осью *Ox*. Траекторией такого движения является парабола.
		
Уравнение движения: $y = y_0 + v_0t + \frac{gt^2}{2}$ Путь, пройденный телом за время *t*: $\Delta h = v_0t + \frac{gt^2}{2}$ Скорость тела: $v = v_0 + gt$ $v = \sqrt{v_0^2 + 2g\cdot\Delta h}$ Время падения с высоты h_0 без начальной скорости ($v_0 = 0$): $t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}$	Уравнение движения: $x = x_0 + v_xt,\quad y = y_0 + \frac{gt^2}{2}$ Высота, с которой брошено тело: $h = \frac{gt^2}{2}.$ Дальность полета: $S = v_0t$ Скорость тела: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$ Время полета тела: $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$	Уравнения движения: $x = x_0 + v_xt,$ $y = y_0 + v_{0y} - \frac{gt^2}{2}$ Максимальная высота полета: $h = v_0y\frac{t}{2} - \frac{g}{2}\left(\frac{t}{2}\right)^2,$ $h = \frac{v_{0y}^2}{2g}$ Дальность полета: $S = v_{0x}t = \frac{v_0^2 sin2\alpha}{g}$ Скорость тела: $v = \sqrt{v_x^2+v_y^2},$ $v_x = v_{0x} = v_0 cos\alpha,$ $v_y = v_{0y} - gt,$ $v_{0y} = v_0 sin\alpha$ Время полета тела: $t = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 sin\alpha}{g}$

2.4. Относительность механического движения

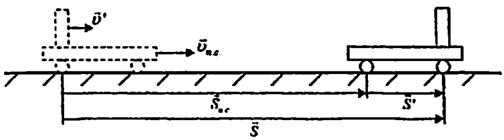


рис. 7

Относительность перемещения:

$$\vec{S} = \vec{S}_{п.с.} + \vec{S'}$$

$\vec{S}'$ - перемещение тела относительно подвижной системы отсчета (тележки);

$\vec{S}_{п.с.}$ - перемещение подвижной системы отчета (тележки) относительно неподвижной системы (земля);

$\vec{S}$ - перемещение тела относительно неподвижной системы отчета (земли).

Относительность скорости: $\vec{v} = \vec{v}_{п.с.} + \vec{v}'$

$\vec{v}'$ - скорость тела относительно подвижной системы отсчета (тележки);

$\vec{v}_{п.с.}$ - скорость подвижной системы отчета (тележки) относительно неподвижной системы (земля);

$\vec{v}$ - скорость тела относительно неподвижной системы отчета (земли).

2.5. Движение по окружности с постоянной скоростью

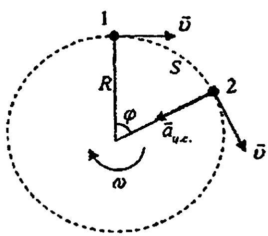


рис. 8

Период обращения тела T - время одного полного оборота.

$$T = \frac{t}{N}; \qquad [T] = 1\ c$$

Частота вращения ν - количество оборотов, совершенных за единицу времени.

$$\nu = \frac{N}{t}; \qquad \nu = \frac{1}{T}; \qquad [\nu] = 1\ c^{-1}$$

t - время, за которое тело совершило *N* полных оборотов.

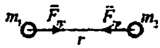
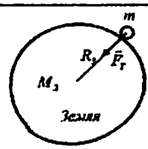
Линейные и угловые характеристики вращательного движения

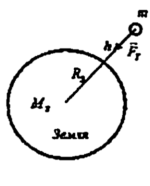
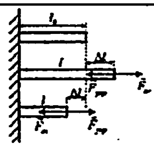
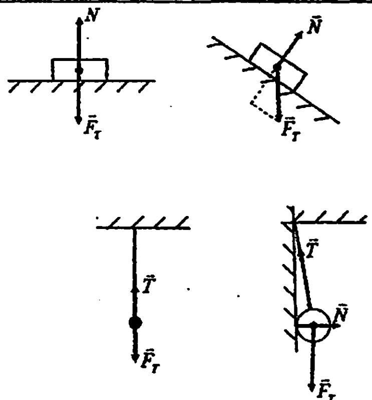
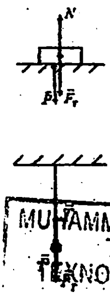
Линейные характеристики		Угловые характеристики		Соотношение между линейными и угловыми характеристиками
Физическая величина	**Формула**	**Физическая величина**	**Формула**	
Путь, пройденный по окружности, S, (*м*)	$S = v \cdot t$	Угол поворота, φ, (*рад*)	$\varphi = \omega \cdot t$	$S = \varphi \cdot R$, $\varphi = \dfrac{S}{R}$
Скорость движения по окружности, v, (*м/с*)	$v = \dfrac{S}{t} = \dfrac{2\pi R}{T}$ $v = 2\pi R\nu$	Угловая скорость, ω, (*рад/с*)	$\omega = \dfrac{\varphi}{t} = \dfrac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$	$v = \omega R$, $\omega = \dfrac{\varphi}{R}$

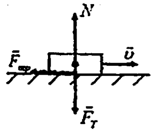
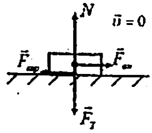
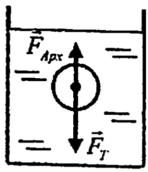
Центростремительное ускорение, $a_{ц.с.}$, направлено по радиусу окружности к ее центру и характеризует изменение направления скорости.

$$a_{ц.с.} = \frac{v^2}{R}; \qquad a_{ц.с.} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = 4\pi^2\nu^2 R$$

2.6. Силы в механике

№	Название силы	Между какими телами действует	Характеристика действия силы	Схема взаимодействия	Формула, закон
1	Гравитационная сила (сила всемирного тяготения), $F_{гр}$	Между телами обладающими массой	Тела притягиваются друг к другу (сила притяжения)		*Закон всемирного тяготения* $F_{гр} = G\dfrac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\dfrac{Н \cdot м^2}{кг^2}$
2	Сила тяжести (частный случай гравитационной силы), F_T	Между телом и Землей	Тело притягивается к Земле (сила притяжения)		*Сила тяжести на поверхности Земли* $F_T = G\dfrac{M_3 \cdot m}{R_3^2} = mg$ $g = G\dfrac{M_3}{R_3^2} = 9{,}81\ м/с^2$

					***Сила тяжести на высоте h от поверхности Земли*** $F_T = G\dfrac{M_з \cdot m}{(R_з + h)^2} = mg_{(h)}$ $g_{(h)} = G\dfrac{M_з}{(R_з + h)^2}$
3	Сила упругости, $F_{упр}$	Возникает в деформированном теле	Сила направлена в сторону противоположную деформации. *(Деформация- это изменение формы или объема тела)*		***Закон Гука*** $\vec{F}_{упр} = -k\Delta\vec{l}$, $F_{упр} = k\Delta l$, $\Delta l = \lvert l - l_0 \rvert$ абсолютная деформация (изменения длины тела), k - коэффициент упругости (жесткость)
4	Сила реакции опоры, N (сила натяжения нити, T) (частный случай силы упругости)	Возникает между телом и опорой (или подвесом)	Действует на тело со стороны опоры (или подвеса) и направлена перпендикулярно к опоре (или вдоль подвеса)		
5	Вес тела, P	Возникает между телом и опорой (или подвесом)	Действует на опору (или подвес) со стороны тела вследствие притяжения тела Землей. Направлена		***Вес тела*** $\vec{P} = -\vec{N}$ Вес тела в покое, при движении по горизонтали и вертикально без ускорения: $P=mg$ Вес тела, движущегося вертикально с ускорением

			противоположно силе реакции опоры (или силы натяжения нити)		вверх: $P=mg+ma=m(g+a)$ вниз: $P=mg-ma=m(g-a)$
6	Сила трения, $F_{тр}$	Возникает между движущимися относительно друг друга телами (или стремящимися к движению)	Направлена вдоль поверхности соприкосновения тел противоположно движению тела (или противоположно силе, стремящейся вызвать движение)		***Сила трения скольжения*** $F_{тр.скол} = \mu N$
					***Сила трения покоя*** $F_{тр.покоя} = F_{вн}$
7	Сила Архимеда (выталкивающая сила), F_A	Возникает между телом и жидкостью (или газом), при погружении тела в жидкость (или газ)	Действует на тело, погруженное в жидкость (или газ), и направлена вертикально вверх		***Сила Архимеда*** $F_{Арх} = \rho_{жид} g V_{тела}$

2.7. Динамика. Законы Ньютона

2.7.1. Первый закон Ньютона (закон инерции)

Существуют такие системы отсчета, относительно которых тело сохраняет свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, если на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсировано.

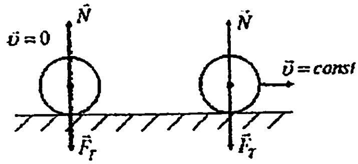


рис. 9

Инерциальная система отчета

Системы отсчета, относительно которых тело движется прямолинейно и равномерно или покоится, если на него не действуют другие тела или действие других тел скомпенсировано называют ***инерциальными системами отсчета***. (Другими словами, инерциальная система отсчета (ИСО) не обладает ускорением! $\vec{a} = 0$)

2.7.2. Второй закон Ньютона (закон движения)

Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

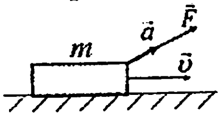


рис. 10

Если на тело ***действуют несколько сил***, то второй закон Ньютона звучит: векторная сумма всех сил, действующих на тело (равнодействующая сила), равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение.

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = m\vec{a} \quad \text{или} \quad \vec{R} = m\vec{a}$$

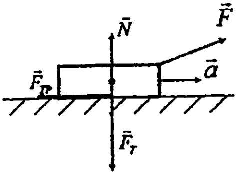


рис. 11

Для данного примера второй закона Ньютона записывается в виде:

$$\vec{F} + \vec{F}_T + \vec{N} + \vec{F}_{\text{Тр}} = m\vec{a}.$$

2.7.3. Третий закон Ньютона (закон взаимодействия)

Тела взаимодействуют между собой с силами, которые направлены вдоль прямой соединяющей эти тела, равны по модулю и противоположны по направлению.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

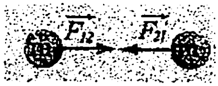


рис. 12

2.8. Импульс. Закон сохранения импульса

Импульс тела (количество движения) - это физическая векторная величина, равная произведению массы тела на его скорость. $\vec{p} = m\vec{v}$

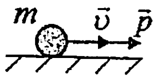


рис. 13

Единица измерения импульса: *[p] = 1 кг·м/с (килграмм·метр/секунда).*

Таким образом, тело обладает импульсом, когда движется.

Импульс тела может изменяться при воздействии на него нескомпенсированной силы.

Импульс тела может изменяться при воздействии на него нескомпенсированной силы.

При действии на тело постоянной силы импульс тела изменяется согласно формуле:

$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{\vec{p}_2 - \vec{p}_1}{\Delta t}$$

где $\vec{F}$ - постоянная сила, Δt - время действия силы, $\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$- изменение импульса тела.

Закон сохранения импульса: векторная сумма импульсов взаимодействующих тел, составляющих замкнутую систему, остается неизменной.

$$\sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = const$$

Закон сохранения импульса для замкнутой системы, состоящей из двух тел, имеет вид:

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_1' + \vec{p}_2'$$

или

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$$

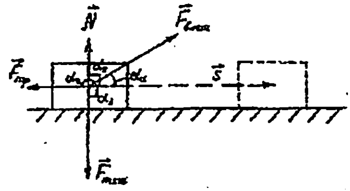


рис. 13

где $\vec{p}_1 = m_1\vec{v}_1$ и $\vec{p}_2 = m_2\vec{v}_2$ - импульсы первого и второго тела до взаимодействия, $\vec{p}_1' = m_1\vec{v}_1'$ и $\vec{p}_2' = m_2\vec{v}_2'$ - импульсы первого и второго тела после взаимодействия.

Замкнутой механической системой называется система тел, взаимодействующих только друг с другом и не взаимодействующих с другими телами.

2.9. Механическая работа и мощность

Механической работой A называют скалярную величину, равную произведению силы, перемещения тела и косинуса угла между направлением силы и перемещения: $A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$

Единица измерения работы: $[A] = 1$ *Дж* (*Джоуль*).

В зависимости от угла α механическая работа может быть:

1. *положительной:* $A > 0$, если $0 \leq \alpha < \frac{\pi}{2}$,
2. *равной нулю:* $A = 0$, если $\alpha = \frac{\pi}{2}$,
3. *отрицательной:* $A < 0$, если $\frac{\pi}{2} < \alpha \leq \pi$.

Пример (см. рисунок):

$A_{внеш} = F_{внеш} \cdot S \cdot cos\alpha_1 > 0$, $A_{реак.\ опоры} = F_{реак.\ опоры} \cdot S \cdot cos\alpha_2 = 0$,

$A_{тяж} = F_{тяж} \cdot S \cdot cos\alpha_3 = 0$, $A_{трен} = F_{трен} \cdot S \cdot cos\alpha_4 < 0$.

Механическая мощность N - это физическая скалярная величина, равна механической работе совершенной за единицу времени (за 1 с). $N = \frac{A}{\Delta t}$

Единица измерения мощности: $[N] = 1$ *Вт* (*Ватт*).

Если тело движется с постоянной скоростью под действием силы, то механическая мощность равна:

$$N = \frac{A}{\Delta t} = F \cdot v \cdot cos\alpha,$$

где α - угол между направлением силы и скорости.

2.10. Механическая энергия.

2.10.1. Закон сохранения механической энергии

Энергией называется физическая величина, измеряемая работой, которую может совершить тело или система тел. Также **энергия** - это единая мера разных форм движения и взаимодействия материи.

Механическая энергия подразделяется на ***кинетическую*** и ***потенциальную***.

Кинетическая энергия – это мера механического движения:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

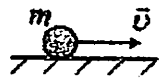


рис. 14

Потенциальная энергия - это мера взаимодействия тел или частей одного тела, определяемая их взаимным расположением.

Потенциальная энергия тела, поднятого на высоту h (потенциальная энергия силы тяжести):

$$E_p = mgh$$

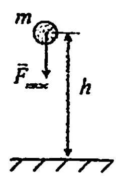


рис. 15

Потенциальная энергия деформированного тела (потенциальная энергия силы упругости):

$$E_p = \frac{k\Delta l^2}{2}$$

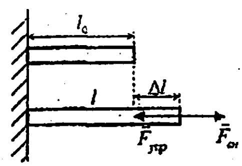


рис. 16

Полной механической энергией называют сумму кинетической и потенциальной энергий тела или системы тел.

$$E = E_k + E_p$$

Закон сохранения механической энергии: в замкнутой системе, в которой действуют только консервативные силы, механическая энергия сохраняется.

$$E = E_k + E_p = const \qquad \text{или} \qquad E_{k_1} + E_{p_1} = E_{k_2} + E_{p_2}$$

Энергия, как и работа, измеряется в джоулях: $[E] = 1$ *Дж* (*Джоуль*).

2.11. Соударения тел

Закон сохранения механической энергии и закон сохранения импульса позволяют находить решения механических задач в тех случаях, когда неизвестны действующие силы. Примером такого рода задач является

ударное взаимодействие тел.

Ударом (или **столкновением**) принято называть кратковременное взаимодействие тел, в результате которого их скорости испытывают значительные изменения.

В механике часто используются две модели ударного взаимодействия – ***абсолютно упругий*** и ***абсолютно неупругий удары.***

Абсолютно неупругим ударом называют такое ударное взаимодействие, при котором тела соединяются (слипаются) друг с другом и движутся дальше как одно тело.

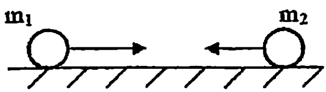


рис. 17

При абсолютно неупругом ударе механическая энергия **не сохраняется**. Она частично или полностью переходит во внутреннюю энергию тел (нагревание).

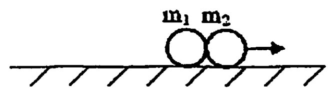


рис. 18

Абсолютно упругим ударом называется столкновение, при котором тела после соударения движутся по отдельности, и сохраняется механическая энергия системы тел.

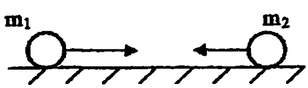


рис. 19

При абсолютно упругом ударе наряду с законом сохранения импульса **выполняется** закон сохранения механической энергии.

рис. 20

2.12. Коэффициент полезного действия (КПД)

Совершение работы любыми механизмами связано с неизбежными потерями части их энергии на преодоление сил сопротивления движению, сил трения и т.д. Поэтому для характеристики машин как преобразователей энергии введен ***коэффициент полезного действия*** (сокращенно ***КПД***).

Коэффициентом полезного действия η называют величину, равную отношению полезной работы $A_п$, совершенной машиной, ко всей затраченной (полной) работе $A_з$, т. е.

$$\eta = \frac{A_п}{A_з} \qquad \text{Также:} \qquad \eta = \frac{N_п}{N_з}.$$

Обычно КПД выражают в процентах. $\eta = \frac{A_п}{A_з} \cdot 100\%$. Значение КПД всегда меньше единицы $\eta < 1$.

2.13. Статика. Условия равновесия тел

Статикой называют раздел механики, изучающий условия равновесия тел. Для того чтобы тело находилось в равновесии (было неподвижным) необходимо выполнение двух условий.

Первое условие равновесия тел (I закон Ньютона): *чтобы не вращающееся тело находилось в равновесии, необходимо, чтобы равнодействующая всех сил, приложенных к телу, была равна нулю.*

$$F = \sum_{i=1}^{n} \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_n = 0$$

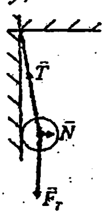


рис. 21

Если тело может вращаться относительно некоторой оси, то для его равновесия недостаточно равенства нулю равнодействующей всех сил.

При этом вращающее действие силы зависит не только от ее величины, но и от расстояния между линией действия силы и осью вращения. Для равновесия тела способного вращаться необходимо выполнение второго условия равновесия тел.

2 условие равновесия тел (правило моментов): *тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил относительно этой оси равна нулю.*

$$M = \sum_{i=1}^{n} M_i = M_1 + M_2 + \cdots + M_n = 0$$

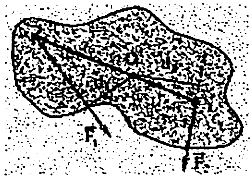


рис. 22

Моментом силы M называют произведение модуля силы F на плечо d.

$$M = F \cdot d$$

Плечом силы d называют длину перпендикуляра, проведенного от оси вращения до линии действия силы.

Положительными считаются моменты тех сил, которые стремятся повернуть тело против часовой стрелки, моменты сил, стремящиеся повернуть тело по часовой стрелке считаются ***отрицательными***. (рис. 22). Для рис. 22 правило моментов имеет вид:

$$M_1 - M_2 = 0, \quad \text{где} \quad M_1 = F_1 \cdot d_1 > 0, \quad M_2 = F_2 \cdot d_2 < 0.$$

Единицей измерения момента силы является 1 ***Н·м*** **(Ньютон-метр)**. Различают **три вида равновесия тел**: ***устойчивое, неустойчивое и безразличное.***

Состояние равновесия называется **устойчивым**, если при малых отклонениях тела от этого состояния возникают силы или моменты сил, стремящиеся возвратить тело в равновесное состояние.

Состояние равновесия называется **неустойчивым**, если при малых отклонениях тела от этого состояния возникают силы или моменты сил, стремящиеся удалить тело от положения равновесия.

Состояние равновесия называется **безразличным**, если при любых отклонениях тела от этого состояния не возникают силы или моменты сил, стремящиеся изменить его новое состояние.

На рис. 23 шар, лежащий на плоской горизонтальной поверхности, находится в безразличном состоянии равновесия (1). Шар, находящийся в верхней точке сферического выступа, - пример неустойчивого равновесия (2).

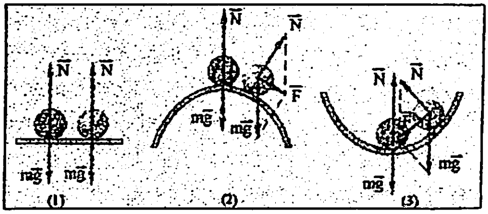


рис. 23

Наконец, шар на дне сферического углубления находится в состоянии устойчивого равновесия (3).

Особым случаем равновесия является **равновесие тела на опоре**. В этом случае упругая сила опоры приложена не к одной точке, а распределена по основанию тела. Тело ***находится в равновесии***, если вертикальная линия, проведенная через центр масс тела, проходит через площадь опоры, т. е. внутри контура, образованного линиями, соединяющими точки опоры. Если же эта линия не пересекает площадь опоры, то тело ***опрокидывается***.

Интересным примером равновесия тела на опоре является падающая башня в итальянском городе Пиза (рис. 24), которую по преданию использовал Галилей при изучении законов свободного падения тел. Башня имеет форму цилиндра высотой 55 м и радиусом 7 м.

Вершина башни отклонена от вертикали на 4,5 м. Вертикальная линия CC', проведенная через центр масс башни, пересекает основание приблизительно в 2,3 м от его центра. Таким образом, башня находится в состоянии равновесия. Равновесие нарушится и башня упадет, когда отклонение ее вершины от вертикали достигнет 14 м. По-видимому, это произойдет очень нескоро.

На рис. 24 точка C - центр масс, точка O - центр основания башни, CC' - вертикаль, проходящая через центр масс.

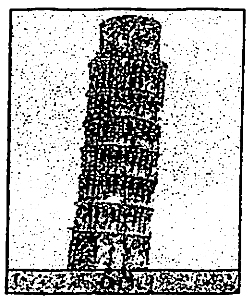


рис. 24

2.14. Давление твердого тела

Твердое тело, находящееся на опоре, действует на опору с силой, которая распределена по поверхности основания тела. Для описания таких распределенных сил вводится новая физическая величина - ***давление***. **Давление** определяется как отношение модуля силы F действующей перпендикулярно поверхности, к площади S этой поверхности: $$p = \frac{F}{S}$$

В системе СИ давление измеряется в **паскалях** (***Па***): 1 *Па* = 1 *Н*/1 *м*^{2}. Часто используются внесистемные единицы: ***нормальная атмосфера (атм)*** и ***миллиметр ртутного столба (мм Hg)***: 1 *атм* = 101325 *Па* = 760 *мм Hg*.

2.15. Элементы гидростатики

Основным отличием жидкостей от твердых (упругих) тел является способность легко изменять свою форму. Части жидкости могут свободно сдвигаться, скользя друг относительно друга. Поэтому жидкость принимает форму сосуда, в который она налита.

На тело, погруженное в жидкость или газ, действуют силы, распределенные по поверхности тела. Для описания таких распределенных сил также используется физическая величина - ***давление***.

Французский ученый Б. Паскаль в середине XVII века эмпирически установил закон, названный **законом Паскаля**: ***давление в жидкости или газе передается во всех направлениях одинаково и не зависит от ориентации площадки, на которую оно действует.***

Для иллюстрации закона Паскаля на рис. 25 изображена небольшая прямоугольная призма, погруженная в жидкость. Если предположить, что плотность материала призмы равна плотности жидкости, то призма должна находиться в жидкости в состоянии безразличного равновесия. Это означает, что силы давления, действующие на грани призмы, должны быть уравновешены. Это произойдет только в том случае, если давления, т. е. силы, действующие на единицу площади поверхности каждой грани, одинаковы: $p_1 = p_2 = p_3 = p$.

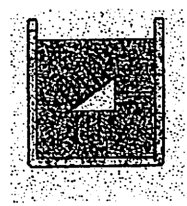


рис. 25

Давление жидкости на дно или боковые стенки сосуда зависит от высоты столба жидкости.

Давление столба жидкости p называют **гидростатическим давлением:**

$$p=\rho gh,$$

где ρ - плотность жидкости, h - высота столба жидкости.

Если жидкость находится в цилиндре под поршнем (рис. 26), то действуя на поршень некоторой внешней силой F, можно создавать в жидкости дополнительное давление $p_0 = F / S$, где S - площадь поршня. Таким образом, полное давление в жидкости на глубине h можно записать в виде:

$$p=p_0+\rho gh$$

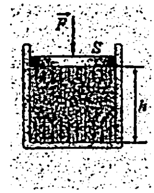


рис. 26

На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила - ***сила Архимеда***. ***Архимедова сила****, действующая на погруженное в жидкость (или газ) тело, равна весу жидкости (или газа), вытесненной телом.*

$$F_{Арх} = \rho_{жид} g V_{тела}$$

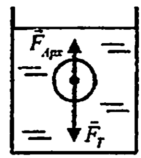


рис. 27

Это утверждение, называемое ***законом Архимеда***, справедливо для тел любой формы (рис. 27).

Из закона Архимеда вытекает, что если средняя плотность тела ρ_T больше плотности жидкости (или газа) ρ ($\rho_T > \rho$), тело будет опускаться на дно. Если же $\rho_T < \rho$, тело будет плавать на поверхности жидкости, если $\rho_T = \rho$, то тело может плавать в толще жидкости на любой глубине.

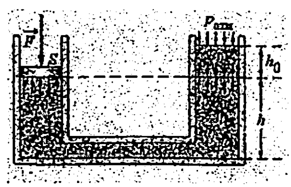


рис. 28

Закон сообщающихся сосудов: *давление в любой точке на одном и том же уровне в сообщающихся сосудах одинаково.*

$$p_1 = p_2$$

где p_1 и p_2 - давления на одном и том же уровне в первом и втором колене сообщающегося сосуда соответственно.

Гидравлический пресс. Если оба вертикально расположенных цилиндра сообщающихся сосудов закрыть поршнями, то с помощью внешних сил, приложенных к поршням, в жидкости можно создать большое давление p, во много раз превышающее гидростатическое давление ρgh в любой точке системы. Если поршни имеют разные площади S_1 и S_2, то на них со стороны жидкости действуют разные силы $F_1 = pS_1$ и $F_2 = pS_2$. Если $S_2 \gg S_1$, то $F_2 \gg F_1$. Устройства такого рода называют ***гидравлическими машинами.***

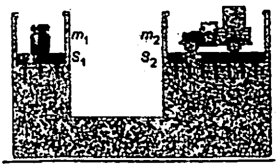


рис. 29

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad \text{или} \quad F_2 = F_1\frac{S_2}{S_1}$$

Примеры для решения задач

Задача 1.

Тело бросают вертикально вверх со скоростью 4,9 *м/с*. Одновременно с предельной высоты, которой' оно может достичь, бросают вертикально вниз у другое тело с той же начальной скоростью. Определить время, по истечении которого тела встретятся.

Дано: $\vartheta_0 = 4{,}9$ *м/с*

τ - ?

Решение.

Направим ось Y вертикально вверх, а начало оси O выберем на поверхности земли (рис. 30).

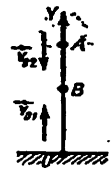


рис. 30

Тогда уравнения движения первого и второго тел примут вид

$$y_1 = \vartheta_{01}t - \frac{gt^2}{2} \qquad y_2 = y_0 - \vartheta_{02}t - \frac{gt^2}{2};$$

где $\vartheta_{01} = \vartheta_{02} = \vartheta_0,$

В точке встречи B $(t = \tau,\ y_1 = y_2)$

$$\vartheta_0\tau - \frac{g\tau^2}{2} = y_0 - \vartheta_0\tau - \frac{g\tau^2}{2},$$

Откуда $\tau = \frac{y_0}{2\vartheta_0},$

где y_0 - наибольшая высота первого тела $y_0 = y_{max} = \frac{\vartheta_0^2}{2g}$

Подставляя это выражение в формулу τ получаем

$$\tau = \frac{\vartheta_0^2}{2g \cdot 2\vartheta_0} = \frac{\vartheta_0}{4g};$$

$$\tau = \frac{4{,}9}{4 \cdot 9{,}8}\ \text{с} \approx 0{,}13\ \text{с}.$$

Ответ: $\tau \approx 0{,}13$ с.

Задача 2.

Лодка движется поперек реки перпендикулярно ее берегам со скоростью 2 *м/с*. Под каким углом к выбранному направлению оси *Y* и с какой скоростью относительно поверхности воды гребец должен держать курс, если скорость чтения реки 5 *км/ч* (рис. 31)?

Дано: $\vartheta = 2$ *м/с*;

$\vartheta_1 = 5$ *км/ч* $\approx 1{,}4$ *м/с*.

α - ? ϑ_2 - ?

Решение.

Рассмотрим движение лодки в системе отсчета, связанной с берегом. Тогда скорость движения. лодки

$$\vartheta = \vartheta_1 + \vartheta_2,$$

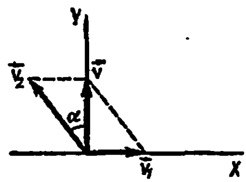


рис. 31

где ϑ_1 - скорость лодки относительно берега, обусловленная течением реки; ϑ_2 - скорость лодки относительно поверхности воды. Проецируя это уравнение на оси *OX* и *OY*, получаем

$$0 = \vartheta_1 - \vartheta_2 sin\alpha, \qquad \vartheta = 0 + \vartheta_2 cos\alpha$$

$$sin\alpha = \vartheta_1, \qquad \vartheta_2 cos\alpha = \vartheta. \qquad (1)$$

Разделив почленно уравнения (1), получим $\quad tg\alpha = \frac{\vartheta_1}{\vartheta}$

Откуда $\quad \alpha = arctg\left(\frac{\vartheta_1}{\vartheta}\right)$

$$\alpha = arctg\left(\frac{1{,}4}{2}\right) \approx 0{,}7 \text{ рад.}$$

Возведя и квадрат правые и левые части уравнений (1), найдем

$$\vartheta_2^2 sin^2\alpha + \vartheta_2^2 cos\alpha^2\alpha = \vartheta_1^2 + \vartheta^2$$

Откуда $\quad \vartheta_2 = \sqrt{\vartheta_1^2 + \vartheta^2};$

$$\vartheta_2 = \sqrt{1{,}4^2 + 2^2}\frac{m}{s} = 2{,}4 \text{ м/с.}$$

Ответ: $\alpha \approx 0{,}7$ рад; $\quad v_2 = 2{,}4$ м/с.

Задача 3.

Самолет летит горизонтально со скоростью 360 *км/ч* на высоте 490 *м*. Когда он пролетает над точкой *A*, с него сбрасывают пакет. На каком расстоянии от точки *A* пакет упадет на землю?

Дано: $\vartheta_0 = 360$ *км/ч* ≈ 100 *м/с*;
$\underline{h = 490\ м.}$
s - ?

Решение.

Направим ось *X* горизонтально, ось *Y* вертикально вверх, а начало координат поместим в точку *A* (рис. 32).

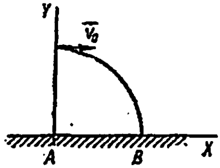


рис. 32

Запишем уравнение движения пакета по осям *X* и *Y*

$$x = \vartheta_0 t, \quad y = y_0 - \frac{gt^2}{2} \qquad (1)$$

где
$$y_0 = h,$$

Для точки падения $B(t = t_1, \quad x = x_b, \ y = y_b = 0)$ уравнение (1) примет вид:

$$x_B = \vartheta_0 t_1, \qquad (2)$$

$$0 = h - \frac{gt_1^2}{2}. \qquad (3)$$

Время движения пакета до точки B найдем из уравнения (3)

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}} \qquad (4)$$

Искомое расстояние $s = x_b$ найдем из уравнения (2) с учетом формулы (4):

$$s = \vartheta_0 t_1 = \vartheta_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}\ ;$$

$$s = 100 \sqrt{2 \cdot \frac{490}{9{,}8}}\ \text{м} = 10^3\ \text{м}.$$

Ответ: $s = 10^3$ *м*.

Задача 4.

К нити подвешен груз массой $m = 1$ *кг*. Найти силу натяжения нити T, если нить с грузом:

а) поднимать с ускорением $a = 5$ *м/с²*;

б) опускать с тем же ускорением $a = 5$ *м/с²*.

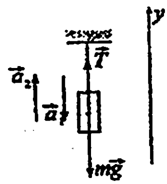


рис. 33

Решение:

В обоих случаях, а и б, применим второй закон Ньютона.

а) $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$ или $T - mg = ma$,

отсюда $T = ma_1 + mg = m(a_1 + g)$; $T = 14{,}8$ *Н*.

б) $\vec{T} + m\vec{g} = m\vec{a}$ или $-mg + T = -ma_2$

откуда $T = mg - ma_2 = m(g - a_2)$; $T = 4{,}8$ *Н*.

Ответ: а) $T = 14{,}8$ *Н*. б) $T = 4{,}8$ *Н*.

Задача 5.

Вагон массой $m = 20$ т движется равно замедлено, имея начальную скорость $v_0 = 54$ км/ч и ускорение $a = -0{,}3$ *м/с²*. Какая сила торможения F действует на вагон? Через какое время t вагон остановится? Какое расстояние s вагон пройдет до остановки?

Решение:

По второму закону Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$, или в проекции на направление движения $-F = -ma$, откуда сила торможения по абсолютной величине равна $F = 6$ *кН*. Ускорение вагона $a = \frac{v - v_0}{t}$, но $v = 0$, следовательно, $a = -\frac{v_0}{t}$, откуда $t = -\frac{v_0}{a}$;

Пройденный путь, с учетом $a < 0$, найдем по формуле $s = vt - \frac{at}{2}$;

Ответ: $t = 50$ с. $S = 375$ м.

Задача 6.

Тело лежит на наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 4^o$. При каком предельном коэффициенте трения к тело начнет скользить по наклонной плоскости? С каким ускорением a будет скользить тело по плоскости, если коэффициент трения

$k = 0,03$? Какое время t потребуется для прохождения при этих условиях пути $s = 100$ *м*? Какую скорость v будет иметь тело в конце пути?

Решение:

Для покоящегося тела по второму закону Ньютона в проекции на ось x имеем

$$mg\sin\alpha - F_{тр} = 0,$$

где

$$F_{тр} \geq kmg.$$

Отсюда

$$mg\sin\alpha = kmg; \quad k = \sin\alpha; \quad k \leq 0,07.$$

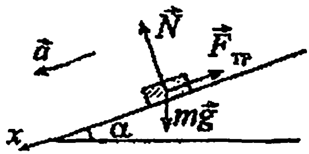


рис. 34

При равноускоренном движении по второму закону Ньютона

$$mg\sin\alpha - F_{тр} = ma$$

или

$$\sin\alpha - kmg = ma,$$

откуда $\quad a = g(\sin\alpha - k); \quad a = 0,39$ м/с.

Пройденный путь $s = \frac{at^2}{2}$,

откуда $\quad t = \sqrt{\frac{2s}{a}}; \quad t = 22.6$ с.

Скорость $v = at$;

Ответ: $v = 8,8$ *м/с*.

Задачи для самостоятельного решения

1. Товарный поезд идет со скоростью $v_1 = 36$ *км/ч*. Спустя время $\tau = 30$ *мин* с той же станции по тому же направлению вышел экспресс со скоростью $v_2 = 72$ *км/ч*. Через какое время t после выхода товарного поезда и на каком расстоянии s от станции экспресс нагонит товарный поезд? Задачу решить аналитически и графически.

2. Из городов A и B, расстояние между которыми $L = 120$ *км*, одновременно выехали навстречу друг другу две автомашины со скоростями $v_1 = 20$ *км/ч* и $v_2 = 60$ *км/ч*. Каждая автомашина, пройдя 120 *км*, остановилась. Через какое время t и на каком расстоянии s от города C, находящегося на полпути между A и B, встретятся автомашины? Задачу решить аналитически и графически. Построить график зависимости расстояния l между автомашинами от времени t.

3. Стержень AB длины l опирается концами о пол и стену. Найти зависимость координаты y конца стержня B от времени t при движении конца стержня A с постоянной скоростью v в направлении, указанном на рис. 35, если первоначально конец A имел координату x_0.

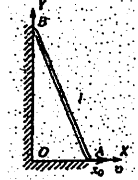


рис. 35

4. Товарный поезд длины $l_1 = 630$ *м* и экспресс длины $l_2 = 120$ *м* идут по двум параллельным путям в одном направлении со скоростями $v_1 = 48{,}6$ *км/ч* и $v_2 = 102{,}6$ *км/ч* соответственно. В течение какого времени экспресс будет обгонять товарный поезд?

5. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 36$ *км/ч* и $v_2 = 54$ *км/ч*. Пассажир в первом поезде замечает, что второй поезд проходит мимо него в течение времени $t = 6$ *с*. Какова длина второго поезда?

6. Теплоход, имеющий длину $l = 300$ *м*, движется по прямому курсу в неподвижной воде со скоростью v_1. Катер, имеющий скорость $v_2 = 90$ *км/ч*. проходит расстояние от кормы движущегося теплохода до его носа и обратно за время $t = 37{,}5$ *с*. Найти скорость v_1 теплохода.

7. На наклонную плоскость, составляющую с горизонтом угол α, опирается стержень, который может перемещаться только по вертикали благодаря направляющему устройству AB (рис. 36). С какой скоростью v поднимается стержень, если наклонная плоскость движется влево со скоростью u?

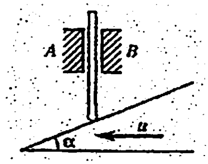


рис. 36

8. Капли дождя на окнах неподвижного трамвая оставляют полосы, наклоненные под углом $a = 30^0$ к вертикали. При движении трамвая со скоростью $u = 18$ *км/ч* полосы от дождя вертикальны. Найти скорость капель дождя v в безветренную погоду и скорость ветра w.

9. Пловец переплывает реку, имеющую ширину h. Под каким углом а к направлению течения он должен плыть, чтобы переправиться на противоположный берег в кратчайшее время? Где он в этом случае окажется и какой путь s проплывет, если скорость течения реки равна u, а скорость пловца относительно воды равна v?

10. Лодочник, переправляясь через реку ширины h из пункта A в пункт B, все время направляет лодку под углом α к берегу (рис. 37). Найти скорость лодки v относительно воды, если скорость течения реки равна и, а лодку снесло ниже пункта B на расстояние l.

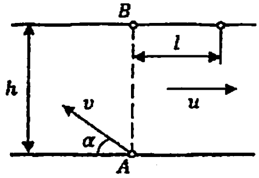


рис. 37

11. Корабль идет на запад со скоростью v. Известно, что ветер дует с юго-запада. Скорость ветра, измеренная на палубе корабля, равна u_0. Найти скорость ветра u относительно земли.

12. Тело 1 начинает двигаться из точки A по направлению к точке B со скоростью v_1; одновременно тело 2 начинает двигаться из точки B по направлению к точке C со скоростью v_2 (рис.38). Расстояние $AB = L$. Острый угол $ABC = \alpha$. В какой момент времени t расстояние l между телами 1 и 2 будет минимальным и каково это расстояние?

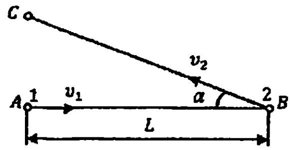


рис. 38

13. Один поезд шел половину пути s со скоростью $v_1 = 80$ *км/ч*, а половину пути - со скоростью $v_1 = 40$ *км/ч*. Другой поезд шел половину времени t со скоростью $v_2 = 80$ *км/ч*, а половину времени - со скоростью $v_2 = 40$ *км/ч*. Какова средняя скорость каждого поезда?

14. Тело, имея начальную скорость $v_0 = 2$ м/с, двигалось в течении времени $t_1 = 5$ c. с ускорением $a_3 = 1$ м/с^2, $t_4 = 2$ с. с ускорением $a_4 = -3$ м/с^2, $t_5 = 2$ с равномерно со скоростью, полученной в конце промежутка времени t_4. Найти конечную скорость v, пройденный путь s и среднюю скорость $v_{ср}$ на этом пути. Задачу решить аналитически и графически.

15. Самолет, летящий горизонтально со скоростью v_1 попадает в полосу дождя, капли которого падают вертикально со скоростью ω. Кабина пилота имеет два стекла: верхнее - горизонтальное и переднее - наклоненное к горизонту под углом α (рис. 39). Каждое из стекол имеет площадь S. Найти отношение числа капель воды, падающих в единицу времени на переднее стекло, к числу капель, падающих в единицу времени на верхнее стекло.

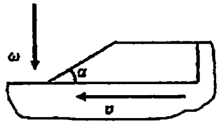


рис. 39

16. Тело, имея начальную скорость $v_0 = 1$ м/с, двигалось равноускорено и приобрело, пройдя некоторое расстояние, скорость $v_к = 7$ м/с. Какова была скорость тела на половине этого расстояния?

17. Тело, имея некоторую начальную скорость, движется равноускорено из некоторого положения. Известны координаты тела x_1, x_2, x_3, отсчитанные вдоль направления движения от произвольного начала отсчета в моменты времени t_1, t_2, t_3. Найти ускорение тела.

18. Парашютист спускается с постоянной скоростью $v = 5$ м/c. На расстоянии $h = 10$ м. от земли у него выпал предмет. На сколько позже приземлится парашютист, чем этот предмет? Сопротивлением воздуха для падающего предмета пренебречь. Считать ускорение свободного падения $g = 10$ м/c^2.

19. Тело, имея некоторую начальную скорость, движется равноускорено. За время t тело прошло путь s, причем его скорость увеличилась в n раз. Найти ускорение тела.

20. По одному направлению из одной точки одновременно начали двигаться два тела: одно - равномерно со скоростью $v = 980$ см/с, а другое - равноускорено без начальной скорости с ускорением $a = 9{,}8$ см/с^2. Через какое время второе тело догонит первое?

21. Два поезда прошли одинаковый путь s за одно и то же время t, однако один поезд, имея начальную скорость, равную нулю, прошел весь путь с ускорением $a = 3$ см/с^2. Другой поезд половину пути шел со скоростью $v_1 = 18$ км/ч, а половину пути - со скоростью $v_2 = 54$ км/ч. Найти путь s, пройденный поездами.

22. Автомобиль, трогаясь с места, едет с ускорением a_1. Достигнув скорости v, он некоторое время едет равномерно, а затем тормозит с ускорением a_2 до остановки. Найти время t движения автомобиля, если он прошел путь s.

23. Поезд прошел путь $s = 60$ км за время $t = 52$ *мин*. Сначала он шел с ускорением $+a$, в конце с ускорением $-a$, остальное время с максимальной скоростью $v = 72$ км/ч. Найти модуль ускорения, если начальная и конечная скорости равны нулю.

24. Какая предельная скорость приземления v парашютиста допустима, если человек, не имея парашюта, может безопасно прыгать с высоты $h \leq 2$ м?

25. Камень брошен с высоты $h = 28$ *м*. вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 8$ м/с. Найти скорость v падения камня на землю.

26. Тело падает без начальной скорости с высоты $h = 45$ *м*. Найти среднюю скорость $v_{ср}$ падения на второй половине пути.

27. За какое время t свободно падающее без начальной скорости тело пройдет сотый сантиметр своего пути?

28. Свободно падающее без начальной скорости тело в последнюю секунду падения прошло 2/3 своего пути. Найти путь S, пройденный телом.

29. Тело брошено с некоторой высоты вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 30$ *м/с*. Найти координату h и скорость v тела через время $t = 10$ *с*, а также пройденный за это время путь S. Считать ускорение свободного падения $g = 10$ *м/с*^{2}.

30. Свободно падающее без начальной скорости тело спустя некоторое время после начала падения находилось на высоте $h_1 =$ 1100 *м*, а еще через время $\Delta t = 10$ *с* на высоте $h_2 = 120$ *м* над поверхностью земли. С какой высоты h падало тело?

31. Тело, брошенное вертикально вверх, дважды проходит через точку на высоте h. Промежуток времени между этими прохождениями равен. Найти начальную скорость тела v_0 и время Δt_0 от начала движения тела до возврата в начальное положение.

32. Одно тело брошено вертикально вверх с начальной скоростью v_0, другое падает с высоты h без начальной скорости.

Движения начались одновременно и происходят по одной прямой. Найти зависимость расстояния S между телами от времени t.

33. С башни, имеющей высоту h, бросают одновременно два шарика: один - вертикально вверх со скоростью v_1, другой вертикально вниз со скоростью v_2. Найти промежуток времени Δt, отделяющий моменты их падения на землю.

34. С крыши падают одна за другой две капли. Через время $t_2 = 2$ *с* после начала падения второй капли расстояние между каплями стало равным $S = 25$ *м*. На сколько раньше первая капля оторвалась от крыши?

35. С высоты $h_1 = 10$ *м* без начальной скорости падает камень. Одновременно с высоты $h_2 = 5$ *м* вертикально вверх бросают другой камень. С какой начальной скоростью и, брошен второй камень, если камни встретились на высоте $h = l$ над землей?

36. Два тела брошены вертикально вверх с одинаковыми начальными скоростями с интервалом времени Δt. С какой скоростью будет двигаться второе тело относительно первого?

37. Лодка подтягивается к высокому берегу озера при помощи веревки, которую наматывают с постоянной скоростью v=1 *м/с* на цилиндрический барабан, находящийся на высоте $h = 6$ *м* над уровнем воды (рис. 40). Найти зависимость скорости лодки $v_л$ от длины веревки l. Найти также скорость лодки в момент времени, когда $l = 10$ *м*, и перемещение лодки из этого положения за время $t = 1$ *с*.

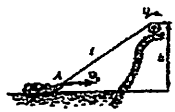


рис. 40

38. По наклонной плоскости одновременно начали двигаться два тела: одно вверх с начальной скоростью $v_0 = 0{,}5$ *м/с*, другое вниз без начальной скорости. Через какое время тела встретятся и какой будет их относительная скорость в месте встречи, если первоначальное расстояние между телами $l = 2{,}5$ *м*?

39. Тело соскальзывает без трения с наклонной плоскости. Найти угол с наклона плоскости к горизонту, если средняя скорость тела за первые 0,5 *с* на 2,45 *м/с* меньше, чем средняя скорость тела за первые 1,5 *с*.

40. Стальной шарик, упавший с высоты $h = 1{,}5$ *м* на стальную доску, отскакивает от нее с потерей 25% скорости. Найти время t, которое проходит от начала движения шарика до его второго падения на доску.

41. Мяч свободно падает с высоты $h = 120$ *м* на горизонтальную плоскость. При каждом отскоке скорость его уменьшается в $n = 2$ раза. Построить график скорости и найти пройденный мячом путь от начала движения до остановки.

42. На движущуюся вертикально вверх со скоростью и горизонтальную гладкую плиту свободно падает шарик. Расстояние от точки начала падения шарика до его места встречи с плитой равна h_0. На какую высоту h от этого места подскочит шарик после соударения с плитой? Плита, обладая очень большой массой, не изменяет своей скорости в результате соударения с шариком. Считать соударение абсолютно упругим.

43. Вертикальная гладкая плита движется горизонтально со скоростью u. Летящий в горизонтальной плоскости со скоростью v_0 шарик соударяется с плитой. Направление полета шарика составляет угол α с перпендикуляром к плите (рис. 41). Найти скорость v шарика после соударения с плитой. Плита, обладая очень большой массой, не изменяет своей скорости в результате соударения с шариком. Считать соударение абсолютно упругим. Силой тяжести пренебречь.

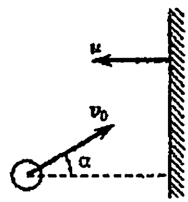


рис. 41

44. Найти радиус R маховика, если при вращении линейная скорость точек на его ободе $v_1 = 6$ *м/с*, а точек, находящихся на расстоянии $r = 15$ *см* ближе к оси вращения, $v_2 = 5{,}5$ *м/с*.

45. Линейная скорость точек обода вращающегося диска $v_1 = 3$ *м/с*, а точек, находящихся на расстоянии $r = 10$ *см* ближе к оси вращения, $v_2 = 2$ *м/с*. Найти частоту вращения диска.

46. Велосипедист едет с постоянной скоростью v по прямолинейному участку дороги. Найти мгновенные линейные скорости точек A, B, C, D, E, лежащих на ободе колеса (рис. 42), относительно земли.

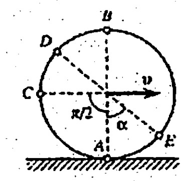


рис. 42

47. Материальная точка движется по окружности радиуса $R = 20$ *см* равноускорено с касательным ускорением $a_\tau = 5$ *см/с*^{2}. Через какое время t после начала движения центростремительное ускорение a_n будет больше a_τ в $n = 2$ раза?

48. Найти радиус R маховика, если при вращении линейная скорость точек на его ободе $v_1 = 6$ *м/с*, а точек, находящихся на расстоянии $r = 15$ *см* ближе к оси вращения, и $v_2 = 5{,}5$ *м/с*.

49. Материальная точка, двигаясь равноускорено по окружности радиуса $R = 1$ *м*, прошла за время $t_l = 10$ *с* путь $s = 50$ *м*. С каким центростремительным ускорением a_n двигалась точка спустя время $t_l = 5$ *с* после начала движения?

50. Ось вращающегося диска движется поступательно в горизонтальном направлении со скоростью v. Ось горизонтальна, направление ее движения перпендикулярно к ней самой. Найти мгновенную скорость v_1 верхней точки диска, если мгновенная скорость нижней точки диска равна v_2.

51. При равноускоренном движении тела по окружности полное ускорение a и линейная скорость v тела образуют угол $\alpha = 30°$. Найти отношение центростремительного и касательного ускорений.

52. Найти линейную скорость v и центростремительное ускорение a_n, точек на экваторе и на широте $\varphi = 60°$. Считать радиус Земли $R = 6400$ *км*.

53. Маховое колесо, вращающееся с частотой $n = 240$ *об/мин*, останавливается в течение промежутка времени $t = 0{,}5$ *мин*. Найти число оборотов N, сделанных колесом до полной остановки.

54. Поезд въезжает на закругленный участок пути с начальной скоростью $v_0 = 54$ *км/ч* и проходит равноускорено расстояние $s = 600$ *м* за время $t = 30$ *с*. Радиус закругления $R = 1$ *км*. Найти скорость v и полное ускорение a поезда в конце этого участка пути.

55. С колеса автомобиля, движущегося с постоянной скоростью v, слетают комки грязи. Радиус колеса равен R. На какую высоту h над дорогой будет отбрасываться грязь, оторвавшаяся от точки A колеса, указанной на рис. 43-44? Изменится ли высота h, если колесо будет катиться с пробуксовкой?

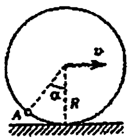


рис. 43

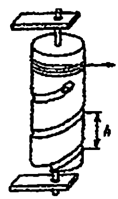


рис. 44

56. В винтовой желоб (рис. 44) положен тяжелый шарик. С каким ускорением a нужно тянуть нить, намотанную на цилиндр с желобом, чтобы шарик падал свободно, если диаметр цилиндра равен D, а шаг винтового желоба равен h?

57. Поезд массы $m = 500$ т после прекращения тяги паровоза останавливается под действием силы трения $F = 0,1$ *МН* через время $t = 1$ *мин*. С какой скоростью v шел поезд до момента прекращения тяги паровоза?

58. Паровоз на горизонтальном участке пути, имеющем длину $s = 600$ *м*, развивает силу тяги $F = 147$ *к Н*. Скорость поезда массы $m = 1000$ т возрастает при этом от $v_0 = 36$ км/ч до $v = 54$ *км/ч*. Найти силу сопротивления f движению поезда, считая ее постоянной.

59. Воздушный шар массы M опускается с постоянной скоростью. Какой массы m балласт нужно выбросить, чтобы шар поднимался с той же скоростью? Подъемная сила воздушного шара Q известна.

60. С какой силой F нужно действовать на тело массы $m = 5$ *кг*, чтобы оно падало вертикально вниз с ускорением $a = 15$ *м/с²*?

61. Автомобиль движется с ускорением $a =$ *м/с²*. С какой силой F человек массы $m = 70$ *кг* давит на спинку сиденья?

62. Проволока выдерживает груз массы $m_{max} = 450$ *кг*. С каким максимальным ускорением можно поднимать груз массы m=400 *кг*, подвешенный на этой проволоке, чтобы она не оборвалась?

63. Веревка выдерживает груз массы $m_1 = 110$ *кг* при подъеме его с некоторым ускорением, направленным по вертикали, и груз массы $m_2 = 690$ *кг* при опускании его с таким же по модулю ускорением. Какова максимальная масса m груза, который можно поднять на этой веревке, двигая его с постоянной скоростью?

64. Найти силу натяжения T каната, к которому подвешена клеть подъемной машины, если клеть массы $m = 300$ *кг* движется с ускорением $a_1 = 1,6$ *м/с²*, направленным вверх; с ускорением $a_2 = 0,8$ *м/с²*, направленным вниз.

65. Масса лифта с пассажирами $M = 800$ *кг*. Найти ускорение лифта и его направление, если сила натяжения троса, на котором подвешена кабина лифта, такая же, как у неподвижного лифта массы $m = 600$ *кг*.

66. К потолку движущегося лифта на нити подвешена гиря массы $m_1 = 1$ *кг*. К этой гире привязана другая нить, на которой подвешена гиря массы $m_2 = 2$ *кг*. Найти силу натяжения T верхней нити, если сила натяжения нити между гирями $T_0 = 9,8$ *Н*.

67. С какой силой $F_{н.д.}$ будет давить на дно шахтной клети груз массы $m = 100$ *кг*, если клеть поднимается с ускорением $a = 24,5$ *м/с²*?

68. Груз массы $m = 140$ *кг*, лежащий на полу кабины опускающегося лифта, давит на пол с силой $F_{нд} = 1440$ *Н*. Найти ускорение лифта и его направление.

69. В лифте установлен динамометр, на котором подвешено тело массы $m = 1$ *кг*. Что будет показывать динамометр, если:

1) лифт движется вверх с ускорением $a_1 = 4{,}9$ *м/с²*;

2) лифт движется вверх замедленно с ускорением $a_2 = 4{,}9$ *м/с²*;

3) лифт движется вниз с ускорением $a_3 = 2{,}45$ *м/с²*;

4) лифт движется вниз замедленно с ускорением $a_4 = 2{,}45$ *м/с²*?

70. Какая горизонтальная сила F требуется, чтобы тело массы $m = 2$ *кг*, лежащее на горизонтальной поверхности, начало скользить по ней с ускорением $a = 0{,}2$ *м/с²*? Коэффициент трения между телом и поверхностью $k = 0{,}02$.

71. При быстром торможении трамвай, имевший скорость $v = 25$ *км/ч*, начал двигаться "юзом" (заторможенные колеса, не вращаясь, начали скользить по рельсам). Какой участок пути s пройдет трамвай с момента начала торможения до полной остановки? Коэффициент трения между колесами и рельсами $k = 0{,}2$.

72. Камень, скользящий по горизонтальной поверхности, остановился, пройдя расстояние $s = 20{,}4$ *м*. Найти начальную скорость камня v. Сила трения f между камнем и поверхностью составляет 6% силы тяжести, действующей на камень.

73. На горизонтальной доске лежит груз. Какое ускорение a в горизонтальном направлении следует сообщить доске, чтобы груз соскользнул с нее? Коэффициент трения между грузом и доской $k = 0{,}2$.

74. На горизонтальной поверхности лежит доска массы $M = 10$ *кг*, а на доске брусок массы $m = 1$ *кг*. Какую минимальную силу F в горизонтальном направлении надо приложить к доске, чтобы брусок соскользнул с нее? Коэффициент трения между бруском и доской $k = 0{,}1$.

75. Тело массы m движется по горизонтальной поверхности под действием силы F, направленной под углом α к горизонту (рис. 45). Найти ускорение a тела. При какой силе F_0 движение будет равномерным? Коэффициент трения между телом и плоскостью равен k.

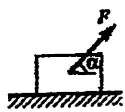


рис. 45

76. Тело массы m движется вверх по вертикальной стене под действием силы F, направленной под углом α к вертикали (рис. 46). Найти ускорение a тела. Коэффициент трения между телом и стеной равен k.

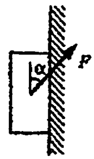


рис. 46

77. Какой путь s за время пройдет "юзом" воз массы m, если щука и рак тянут его в противоположные стороны по горизонтали с силами F_1 и F_2, лебедь тянет с силой F_3 в ту же сторону, что и рак, но под углом α к горизонту? Коэффициент трения между колесами и поверхностью земли равен k. Начальная скорость воза $v_0 = 0$.

78. Тело массы $m = 40$ *г*, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью $v_0 = 30$ *м/с*, достигло высшей точки подъема спустя время $t = 2{,}5$ *с*. Найти среднюю силу сопротивления f воздуха, действовавшую на тело во время полета.

79. Акробат массы $m = 70$ *кг* прыгнул с трапеции на натянутую сетку, которая при этом прогнулась на расстояние $\Delta h = 1$ *м*. Высота трапеции над сеткой $h = 6$ *м*. С каким ускорением а двигался акробат, прогибая сетку, и с какой силой реакции N сетка действовала на тело акробата?

80. Какая минимальная сила сопротивления f воздуха действует на парашютиста и парашют общей массы $m = 75$ *кг* при полностью раскрытом парашюте?

81. Сила сопротивления f, действующая на раскрытый парашют, пропорциональна квадрату скорости (коэффициент пропорциональности $k = 20$ *Н с²/м²*). Масса парашютиста $m = 72$ *кг*. С какой высоты h должен спрыгнуть человек без парашюта, чтобы скорость его приземления равнялась скорости приземления парашютиста, прыгнувшего с большой высоты?

82. Два тела с массами $m_1 = 50$ *г* и $m_2 = 100$ *г* связаны нитью" и лежат на гладкой горизонтальной поверхности (рис. 47). С какой силой F можно тянуть первое тело. чтобы нить, способная выдержать силу натяжения $T_{max} = 5$ *Н*, не оборвалась? Изменится ли результат, если силу приложить ко второму телу?

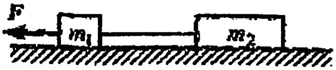


рис. 47

83. Два тела связаны нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. К телу массы m_1, приложена сила F_1, направленная вдоль поверхности, а к телу массы m_2 - сила $F_2 < F_1$, направленная в противоположную сторону. Найти силу натяжения T нити при движении тел.

84. Три тела связаны нитью и лежат на гладкой горизонтальной поверхности. К телу массы т, приложена сила F_1, направленная вдоль поверхности, а к телу массы m_3 сила $F_2 > F_1$, направленная в - противоположную сторону (рис. 48). Найти силу натяжения T нити между телами с массами m_1 и m_2.

рис. 48

85. На брусок массы $m_1 = 0{,}18$ *кг* поставлена гиря массы $m_2 = 2$ *кг* (рис. 49). С помощью нити, перекинутой через блок, брусок с гирей скользит с постоянной скоростью на доске, когда на чашку массы $m_3 = 0{,}18$ *кг* положена гиря массы $m_4 = 0{,}5$ *кг*. Найти коэффициент трения k между бруском и доской.

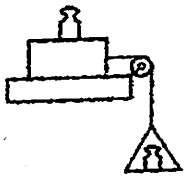


рис. 49

86. К одному концу веревки, перекинутой через блок, подвешен груз массы $m = 10$ *кг* (рис. 50). С какой силой F нужно тянуть вниз за другой конец веревки, чтобы груз поднимался с ускорением $a = 1$ *м/с²*?

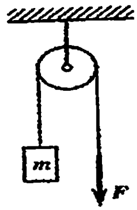


рис. 50

87. Через блок, подвешенный к динамометру, перекинут шнур, на концах которого укреплены грузы с массами $m_1 = 2$ *кг* и $m_2 = 8$ *кг*. Что показывает динамометр при движении грузов?

88. На одном конце нити, перекинутой через блок, подвешен груз массы $m = 500$ *г*. Известно, что нить не обрывается, если на другом ее конце закрепить груз массы $M = 1$ т и осторожно отпустить его. Какую силу натяжения T выдерживает в этом случае нить?

89. На одном конце нити, перекинутой через блок, подвешено тело массы $m_1 = 30$ *г*. Другой конец нити соединен с легкой пружиной, к концу которой прикреплено тело массы $m_2 = 50$ *г*. Длина пружины в нерастянутом состоянии $l_0 = 10$ *см*. Под действием силы $F = 0{,}1$ *Н* пружина удлиняется; ее деформация $\Delta l = 2$ *см*. Найти длину l пружины во время движения грузов, считая, что колебания в системе отсутствуют.

90. Две гири с массами $m_1 = 3$ *кг* и $m_2 = 6{,}8$ *кг* висят на концах нити, перекинутой через блок. Первая гиря находится на 2 *м* ниже второй. Гири пришли в движение без начальной скорости. Через какое время они окажутся на одной высоте?

91. Два тела массы $m = 240$ *г* каждое подвешены на концах нити, перекинутой через блок. Какую массу m_0 должен иметь груз, положенный на одно из тел, чтобы каждое из них прошло за время $t = 4$ *с* путь $h = 160$ *см*?

92. Два тела массы $m = 100$ *г* каждое подвешены на концах нити, перекинутой через блок. На одно из тел положен груз массы $m_0 = 50$ *г*. С какой силой $F_{н.д}$ будет давить груз на тело, на котором он лежит, когда вся система придет в движение?

93. С каким ускорением a и в каком направлении будет перемещаться центр масс двух грузов с массами m_1 и m_2 ($m_1 < m_2$), если эти грузы связаны нитью, перекинутой через блок?

94. Найти ускорение a тела, соскальзывающего с наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол $\alpha = 30°$. Коэффициент трения между телом и плоскостью $k = 0{,}3$.

95. С вершины наклонной плоскости, имеющей длину $l = 10$ *м* и высоту $h = 5$ *м*, начинает двигаться без начальной скорости тело. Какое время t будет продолжаться движение тела до основания наклонной плоскости и какую скорость v оно будет иметь при этом? Коэффициент трения между телом и плоскостью $k = 0{,}2$.

96. Тело начинает движение с начальной скоростью, v_0 вверх по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол α. Через какой промежуток времени t тело вернется в точку, из которой оно начало двигаться вверх? Коэффициент трения между телом и плоскостью $k < tg\,\alpha$.

97. По склону горы, имеющей длину $l = 50$ *м* и высоту $h = 10$ *м*, на веревке спускают без начальной скорости санки массы $m = 60$ *кг*. Найти силу натяжения T веревки, если санки у основания горы имеют скорость $v = 5$ *м/с*, а сила трения f между санками и поверхностью горы составляет 10% силы тяжести, действующей на санки.

98. Шар массы m лежит в ящике, соскальзывающем без трения с наклонной плоскости. Плоскость образует с горизонтом угол α. Найти силы, с которыми шар давит на переднюю стенку и на дно ящика.

99. На наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом, стоит кубик массы m. Плоскость находится в лифте, движущемся с ускорением a, направленным вверх. Найти силу нормального давления $F_{н.д}$ кубика на плоскость. При каком коэффициенте трения k между кубиком и плоскостью кубик не будет соскальзывать вниз?

100. Доска массы M может двигаться без трения по наклонной плоскости, образующей с горизонтом угол α. С каким ускорением a и в каком направлении должен бежать по доске человек массы m, чтобы доска не соскальзывала с наклонной плоскости?

3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

Чем отличается молекулярная физика от механики?

Механика - это раздел физики и отдельная наука, которая рассматривает движение материальных тел и все возможные взаимодействия между ними. При этом движением в механике называется изменением положения тел во времени, а также их элементов в пространстве.

Молекулярная физика - это раздел физики, который изучет свойства вещества на основе его молекулярного строения.

Молекулярно-кинетической теорией (МКТ) называется учение о строении и свойствах вещества, использующее представления о существовании атомов и молекул как наименьших частиц химического вещества.

Основные положения МКТ строения вещества:

- вещество состоит из частиц - атомов и молекул *(дробление вещества, сжатие и расширение тел);*
- эти частицы хаотически движутся *(диффузия, броуновское движение);*
- частицы взаимодействуют друг с другом – одновременно притягиваются и отталкиваются *(упругость тел).*

Диффузия - это явление проникновения молекул одного вещества между молекулами другого вещества, вследствие их теплового движения. Скорость диффузии зависит от агрегатного состояния вещества и его температуры.

Броуновское движение - это явление хаотического движения взвешенных в жидкости или газе макроскопических частиц вследствие соударений частицы с молекулами вещества. Между частицами одновременно присутствуют **силы притяжения и отталкивания.** В обычном (недеформированном) состоянии силы притяжения и отталкивания компенсируют друг друга. При уменьшении расстояния между частицами (деформация сжатия) преобладают силы отталкивания, при увеличении расстояния между частицами (деформация растяжения) преобладают силы притяжения.

Агрегатные состояния вещества

Лед, вода и водяной пар - это все три агрегатных состояния одного вещества. Лед - твердое состояние, вода - жидкая, пар - газообразное. Для каждого вещества существует три состояния.

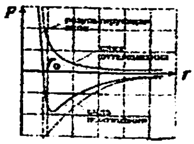


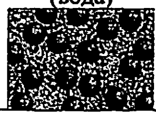
рис. 51

Твердое состояние: его очень легко представить - это любой предмет, который мы встречаем в жизни. В этом состоянии тело сохраняет форму и объем. Расстояние между молекулами, приблизительно равно размеру самих молекул, которые, в свою очередь, расположены очень структурированно. Такая структура называется кристаллической решеткой - из-за четкой структуры молекулам сложно двигаться, и они просто колеблются около своих положений равновесия.

Жидкое состояние: в этом состоянии сохраняется объем, но не сохраняется форма. Например, если перелить молоко из кувшина в стакан, то молоко, имевшее форму кувшина, примет форму стакана. Расстояние между молекулами в жидком состоянии чуть больше, чем в твердом, но все равно невелико. При этом частицы не собраны в кристаллическую решетку, а расположены хаотично. Молекулы почти не двигаются, но при нагревании жидкости делают это более охотно.

Газообразное состояние: в жизни мы встречаем газообразное состояние вещества, когда чувствуем запахи. Запах очень легко распространяется, потому что газ не имеет ни формы, ни объема (он занимает весь предоставленный ему объем), состоит из хаотично движущихся молекул, расстояние между которыми больше, чем размеры молекул.

Строение и свойства веществ в разных агрегатных состояниях

Строение вещества	**ГАЗ** (водяной пар) 	**ЖИДКОСТЬ** (вода) 	**ТВЕРДОЕ ТЕЛО** (лёд) 
Расстояние между молекулами	$r \ll d$	$r \approx d$	$r \approx d$
Характер движения молекул	Свободно движутся в пространстве	Могут совершать перескоки из одного положения в соседнее положение	Колеблются около положения равновесия
Строение вещества	Не имеет собственного объёма и формы (занимает все предоставленное пространство)	Сохраняет объём и не сохраняет форму (обладает текучестью)	Сохраняет форму и объём тела

атом водорода d – размер молекулы
атом кислорода r – расстояние между молекулами
молекула воды

3.1. Основные понятия молекулярно-кинетической теории вещества

Атомная единица массы (*а.е.м.* или *u*) - единица массы, равная 1/12 массы атома изотопа углерода ^{12}C, и применяемая в атомной и ядерной физике для выражения масс молекул, атомов, ядер, протона и нейтрона. 1 *а.е.м.* (u) $\approx 1.66054 \cdot 10^{-27}$ *кг.*

$$1\ а.е.м. = \frac{1}{12} m_{c^{12}} \approx 1.66054 \cdot 10^{-27}\ кг.$$

Массы атомов и молекул очень малы. Поэтому логично было ввести новые единицы измерения массы в химии, выбрав в качестве эталона массу одного из элементов.

Изначально (в XIX веке) атомные массы элементов относили к массе водорода, приняв по предложению Джона Дальтона последнюю за единицу, так как водород - самый лёгкий элемент. Затем в качестве эталона использовали массу кислорода, принятую за 16, поскольку при расчёте массы элементов, в основном, использовались их кислородные соединения. Отношение массы кислорода к массе водорода принималось как *16* к *1*. Однако у кислорода существует три изотопа: ^{16}O, ^{17}O, ^{18}O, поэтому $\frac{1}{16}$ массы природного кислорода характеризовала лишь среднее значение массы всех известных изотопов кислорода. В результате оформили две шкалы: физическая (основанная на массе ^{16}O) и химическая (основанная на среднем значении массы природного кислорода), что создавало определённые трудности. Поэтому в 1961 году за единицу массы была принята $\frac{1}{12}$ массы атома углерода ^{12}C.

В ядерной физике и в физике элементарных частиц вместо массы m используют в соответствии с соотношением Эйнштейна $E = mc^2$ её энергетический эквивалент mc^2, причём в качестве единицы энергии применяют 1 электронвольт (*эВ*) и его производные:

1 килоэлектронвольт (*кэВ*) = 10^3 *эВ*,

1 мегаэлектронвольт (*МэВ*) = 10^6 *эВ*,

1 гигаэлектронвольт (*ГэВ*) = 10^9 *эВ*,

1 тераэлектронвольт (*ТэВ*) = 10^{12} *эВ* и т.д.

1 *эВ* - это энергия, приобретаемая однозарядной частицей (например, электроном или протоном) при прохождении в электрическом поле разности потенциалов в 1 вольт. Как известно

1 *эВ* = $1.6 \cdot 10^{-12}$ *эрг* = $1.6 \cdot 10^{-19}$ *Дж*.

В энергетических единицах 1 *а.е.м.* (*u*) ≈ 931.494 *МэВ*.

Массы протона (m_p) и нейтрона (m_n) в атомных единицах массы и в энергетических единицах следующие:

$m_p \approx 1.0073\ u \approx 938.272$ *МэВ/с*^{2},

$m_n \approx 1.0087\ u \approx 939.565$ *МэВ/с*^{2}.

С точностью ~1% массы протона и нейтрона равны одной атомной единице массы (1 *u*).

Относительная молекулярная (атомная) масса вещества M_r - это масса 1 молекулы (атома) вещества, выраженная в атомных единицах массы. (*Находится по периодической таблице химических элементов)*

$$M_r = \frac{m_{am}}{\frac{1}{12} m_{c^{12}}}$$

Количество вещества ν логичнее было бы выражать числом частиц, содержащихся в веществе. Т.к. число молекул (или атомов) в веществе огромно, принято количество вещества выражать в молях ([ν] = 1 моль).

1 моль - это количество вещества, в котором содержится столько же молекул (или атомов), сколько их содержится в 0,012 кг углерода - 12. В одном моле любого вещества содержится одно и тоже число частиц, которое называют **числом Авогадро** N_A.

$$N_A = 6{,}022 \cdot 10^{23} \text{моль}^{-1}$$

Молярная масса *М* - это масса одного моля вещества.

$$M = \frac{m}{v}; \qquad M = m_0 \cdot N_A; \qquad [M] = 1\ \text{кг/моль}$$

Связь молярной массы с относительной молекулярной (атомной массой)

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

Количество вещества может быть определено по формулам:

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

Число молекул в веществе: $N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{M} N_A$

Масса одной молекулы (атома) вещества: $m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A}$

Атомы и молекулы очень малы и имеют чрезвычайно малую массу. Поэтому отсчитать поштучно необходимое количество атомов или молекул не представляется возможным. В связи с этим была введена физическая величина *«количество вещества»*, единицей измерения которой является *моль*.

Количество вещества («ню») - порция вещества, содержащая определённое число его частиц. Количество вещества показывает, сколько наименьших частиц (структурных единиц - молекул или наименьших повторяющихся фрагментов для веществ немолекулярного строения) данного вещества содержится в том или ином его образце.

Для обозначения количества вещества наряду с обозначением используют также букву, поэтому в литературе можно встретить оба обозначения.

Джоуль применяется, как единица количества теплоты. Соотношения джоуля с другими единицами: 1 *Дж* = 107 *эрг* = 0,2388 *кал.*

Абсолютная температура - это безусловная мера температуры и одна из главных характеристик термодинамики. Понятие абсолютной температуры было введено У. Томсоном (Кельвином), в связи с чем шкалу абсолютной температуры называют шкалой Кельвина или термодинамической температурной шкалой. Единица абсолютной температуры - кельвин (К).

Абсолютная шкала температуры называется так, потому что мера основного состояния нижнего предела температуры: абсолютный ноль - наиболее низкая возможная температура, при которой ничего не может быть холоднее и теоретически невозможно извлечь из вещества тепловую энергию. Абсолютный ноль определен как 0 К. Что приблизительно равно - 273.15^oC. Один Кельвин эквивалентен одному градусу Цельсия.

Термодинамическая температура с молекулярно - кинетической точки зрения - физическая величина, характеризующая интенсивность хаотического, теплового движения всей совокупности частиц системы и пропорциональная средней кинетической энергии поступательного движения одной частицы.

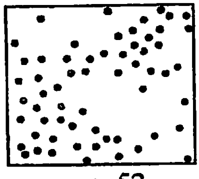


рис. 52

На рис. 52 изображено мгновенное состояние системы частиц, участвующих в хаотическом тепловом движении.

Связь между кинетической энергией, массой и скоростью выражается следующей формулой: $E_k = \frac{1}{2} m \bullet v^2$

Таким образом частицы одинаковой массы и имеющие одинаковую скорость имеют и одинаковую температуру. Средняя кинетическая энергия частицы связана с термодинамической температурой постоянной Больцмана: $E_{ср} = \frac{3}{2} kT$

где: $k = 1.3806505(24) \cdot 10^{-23}$ *Дж/К* - постоянная Больцмана

T - термодинамическая температура, *К*

Шкала Кельвина

В термодинамике используется шкала Кельвина, в которой температура отсчитывается от абсолютного нуля (состояние, соответствующее минимальной теоретически возможной внутренней энергии тела), а один кельвин равен $\frac{1}{273{,}16}$ расстояния от абсолютного нуля до тройной точки воды (состояния, при котором лёд, вода и водяной пар находятся в равновесии). Для пересчета кельвинов в энергетические единицы служит постоянная Больцмана. Используются также производные единицы: кило кельвин, мега кельвин, милли кельвин и т.д.

Шкала Цельсия

В быту используется шкала Цельсия, в которой за 0° принимают точку замерзания воды, а за 100° точку кипения воды при атмосферном давлении. Поскольку температура замерзания и кипения воды недостаточно хорошо определена, в настоящее время шкалу Цельсия определяют через шкалу Кельвина: градус Цельсия равен кельвину, абсолютный ноль принимается за −273,15 °*C*. Шкала Цельсия практически очень удобна, поскольку вода очень распространена на нашей планете и на ней основана наша жизнь. Ноль Цельсия - особая точка для метеорологии, поскольку замерзание атмосферной воды существенно всё меняет.

Шкала Фаренгейта

В Англии и, в особенности, в США используется шкала Фаренгейта. В этой шкале на 100 градусов разделён интервал от температуры самой холодной зимы в городе, где жил Фаренгейт, до температуры человеческого тела. Ноль градусов Цельсия - это 32 градуса Фаренгейта, а градус Фаренгейта равен 5/9 градуса Цельсия.

В настоящее время принято следующее определение шкалы Фаренгейта: это температурная шкала, 1 градус которой (1 *°F*) равен 1/180 разности температур кипения воды и таяния льда при атмосферном давлении, а точка таяния льда имеет температуру +32 °F. Температура по шкале Фаренгейта связана с температурой по шкале Цельсия (*t °C*) соотношением $t\ °C = 5/9\ (t\ °F - 32)$, то есть изменение температуры на 1 °F соответствует изменению на 5/9 *°C*. Предложена Г. Фаренгейтом в 1724.

Шкала Реомюра

Предложена в 1730 году Р. А. Реомюром, который описал изобретённый им спиртовой термометр. Единица - градус Реомюра (*°R*), 1 *°R* равен 1/80 части температурного интервала между опорными точками - температурой таяния льда (0 *°R*) и кипения воды (80 *°R*) 1 *°R* = 1,25 *°C*. В настоящее время шкала вышла из употребления, дольше всего она сохранялась во Франции, на родине автора.

Пересчёт температуры между основными шкалами			
	Кельвин	**Цельсий**	**Фаренгейт**
Кельвин (K)	= K	= C + 273,15	= (F + 459,67) / 1,8
Цельсий (°C)	= K − 273,15	= C	= (F − 32) / 1,8
Фаренгейт (°F)	= K · 1,8 − 459,67	= C · 1,8 + 32	= F

3.2. Идеальный газ. Основное уравнение МКТ идеального газа.

Идеальный газ - теоретическая модель, широко применяемая для описания свойств и поведения реальных газов при умеренных давлениях и температурах. В этой модели, во-первых, предполагается, что составляющие газ частицы не взаимодействуют друг с другом, то есть их размеры пренебрежимо малы, поэтому в объёме, занятом идеальным газом, нет взаимных неупругих столкновений частиц. Частицы идеального газа претерпевают столкновения только со стенками сосуда. Второе предположение: между частицами газа нет дальнодействующего взаимодействия, например, электростатического или гравитационного. Дополнительное условие упругих столкновений между молекулами и стенками сосуда в рамках молекулярно-кинетической теории приводит к термодинамике идеального газа.

Основное уравнение МКТ идеального газа устанавливает связь между характеристиками молекул (атомов) газа (массой, концентрацией, средней квадратичной скоростью частиц) и давлением, производимым этим газом на стенки сосуда.

$$p = \frac{1}{3} m_0 \cdot n \cdot \bar{v}^2$$

Средняя кинетическая энергия молекул идеального газа:

$$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2} \qquad \text{отсюда:} \qquad p = \frac{2}{3} n \cdot \bar{E}$$

Связь средней кинетической энергии молекул с температурой:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT \qquad \text{отсюда:} \qquad p = n \cdot k \cdot T$$

Постоянная Больцмана: $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ *Дж/К*

Абсолютная температура: $T = t + 273$, $[T] = 1$ *К*

Средняя квадратичная скорость: $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$

3.3. Уравнение состояния идеального газа. Изопроцессы.

Уравнение состояния идеального газа устанавливает соотношение между тремя термодинамическими параметрами - давлением, объемом и температурой, которые однозначно могут охарактеризовать состояние газа.

Основное уравнение молекулярно кинетической теории:

Уравнение Клайперона - Менделеева: $pV = \frac{m}{\mu} RT$; $\quad pV = \nu RT$

Для любых термодинамических процессов, происходящих с газом постоянной массы, выполняется соотношение:

Уравнение Клайперона: $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = const$

Здесь P - давления, V - объем, T - температура.

Универсальная газовая постоянная - константа, численно равная работе расширения одного моля идеального газа в изобарном процессе при увеличении температуры на 1 К. Равна произведению постоянной Больцмана на число Авогадро. Обозначается латинской буквой R. $R = 8{,}31$ *Дж/(К·моль)* - универсальная газовая постоянная; В изотермических процессах изо - постоянная.

Изотермический процесс – термодинамический процесс, протекающий при постоянной температуре ***T = const***. Описывается ***законом Бойля-Мариотта:***

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 = const$$

Изобарный процесс – термодинамический процесс, протекающий при постоянном давлении ***p = const***. Описывается ***законом Гей-Люссака:***

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = const$$

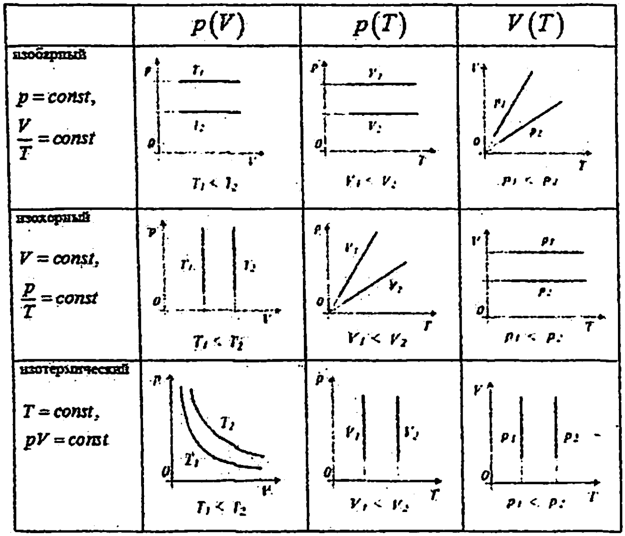


рис. 53

Изохорный процесс - термодинамический процесс, протекающий при постоянной температуре ***V = const***. Описывается ***законом Шарля:***

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = const$$

3.4. Пар. Влажность воздуха.

Пар - газообразное состояние воды.

Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием.**

Испарение - парообразование, происходящее с поверхности жидкости.

Происходит при любой температуре!

Кипение - парообразование, происходящее во всем объеме жидкости.

Происходит при определенной температуре!

Динамическое равновесие - это состояние жидкости и пара, при котором число молекул, покидающих жидкость за некоторое время, равно числу молекул, возвращающихся из пара в жидкость за то же время.

Насыщенный пар - пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Ненасыщенный пар – пар, не достигший динамического равновесия со своей со своей жидкостью. При данной температуре давление ненасыщенного пара всегда меньше давления насыщенного пара. Давление насыщенного пара не зависит от объема и определяется только температурой. Ненасыщенный пар можно перевести в насыщенный пар:

1) уменьшая объем при постоянной температуре,

2) уменьшая температуру при постоянном объеме.

Происходит при определенной температуре! Температуре кипения!!

Температура кипения зависит от давления, оказываемого на свободную поверхность жидкости. При увеличении этого давления рост и подъем пузырьков внутри жидкости начинается при большей температуре, при уменьшении давления - при меньшей температуре.

Воздух - смесь газов (N_2 - 78%, O_2 - 21%, CO_2 - 0,03%, H_2O (пар) - 0,05%, другие газы - 0,92%)

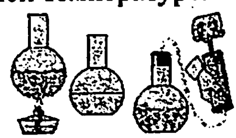


рис. 54

Закон Дальтона: давление смеси газов равно сумме парциальных давлений компонент смеси.

$$p = p_1 + p_2 + \cdots + p_n = \sum_{i=1}^{n} p_i$$

Парциальное давление - давление, которое имел бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объём, равный объёму смеси при той же температуре.

Влажность воздуха характеризует степень насыщения воздуха водяным паром.

Абсолютная влажность воздуха ρ - масса водяного пара, содержащегося в 1 $м^3$ воздуха. Другими словами, это **плотность водяного пара в воздухе.**

Относительная влажность воздуха φ показывает выраженную в процентах долю, которую составляет давление (плотность) пара, содержащегося в данный момент в воздухе, от давления (плотности) насыщенного пара для этой же температуры. $\varphi = \frac{p}{p_{нас}} \cdot 100\%$, $\varphi = \frac{\rho}{\rho_{нас}} \cdot 100\%$

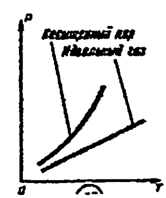


рис. 55

Зависимость давления и плотности насыщенного водяного пара от

t, °С	p, кПа	ρ, г/м³	t, °С	p, кПа	ρ, г/м³
-5	0,40	3,2	11	1,33	10,0
0	0,61	4,8	12	1,40	10,7
1	0,65	5,2	13	1,49	11,4
2	0,71	5,6	14	1,60	12,1
3	0,76	6,0	15	1,71	12,8
4	0,81	6,4	16	1,81	13,6
5	0,88	6,8	17	1,93	14,5
6	0,93	7,3	18	2,07	15,4
7	1,0	7,8	19	2,20	16,3
8	1,06	8,3	20	2,33	17,3
9	1,14	8,8	25	3,17	23,0
10	1,23	9,4	50	12,3	83,0

Сухой термометр, °С	Разность показаний термометров, °С								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Относительная влажность, %								
10	88	76	65	54	44	34	24	14	5
12	89	78	68	57	48	38	29	20	11
14	89	79	70	60	51	42	34	25	17
16	90	81	71	62	54	45	37	30	22
18	91	82	73	65	56	49	41	34	27
20	91	83	74	66	59	51	44	37	30
22	92	83	76	68	61	54	47	40	34
24	92	84	77	69	62	56	49	43	37
26	92	85	78	71	64	58	51	46	40
28	92	85	78	71	64	58	51	46	40
28	93	85	78	72	65	59	53	48	42
30	93	86	79	73	67	61	55	50	44

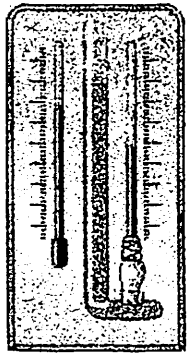


рис. 56

Психрометр - прибор для определения влажности воздуха - имеет два термометра: "сухой" и "влажный". Они так называются потому, что конец одного из термометров находится в воздухе, а конец второго обвязан кусочком марли, погруженным в воду (см. рис. 56). Испарение воды с поверхности влажного термометра приводит к понижению его температуры. Второй же, сухой термометр, показывает обычную температуру воздуха. Измеренные психрометром значения температур можно перевести в значение относительной влажности воздуха по специальной психрометрической таблице.

Зависимость кинетической энергии от температуры:

$$E = \frac{i}{2}kT$$

Здесь E- кинетическая энергия, T - температура, i - степень свободы, k - постоянный Больцмана.

Примеры для решения задач

Задача 1.

Определить наиболее вероятную скорость v_B молекул водорода при температуре $T = 400\ K$.

Дано:

$T = 400\ K.$

$R = 8{,}81\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

$\mu_{H_2} = 2\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

$v_B = ?$

Решение:

$$v_B = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}};$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2\cdot 8{,}81\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}\cdot 400\ \text{К}}{2\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}} = $$

$$= 1{,}87\cdot 10^{3}\,\frac{\text{м}}{\text{с}},$$

Ответ:

$v_B = 1{,}87\cdot 10^{3}\,\frac{\text{м}}{\text{с}},$

Задача 2.

Смесь гелия и аргона находится при температуре $T = 1{,}2\ кK$. Определить среднюю квадратичную скорость $<v_{кB}>$ и среднюю кинетическую энергию атомов гелия и аргона.

Дано:

$T = 1{,}2\cdot 10^{3}\ K$

$R = 8{,}31\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

$\mu_{He_2} = 4\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

$\mu_{\text{А}_\text{к}} = 33{,}9\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

$< v_{\text{кв}} >=?$

$E = ?$

Решение: $E_1 = \frac{3}{2}\text{к}T$

$$E_1 = \frac{3}{2}\cdot 1{,}38\cdot 10^{-23}\,\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\cdot 1{,}2\cdot 10^{3}K = $$

$$= 2{,}48\cdot 10^{-20}\text{Дж},$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{3RT}{\mu_{He_2}}} = $$

$$= \sqrt{\frac{3\cdot 8{,}31\,\frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot K}\cdot 1{,}2\cdot 10^{3}K}{4\cdot 10^{-3}\,\frac{\text{кг}}{\text{моль}}}} = $$

$$= 2{,}73\cdot 10^{3}\,\frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$E_2 = \frac{3}{2}\cdot 1{,}38\cdot 10^{-23}\,\frac{\text{Дж}}{\text{К}}\cdot 1{,}2\cdot 10^{3}K = 2{,}48\cdot 10^{-20}\text{Дж},$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{3RT}{\mu_{A_к}}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot K} \cdot 1{,}2 \cdot 10^3 K}{33{,}9 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}}} = 88{,}2 \frac{м}{с};$$

Ответь: $E_I = 2{,}48 \cdot 10^{-20}$ *Дж*, $v_2 = 2{,}73 \cdot 10^3 \frac{м}{с}$,

$E_I = 2{,}48 \cdot 10^{-20}$ *Дж*, $v_2 = 88{,}2 \frac{м}{с}$,

Задача 3.

В колбе вместимостью $V = 240$ *см³* находится газ при температуре $T = 290$ *К* и давлении $p = 50$ *кПа*. Определить количество вещества ν газа и число N его молекул.

Дано:
$V = 24 \cdot 10^{-5}$ $м^3$
$T = 290$ K
$P = 5 \cdot 10^4$ *Па*
$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$
$v = ?$
$N = ?$

Решение:

$$PV = vRT; \ldots\ldots v = \frac{PV}{RT};$$

$$v = \frac{5 \cdot 10^4 Па \cdot 24 \cdot 10^{-5} м^3}{8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot К} \cdot 290 \text{ К}} = 4{,}97 \cdot 10^{-3} моль;$$

$$N = v \cdot N_a$$

$$N = 4{,}97 \cdot 10^{-3} \text{ моль } \cdot 6{,}023 \cdot 10^{23} \frac{1}{моль}$$

$$= 2{,}99 \cdot 10^{21},$$

Ответь: $v = 4{,}97 \cdot 10^{-3}$ моль, $N = 2{,}99 \cdot 10^{21}$.

Задача 4.

Баллон вместимостью $V = 20$ *л* содержит углекислый газ массой $m = 500$ *г* под давлением $P = 1{,}3$ *МПа*. Определить температуру T газа

Дано:
$V = 2 \cdot 10^{-2} м^3$
$m = 0{,}5$ кг
$P = 1{,}3 \cdot 10^6 Па$
$\mu_{CO_2} = 44 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}$
$R = 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot К}$
$T = ?$

Решение:

$$PV = vRT; \quad v = \frac{m}{\mu}; \quad PV = \frac{m}{\mu} RT;$$

$$T = \frac{PV\mu}{mR};$$

$$T = \frac{1{,}3 \cdot 10^6 Па \cdot 2 \cdot 10^{-2} м^3 \cdot 44 \cdot 10^{-3} \frac{кг}{моль}}{0{,}5 \text{ кг} \cdot 8{,}31 \frac{Дж}{моль \cdot К}}$$

$$= 275 \text{ К};$$

Ответь: $T = 275$ *К*;

Задача 5.

В баллоне объемом $V = 7,5$ *л* при температуре $T = 300$ *K* находится смесь идеальных газов: $\nu_1 = 0,10$ *моля* кислорода, $\nu_2 = 0,20$ *моля* азота и $\nu_3 = 0,30$ *моля* углекислого газа. Считая газы идеальными, найти:

а) давление смеси;

б) среднюю молярную массу μ данной смеси, которая входит в уравнение ее состояния $pV = (m/\mu)RT$, где m - масса смеси.

Решение.

а) Смесь содержит ν_1, ν_2 и ν_3 молей O_2, N_2, и CO_2 соответственно. Тогда общее число молей в смеси $\nu = \nu_1+\nu_2+\nu_3$.

Уравнение состояния идеального газа для смеси $pV = \nu RT$,

откуда $p = \frac{\nu}{V} RT$ или после подстановки получаем

$p = \frac{(\nu 1+\nu 2+\nu 3)}{V} RT = ((0,1+0,2+0,3))\cdot 8,31\cdot 300/(7,5\cdot 10^{-5}) = 199440$ (*Па*)

или 1.968 *атм*.

б) Масса кислорода O_2, содержащегося в смеси $m_1 = \nu_1\mu_1$, масса N_2 азота, содержащегося в смеси $m_2 = \nu_2\mu_2$, масса углекислого газа, содержащегося в смеси $m_3=\nu_3\mu_3$.

Тогда масса смеси.

$$m = m_1 + m_2 + m_3 = \nu_1\mu_1 + \nu_2\mu_2 + \nu_3\mu_3$$

Молярная масса смеси

$$\mu = \frac{\text{масса смеси}}{\text{общее число молей}} = \frac{\nu 1\mu 1+ \nu 2\mu 2 +\nu 3\mu 3}{\nu 1+\nu 2+\nu 3.} =$$

$$\frac{0,1\cdot 32+0,2\cdot 28+0,3\cdot 44}{0,1+0.2+0.3} = 36,7 \text{ г/моль}$$

Ответ: $p = 1,968$ *атм.* $\mu = 36,7$ *г/моль.*

Задачи для самостоятельного решения

1. Как должны относиться длины L_1 и L_2 двух стержней из материалов с различными коэффициентами линейного расширения B_1 и B_2, чтобы при любой температуре разность длин стержней оставалась постоянной?

2. Два одинаковых стальных моста должны быть построены один на севере, другой на юге. Каковы должны быть при 0°C зазоры, компенсирующие удлинение моста при изменении температуры, если на юге возможны колебания от -10 до +50°C, а на севере от -50 до +20°C? При 0°C длина моста $L_0 = 100$ *м*, коэффициент линейного расширения стали $B = 10^{-5}\ K^{-1}$.

3. Латунный сосуд при нагревании увеличился в объеме на n = 0,6%. Найти увеличение температуры Δt сосуда, если коэффициент линейного расширения латуни $B = 2 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$.

4. При температуре t_0 = 0°C длины алюминиевого и железного стержней l_{0a}= 50 *см* и $l_{0ж}$ = 50,05 *см*. Сечения стержней одинаковы. При какой температуре t_1 длины стержней и при какой температуре t_2 их объемы будут одинаковы? Коэффициенты линейного расширения алюминия и железа $B_a = 2{,}4 \cdot 10^{-7}\ K^{-1}$ и $B_ж = 1{,}2 \cdot 10^{-7}\ K^{-1}$.

5. Коэффициенты объемного расширения воды для трех интервалов температур $a_1 = -3{,}3 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$ $(0 \le t_1 \le 4°C)$. $a_2 = 4{,}8 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$ $(4 \le t_2 \le 10°C)$. $a_3 = 1{,}5 \cdot 10^{-4}\ K^{-1}$ $(10 \le t_3 \le 20\ °C)$. Найти объем воды V при температуре t = 15°C, если при температуре t'=1°C объем $V = 10^3$ $см^3$.

6. Сообщающиеся сосуды заполнены жидкостью, имеющей температуру t_1. При нагревании жидкости в одном из сосудов до температуры t_2 уровень жидкости в этом сосуде установился на высоте H, а в другом на высоте h. Найти коэффициент объемного расширения жидкости.

7. Найти объем шарика ртутного термометра, если известно, что при температуре t_o = 0°C ртуть заполняет только шарик, а между делениями 0 и 100°C объем канала V = 3 $мм^3$. Коэффициент объемного расширения ртути $\alpha = 1{,}8 \cdot 10^{-4}\ K^{-1}$, коэффициент линейного расширения стекла $B = 8 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$.

8. В кварцевый литровый сосуд диаметра d = 6 *см* до половины налили воду, а затем положили шар из эбонита, имеющий объем V = 100 $см^3$. На какую высоту D_u поднимется уровень воды при изменении температуры от t_1 = 10°C до t_2 = 70°C? Коэффициент объемного расширения воды $\alpha = 3 \cdot 10^{-4}\ K^{-1}$. коэффициент линейного расширения эбонита $B = 8 \cdot 10^{-5}\ K^{-1}$. Тепловым расширением кварца пренебречь.

9. В кварцевый сосуд объема $V_1 = 2.5$ *л* помещен латунный цилиндр массы $m_2 = 8{,}5$ *кг*. Остальная часть сосуда заполнена водой. При нагревании сосуда вместе с содержимым на $\Delta t = 3°C$ уровень воды в сосуде не изменился. Найти коэффициент объемного расширения воды с. Коэффициенты линейного расширения кварца и латуни $B_1 = 0{,}42 \cdot 10^{-6}\ K^{-1}$ и $B_2 = 0{,}2 \cdot 10^{-4}\ K^{-1}$. Плотность латуни $\rho_2 = 8{,}5 \cdot 10^3$ *кг/м³*.

10. В колбу, плотно закрытую пробкой со вставленной в нее трубкой, до самой пробки налит керосин (рис. 57). Как изменится давление на дно колбы при нагревании керосина на $\Delta t = 30°C$, если объем колбы $V = 2$ *л*, высота ее $h = 20$ *см*, сечение трубки $S = 2$ *см²*? Коэффициент объемного расширения керосина $\alpha = 10^{-3}\ K^{-1}$, его плотность до нагревания $\rho = 0{,}8 \cdot 10^3$ *кг/м³*. Тепловым расширением колбы. пренебречь.

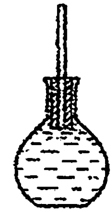


рис. 57

11. Представить на графиках ,в координатах ρ, V; ρ, T и V, T изотермический процесс для одного моля газа при температурах $T = T_1$ и $T = 3\ T_1$.

12. При нормальных условиях газ занимает объем $V_o = 1$ *м³*. Какой объем V будет занимать этот газ при изотермическом сжатии до давления $p = 4{,}9$ *МПа*? Нормальное атмосферное давление $p_o = 0{,}1$ *МПа*.

13. Газ сжат изотермически от объема $V_1 = 8$ *л* до объема $V_2 = 6$ *л*. Давление при этом возросло на $\Delta p = 4$ *кПа*. Каким было первоначальное давление p_1?

14. Каково давление газа в цилиндре под поршнем, если поршень удерживается в равновесии при помощи стержня, вдоль которого действует сила $F = 9{,}8$ *Н* (рис. 58)? Площадь поршня $S = 7$ *см²*, стержень составляет с нормалью к поршню угол $\alpha = 30°$. Атмосферное давление $p_o = 0{,}1$ *МПа*. Трением пренебречь.

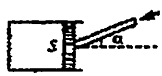


рис. 58

15. В баллоне объема $V = 10$ л находится кислород, масса которого $m = 12{,}8$ *г*. Давление в баллоне измеряется *U*-образным манометром, заполненным водой. Какова разность уровней воды Δh в трубках манометра при температуре газа $t = 27$ *°C*? Атмосферное давление $p_o = 0{,}1$ *МПа*. Плотность воды $\rho = 103$ *кг/м³*, молярная масса кислорода $\mu = 0{,}032$ *кг/моль*.

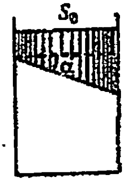


рис. 59

16. В цилиндре под поршнем массы $m = 6$ *кг* находится воздух. Поршень имеет форму, показанную на рис. 59. Площадь сечения цилиндра $S = 20$ *см*^{2}. Атмосферное давление $p_o = 0,1$ *МПа*. Найти массу груза M, который надо положить на поршень, чтобы объем воздуха в цилиндре изотермически сжать в два раза. Трением пренебречь.

17. Один конец цилиндрической трубки длины $l = 25$ *см* и радиуса $r = 1$ *см* закрыт пробкой, а в другой вставлен поршень, который медленно вдвигают в трубку. Когда поршень подвинется на расстояние $\Delta l = 8$ *см*, пробка вылетает. Считая температуру неизменной, найти силу трения F пробки о стенки трубки в момент вылета пробки. Атмосферное давление $P_o = 0,1$ *МПа*.

18. Узкая цилиндрическая трубка длины L, закрытая с одного конца, содержит воздух, отделенный от наружного столбиком ртути длины h. Трубка расположена открытым концом вверх. Какова была длина l столбика воздуха в трубке, если при перевертывании трубки открытым концом вниз из трубки вылилась половина ртути? Плотность ртути равна p. Атмосферное давление равно P_0.

19. Посередине откачанной и запаянной с обоих концов горизонтально расположенной трубки длины $L = 1$ *м* находится столбик ртути длины $h = 20$ *см*. Если трубку поставить вертикально, столбик ртути сместится на расстояние $l = 10$ *см*. До какого давления р была откачана трубка? Плотность ртути $p = 13,6 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}.

20. Запаянную с одного конца трубку длины $L = 76$ *см* погружают в вертикальном положении открытым концом в сосуд с ртутью. На каком расстоянии от поверхности должен находиться запаянный конец трубки, чтобы уровень ртути в ней был ниже уровня ртути в сосуде на величину $h = 76$ *см*? Плотность ртути $p = 13,6 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}. Атмосферное давление $p_0 = 0,1$ *МПа*.

21. Открытую с обоих концов трубку длины $L = 2$ *м* погружают в вертикальном положении на половину ее длины в сосуд с ртутью. В трубку вдвигают поршень. На каком расстоянии l от поверхности ртути в сосуде должен находиться поршень, чтобы уровень ртути в трубке опустился на величину $h = 1$ *м*? Плотность ртути $p = 13,6 \cdot 10^3$ *кг/м*^{3}. Атмосферное давление $p_o = 0,1$ *МПа*.

22. Тонкий резиновый шар радиуса $r_1 = 2$ *см* заполнен воздухом при температуре $t_1 = 20°C$ и давлении $p_o = 0,1$ *МПа*. Каков будет радиус шара r_2, если его опустить в воду с температурой $t_2 = 4°C$ на глубину $h = 20$ *м*?

23. К дну цилиндра длины l_1 с площадью поперечного сечения S_1 приделана трубка длины l_2 с площадью поперечного сечения S_2. Трубка целиком погружена в ртуть (рис. 60). На какую величину и опустится ртуть в трубке, если h выдвинуть поршень до самого дна цилиндра? При какой минимальной площади поперечного сечения цилиндра S_1 из трубки будет вытеснена вся ртуть? Плотность ртути равна ρ. Атмосферное давление равно p_0 *Мпа*.

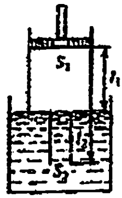


рис. 60

24. Для измерения глубины погружения в море различных приборов применяется запаянная с одного конца стеклянная трубка длины $l_0 = 1$ *м*, которая погружается в воду вместе с приборами в вертикальном положении открытым концом вниз. Максимальная глубина погружения H вычисляется по минимальной высоте l сжатого воздуха в трубке. Для определения высоты l внутренние стенки трубки покрываются легкорастворимой в воде краской. Та часть трубки, куда не проникла вода, остается окрашенной. На какую глубину H была опущена трубка, если оказалось, что $l = 0{,}2$ *м*? Плотность воды $\rho = 10^3$ *кг/м³*. Атмосферное давление $P = 0{,}1$ *МПа*. Температуру воздуха в трубке считать постоянной.

25. Пузырек воздуха поднимается со дна водоема, имеющего глубину H. Найти зависимость радиуса пузырька r от глубины h его местонахождения в данный момент времени, если его объем на дне водоема равен V. Силы поверхностного натяжения не учитывать.

26. В сосуд с ртутью погружена в вертикальном положении трубка с поршнем, открытая с нижнего конца. Если поршень находится на расстоянии $l_0 = 1$ *см* от поверхности ртути в сосуде, то уровни ртути в сосуде и трубке одинаковы. Найти давление воздуха $p_в$ трубке после подъема поршня над уровнем ртути в сосуде до высоты $l = 75$ *см*. Плотность ртути $\rho = 13{,}6\ 10^3$ *кг/м³*. Атмосферное давление $p_o = 0{,}1$ *МПа*.

27. Из затонувших подводных лодок иногда спасались, открывая сначала нижние клапаны (кингстоны), а затем верхний люк, и с пузырем воздуха выскакивали на поверхность. Какая доля к объёма лодки не заливалась водой после открытия кингстонов. если лодка находилась на глубине $h = 42$ *м*? Плотность морской воды $\rho = 1.03.10^3$ *кг/м³*. Начальное давление воздуха в лодке $P_o = 0{,}1$ *МПа*.

28. Оболочку аэростата, объем которой $V_1 = 600$ $м^3$, заполняют при атмосферном давлении $p_0 = 0{,}1$ *МПа* гелием, имеющим объем $V_2 = 500$ $м^3$. На какой высоте над уровнем Земли газ целиком заполнит оболочку аэростата? Атмосферное давление убывает вблизи Земли на $\Delta p_0 = 133$ *Па* при подъеме на каждые $\Delta H = 11$ *м* высоты. Температуру считать постоянной.

29. Два одинаковых сообщающихся сосуда с поршнями частично заполнены жидкостью с плотностью ρ. Расстояния поршней от поверхностей жидкости одинаковы и равны H (рис. 61). Один из поршней закреплен, а второй поднимают на высоту. При какой высоте и разность уровней жидкости в сосудах будет равна H? Начальное давление воздуха в каждом из сосудов равно p.

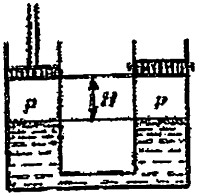


рис. 61

30. Ртуть, налитая в U - образную трубку, не доходит до ее концов на расстояние $h = 20$ *см*. Одно колено трубки запаяно (рис. 62). Найти понижение h_2 уровня ртути в открытом колене, если при выпускании части ртути через кран ее уровень в запаянном колене понизился на $h_1 = 18$ *см*. Плотность ртути $\rho_0 = 13{,}6 \cdot 10^3$ $кг/м^3$. Атмосферное давление $P_o = 0{,}1$ *МПа*.

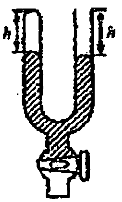


рис. 62

31. Найти объем и засасывающей камеры поршневого насоса, если при откачивании этим насосом воздуха из баллона объема $V = 4$ *л* давление уменьшается при каждом цикле в $n = 1{,}2$ раза.

32. Насос имеет объем засасывающей камеры υ. За сколько циклов работы насоса можно откачать баллон объема V, снизив давление в нем со значения p до p_r? Температуру считать постоянной.

33. Компрессор, обеспечивающий работу отбойных молотков, засасывает из атмосферы в единицу времени объем воздуха $V_t = 100$ *л/с*. Сколько отбойных молотков может работать от этого компрессора, если каждый молоток расходует в единицу времени объем воздуха $\upsilon = 100$ $см^3/с$ при давлении $p = 5$ *МПа*? Атмосферное давление $P_0 = 0{,}1$ *МПа*.

34. До какого давления накачан футбольный мяч объема $V = 3$ *л* за $n = 40$ качаний поршневого насоса? При каждом качании насос захватывает из атмосферы объем воздуха $v = 150$ $см^3$. Атмосферное давление $p_o = 0{,}1$ *МПа*.

35. Камеры автомобильных шин накачиваются при помощи насоса, работающего от двигателя. Сколько времени требуется для того, чтобы камеру объема $V = 6$ л накачать до давления $p = 0{,}5$ *МПа*, если при каждом цикле насос захватывает из атмосферы цилиндрический столб воздуха высоты $h = 10$ *см* и диаметра $d = 10$ *см* и если время одного качания $\tau = 1{,}5$ *с*? Начальное давление в камере $p_o = 0{,}1$ *МПа*.

36. Два сосуда, наполненных воздухом при давлениях $P_1 = 0{,}8$ *МПа* и $P_2 = 0{,}6$ *МПа*, имеют объемы $V_1 = 3$ *л* и $V_2 = 5$ *л*. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемами сосудов. Найти установившееся давление P в сосудах. Температуру считать постоянной.

37. Два сосуда с объемами $V_1 = 40$ *л* и $V_2 = 20$ *л* содержат газ при одинаковых температурах, но разных давлениях. После соединения сосудов в них установилось давление $p = 1$ *МПа*. Каково было начальное давление p_1 в большем сосуде, если начальное давление в меньшем сосуде $p_2 = 0{,}6$ *МПа*? Температуру считать постоянной.

38. Три сосуда с одинаковыми объемами сообщаются между собой кранами. Первый сосуд содержит газ массы m_1 третий - тот же газ массы m_2, во втором сосуде вакуум. Сначала соединили - второй и третий сосуды, а когда давление выровнялось, второй сосуд отсоединили от третьего и соединили с первым. Давление в первом и втором сосудах установилось равным p. Найти начальное давление p_1, в первом сосуде. Температуру считать постоянной.

39. Представить на графиках в координатах p, V; p, T и V, T изобарный процесс для одного моля газа при давлениях $p = p_1$ и $p = 3\,p_1$.

40. При нагревании газа на $\Delta T = 1$ *К* при постоянном давлении объем его увеличился два раза. В каком интервале температур происходило нагревание?

41. Газ нагревают от температуры $t_1 = 27\,°C$ до температуры $t_2 = 39\,°C$ при постоянном давлении. На сколько процентов увеличился его объем?

42. Два сосуда с одинаковыми объемами V соединены тонкой капиллярной трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемами сосудов. В середине капилляра находится капля ртути. Найти зависимость между относительным изменением температуры $\Delta T/T$ и смещением капли Δl, если начальная температура газа в обоих сосудах была равна T и нагревается только один сосуд. Площадь капилляра равна S.

43. Полый шарик объема $V = 100$ $см^3$ снабжен длинной трубкой с делениями. Объем трубки между соседними делениями $\Delta V = 0,2$ $см^3$. В шарике и части трубки находится воздух, который отделен от наружного воздуха каплей ртути. При температуре $t = 5°C$ капля ртути стоит у деления $n = 20$. В каких пределах можно измерять температуру таким термометром, если трубка имеет $N = 100$ делений? Тепловым расширением шарика и трубки пренебречь.

44. Закрытый цилиндр, расположенный горизонтально, разделен на две части подвижным поршнем. Одна часть цилиндра заполнена некоторым количеством газа при температуре $t_1 = -73°C$. другая - таким же количеством газа при температуре $t_2 = 27°C$. Поршень находится в равновесии. Найти объемы V_1 и V_2, занимаемые газом в двух частях цилиндра, если общий объем газа $V = 500$ $см^3$.

45. Цилиндрический сосуд, расположенный горизонтально, заполнен газом при температуре $t = 27°C$ и давлении $p = 0,1$ $МПа$ и разделен на две равные части подвижной перегородкой. Каково будет давление p', если в одной части газ нагреть до температуры $t' = 57°C$, а в другой температуру газа оставить без изменения?

4. ТЕРМОДИНАМИКА

Термодинамика - это теория тепловых явлений, в которой не учитывается атомарно-молекулярное строение вещества.

Это раздел физики, в котором изучаются процессы изменения и превращения внутренней энергии тел, а также способы использования внутренней энергии тел в двигателях.

Самым важным законом, лежащим в основе термодинамики является первый закон или первое начало термодинамики. Чтобы понять суть этого закона, для начала, вспомним что называется внутренней энергией.

Внутренняя энергия тела U - это сумма потенциальной энергии составляющих тело частиц, и кинетической энергии их хаотического теплового движения.

Нам хорошо известно, что внутреннюю энергию тела можно изменить, изменив температуру тела. А изменять температуру тела можно двумя способами:

1. совершая работу (либо само тело совершает работу, либо над телом совершают работу внешние силы);

2. осуществляя теплообмен – передачу внутренней энергии от одного тела к другому без совершения работы. Нам, также известно, что работа, совершаемая газом, обозначается $A_г$, а количество переданной или полученной внутренней энергии при теплообмене называется количеством теплоты и обозначается Q. Внутреннюю энергию газа или любого тела принято обозначать буквой U, а её изменение, как и изменение любой физической величины, обозначается с дополнительным знаком Δ, то есть ΔU.

$$U = \sum_{i=1}^{n} E_{\text{пот}_i} + \sum_{i=1}^{n} E_{\text{кин}_i} \qquad U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT = \frac{3}{2}\nu RT$$

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа U равна сумме кинетической энергии его молекул. Способы изменения внутренней энергии тела:

1) посредством теплопередачи Q (*теплопроводность, конвекция, излучение*);

2) совершение над телом работы $A_{внеш}$.

Адиабатический процесс. Процесс, при котором тепло не обменивается с внешней средой, называется адиабатическим процессом. В адиабатическом процессе мы пытаемся найти уравнение, которое связывает параметры идеального газа. В первом законе термодинамики

$$\Delta Q = \Delta U + P\Delta V$$

Мы выражаем изменение внутренней энергии идеального газа через изохорную теплоемкость:

$$\Delta Q = C_V\Delta T + P\Delta V$$

Сформулируем **первый закон термодинамики** для газа. Но, прежде всего, отметим, что когда газ получает некоторое количество теплоты от какого-либо тела, то его внутренняя энергия увеличивается, а когда газ совершает некоторую работу, то его внутренняя энергия уменьшается. Именно поэтому первый закон термодинамики имеет вид: $\Delta U = Q - A_г$ Так как работа газа и работа внешних сил над газом равны по модулю и противоположны по знаку, то первый закон термодинамики можно записать в виде: $\Delta U = Q + A_{внеш}$. Понять суть этого закона довольно просто, ведь изменить внутреннюю энергию газа можно двумя способами: либо заставить его совершить работу или совершить над ним работу, либо передать ему некоторое количество теплоты или отвести от него некоторое количество теплоты.

4.2. Энтропия. Второй закон термодинамики

В необратимом процессе не будет чрезмерных изменений в среде и рассматриваемой системе. Все процессы, которые не имеют этих условий, считаются необратимыми. Требуемый процесс равновесия является обратимым процессом, поскольку для сбалансированного процесса, происходящего в системе, не имеет значения, проходит ли он в правильном или обратном направлении.

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 - количество тепла, полученного системой, Q_2 - количество тепла, переданного наружу.

4.3. Свойство жидких и твердых тел.

4.3.1. Работа газа

По мере изменения объема газа рассмотрим его работу против внешних сил.

Когда газ внутри сосуда цилиндра под поршнем Δl расширяется (рис. 63), он выталкивает поршень на короткое расстояние, и газ действует против внешних сил:

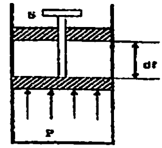


рис. 63 Изменение объема газа под поршнем

$$\delta A = F \cdot \Delta l = P \cdot S \cdot \Delta l = P\Delta V$$

где S - поверхность поршня, $S\Delta l$ - изменение объема газа.

Когда объем газа увеличивается на величину ΔV, работа, выполняемая газом, равна $P\Delta V$, т.е. значению заштрихованной поверхности на фигуре.

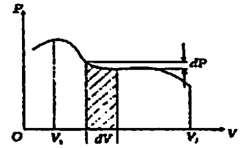


рис 64. График работы при произволной изменении давлении газа

4.3.2. Теплоемкость

Удельная теплоемкость вещества измеряется физической величиной, равной количеству тепла, затраченного на нагрев 1 *кг* вещества до 1 *К*:

$$C = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$$

Единица удельной теплоемкости составляет *Дж/кг.град*. Молярной теплоемкостью называется величина, равная количеству теплоты, расходуемого на нагревание 1 *моля* вещества до 1 *К*:

$$C_\mu = \frac{\mu}{m}\frac{\Delta Q}{\Delta T} = \frac{\Delta Q}{V\Delta T},$$

Удельная теплоемкость связана с молярной теплоемкостью следующим образом:

$$C_\mu = \mu C,$$

Теплоемкость не может рассматриваться как характеристика вещества, поскольку его теплоемкость может изменяться в процессе нагрева вещества, когда объем или давление не изменяются. Ниже мы рассмотрим, какой будет теплоемкость при разных изотермических процессах. Теплоемкость вещества зависит от характера термодинамического процесса и варьируется в разных процессах.

Примеры для решения задач

Задача 1.

Кислород при неизменном давлении $P = 80$ *кПа* нагревается. Его объем увеличивается от $V = 1$ $м^3$ до $V_1 = 3$ $м^3$. Определить:

1) изменение ΔU внутренней энергии кислорода;
2) работу A, совершенную им при расширении;
3) количество теплоты Q, сообщенное газу.

Дано:
$P = 80\cdot10^3$ *Па*
$V = 1$ $м^3$
$V_1 = 3$ $м^3$
1) ΔU =?
2) A-?
3) Q-?

Решение: т.к. $P = const \cdot Q = \Delta U + A;$

$A = P(V_2 - V_1) = 160$ *к Дж*

$$\Delta U = \frac{m}{\mu}\cdot\frac{iR}{2}(T_2 - T_1);\ T = \frac{\mu PV}{Rm};\ i{=}5;$$

$$\Delta U = \frac{5}{2}P(V_2 - V_1) = 400\ кДж;$$

$$U = \Delta U + A = 560\ кДж,$$

Ответ: 160 *кДж*, 400 *кДж*, 560 *кДж*

Задача 2.

Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура T_1 нагревателя в три раза выше температуры T_2 охладителя. Нагреватель передал газу количество теплоты $Q_1 = 42$ *кДж*. Какую работу А совершил газ?

Дано:
$T_2 = 3T_1$
$Q_1 = 42 \cdot 10^3 Дж;$
$A = ?$

Решение:

$$\eta = \frac{A}{Q_1};\quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1};\quad \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1};$$

$$A = Q_1\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right);$$

$$A = Q_1\left(1 - \frac{T_2}{3T_1}\right) = \frac{2}{3}Q_1 = 28\ кДж;$$

Ответ: 28 *кДж*

Задача 3.

При изохорном нагревании кислорода объемом $V = 50$ *л* давление газа изменилось на $\Delta P = 0{,}5$ *МПа*. Найти количество теплоты Q, сообщенное газу.

Дано:
$\Delta P = 0{,}5 \cdot 10^6$ Па
$V = 50$ *л*
Q - ?

Решение:
$V = const$, $Q = \Delta U$

$$Q = \frac{i}{2}V(P_1 - P_2) = \frac{5}{2}P\Delta V = 62{,}5 \text{ Дж};$$

Ответ: 62,5 Дж

Задача 4.

Найти изменение ΔS энтропии при изобарном расширении азота массой $m = 4$ *г* от объема $V_1 = 5$ *л* до объема $V_2 = 9$ *л*.

Дано:
$m = 0{,}004$ *кг*
$V_1 = 5$ *л*
$V_2 = 9$ *л*
$\Delta S = ?$

Решение:

$$P = const;\ Q = \frac{m}{\mu}C_p\Delta T;\ \frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = \frac{m}{\mu}C_p ln\frac{T_2}{T_1} = \frac{m}{\mu}C_p ln\frac{V_2}{V_1} = 2{,}45\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Ответ: 2,45 *Дж/К*

Задача 5.

Газ, занимавший объем $V_1 = 12$ *л* под давлением $P_1 = 100$ *кПа*, был изобарно нагрет от температуры $T_1 = 300$ *К* до $T_2 = 400$ *К*. Определить работу A расширения газа.

Дано:
$V_1 = 12$ *л*
$P_1 = 100$ *кПа*
$T_1 = 300$ *К*
$T_2 = 400$ *К*
$A = ?$

Решение:

$$A = P(V_1 - V_2);\quad P = const;\quad P = \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2};$$

$$P_1 = 100 \text{ кПа}$$

$$A = P\left(\frac{V_1T_2}{T_1} - V_1\right);\quad A = PV_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = 400 \text{ Дж};$$

Ответ: $A = 400$ *Дж*.

Задача 6.

Идеальный газ совершает цикл Карно. Работа A_1 изотермического расширения газа равна 5 *Дж*. Определить работу A_2 изотермического сжатия, если термический *КПД* $\eta = 0{,}2$.

Дано:
$A_1 = 5$ *Дж*
$\eta = 0{,}2$
$A_2 = ?$

Решение:

$T = const;\quad Q = A_1$

$A_1 -$ работа изотермического растирения

$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ и $Q_2 = (1 - \eta)Q_1$

$Q_2 = A_2 = (1 - \eta)Q_1 = 4$ Дж

$A_2 -$ работа изотермического с жатия

Ответ: 4 Дж;

Задачи для самостоятельного решения

1. За время $\tau = 1$ *ч* в холодильнике превращается в лед при температуре $t_0 = 0$ *°С* масса воды $m = 3{,}6$ *кг*, имевшая начальную температуру $t = 20$ *°С*. Какая мощность N потребляется холодильником от электросети, если он отдает в окружающее пространство в единицу времени энергию $Q_m = 840$ *Дж/с*? Удельная теплоемкость воды $c = 4{,}2$ *кДж/(кг*К)*. Удельная теплота плавления льда $r = 0{,}33$ *МДж/кг*.

2. В электрическом чайнике мощности $N = 800$ *Вт* можно вскипятить объем $V = 1{,}5$ *л* воды, имеющей температуру $t_1 = 20$ *°С*, за время $\tau = 20$ *мин*. Найти *КПД* чайника. Удельная теплоемкость воды $c = 4{,}2$ *кДж/(кг*К)*.

3. Поезд массой $m = 2000$ т при торможении с ускорением $a = 0{,}3$ *м/с²* остановился спустя время $\tau = 50$ *с* после начало торможения. Какое количество теплоты Q выделилось при торможении?

4. Найти количество теплоты Q, которое выделилось при абсолютно неупругом соударении двух шаров, двигающихся навстречу друг другу. Массы первого и второго шаров $m_1 = 0{,}4$ *кг* и $m_2 = 0{,}2$ *кг*, их скорости $\upsilon_1 = 3$ *м/с* и $\upsilon_2 = 12$ *м/с*.

5. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатика - раздел электродинамики, изучает покоящиеся электрически заряженные тела.

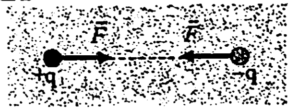


рис. 65

Электрический заряд - физическая величина, определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий.
Существует 2 знака электрических зарядов: положительный и отрицательный. Частицы с одноименными зарядами отталкиваются, с разноименными - притягиваются.

В обычном состоянии тела электро нейтральны и электромагнитные силы не проявляются.

Тело заряжено, если имеет избыток зарядов какого-либо знака: **отрицательно заряжено** - если избыток электронов; **положительно заряжено** - если недостаток электронов. Заряд на телах формируется вследствие перехода электронов с одного тела на другое.

Электризация тел - один из способов получения заряженных тел (например, соприкосновением). При этом оба тела заряжаются, причем заряды противоположны по знаку, но равны по модулю.

Элементарный заряд - минимальный заряд, разделить который невозможно. $q_e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*.

Дискретность электрического заряда (суммарный заряд).

$$q = Ne$$

q - электрический заряд (кулоны, *Кл*)
N - целое число.
e - элементарный электрический заряд ($e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ *Кл*)

Закон сохранения электрического заряда

$$q_1 + q_2 + \cdots + q_N = const$$

q_1, q_2 - электрические заряды (*Кл*),
N - число зарядов в системе

Закон Кулона: сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел ***в вакууме*** прямо пропорциональна произведению модулей заряда и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

$$F = k\frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}$$

ε — диэлектрическая постоянная среды (всегда > 1),
r - расстояние между зарядами
k — коэффициент пропорциональности ($k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$;

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$), q_1, q_2 - электрические заряды (*Кл*),

ε_0 — электрическая постоянная ($\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$)

Диэлектрическая проницаемость (постоянная) среды

$$\varepsilon = \frac{F_в}{F_{ср}} = \frac{E_в}{E_{ср}}$$

$F_в$ — сила взаимодействия точечных зарядов в вакууме (*Н*),
$F_{ср}$ — сила взаимодействия точечных зарядов в среде (Н),
$E_в$ — напряженность в вакууме (*В/м*);
$E_{ср}$ – напряженность в среде (*В/м*).

Результирующие силы $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \cdots + \vec{F}_N$

$\vec{F}_1$ - первая сила, действующая на заряд со стороны электрического поля (*Н*)
$\vec{F}_2$ - вторая сила, действующая на заряд со стороны электрического поля (*Н*)
N - число сил

Напряженность электрического поля $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$

$\vec{F}$ - сила, с которой поле действует на заряд (*Н*),
q - электрический заряд (*Кл*),
$\vec{E}$ - напряженность электрического поля (*В/м*).

Направление вектора напряженности совпадает с направлением вектора силы, действующей на положительный заряд, и противоположно направлению силы, действующий на отрицательный заряд.

Принцип суперпозиции полей

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \cdots \vec{E}_N$$

$\vec{F}_1$ - напряженность
поля первой заряженноя частицы,
$\vec{E}_2$ - напряженность
поля второй заряженной частицы

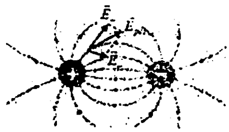


рис. 66

Напряженность поля точечного заряда (или поверхности шара, $r = R$)

$$E = \frac{k|q|}{\varepsilon r^2}$$

k — коэффициент пропорциональности ($k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$;

$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$),

q - электрический заряд (*Кл*),

ε — диэлектрическая постоянная среды (всегда > 1),

r - расстояние от данной точки до этого заряда (*м*)

Поверхностная плотность заряда

$$\sigma = \frac{q}{S}$$

q - электрический заряд (*Кл*), распределенный по поверхности площадью S,

S - площадь поверхности ($м^2$),

σ - поверхностная плотность заряда ($Кл/м^2$)

Напряженность поля бесконечно заряженной плоскости

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$$

σ — поверхностная плотность заряда ($Кл/м^2$),

ε_0 — электрическая постоянная $\left(\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}\right)$,

ε — диэлектрическая постоянная среды (всегда > 1).

Напряженность поля между двумя бесконечными равномерно заряженными плоскостями с одинаковой поверхностной плотностью зарядов

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0\varepsilon}$$

σ — поверхностная плотность заряда ($Кл/м^2$),

ε_0 — электрическая постоянная $\left(\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}\right)$,

ε — диэлектрическая постоянная среды (всегда > 1).

Потенциальная энергия заряженного тела в однородном электростатическом поле $W_p = qEd$

q – электрический заряд (Кл),

E — напряженность поля (*В/м*);

d - расстояние (*м*)

Работа при перемещении заряда в однородном электростатическом поле через потенциальную энергию

$$A = -\left(W_{p_2} - W_{p_1}\right) = -\Delta W_p$$

W_{p_2} — потенциальная энергия заряда находящегося в точке 2 (Дж)

W_{p_1} – потенциальная энергия заряда находящегося в точке 1 (Дж)

Потенциал электростатического поля

$$\varphi = \frac{W_p}{q} = Ed$$

W_p - потенциальная энергия, которой обладает заряд (Дж)
q – электрический заряд (Кл),

Работа через потенциал электростатического поля

$$A = -(q\varphi_2 - q\varphi_1)$$

q - электрический заряд (*Кл*),
φ – потенциал электростатического поля (В).

Работа через изменение потенциала

$$A = -q\Delta\varphi$$

q - электрический заряд (*Кл*),
$\Delta\varphi$ – изменение потенциала (*В*)

Разность потенциалов или напряжение

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi$$

φ_1 – потенциал в точке 1 электростатического поля (В),
φ_2 - потенциал в точке 2 электростатического поля (*В*)
$\Delta\varphi$ – изменение потенциала (*В*)

Работа электростатического поля через *разность* потенциалов (напряжение) $A = qU$

q - электрический заряд (*Кл*),
U - разность потенциалов (*В*)

Потенциал поля в точках на поверхности сферы с неподвижными зарядами или в любых точках внутри сферы (сплошной, или пустой)

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon R}$$

R - радиус сферы (*м*),
k – коэффициент пропорциональности ($k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$; $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$),
q - электрический заряд (*Кл*),
ε – диэлектрическая постоянная среды (всегда > 1)

Потенциал электростатического поля точечного заряженного источника

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}$$

r - расстояние от точки поля до заряда - источника, или до заряженной сферы (*м*),

k — коэффициент пропорциональности ($k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$;
$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$),

q - электрический заряд (*Кл*),

ε — диэлектрическая постоянная среды (всегда > 1).

Суммарный потенциал (определяется, как алгебраическая сумма потенциалов, создаваемых отдельными точечными зарядами, *В*).

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \cdots \varphi_N$$

φ_1 - потенциал, созданный первым точечным зарядом,

φ_2 - потенциал, созданный вторым точечным зарядом (*В*).

Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов

$$W_{p2} = q_2\varphi_1 = \frac{kq_1q_2}{\varepsilon r}$$

Потенциальная энергия заряда q_2 в электрическом поле точечного заряда q_1 равна произведению заряда q_2 на потенциал φ_1 поля заряда q_1. r - расстояние между зарядами.

Связь между напряженностью и напряжением

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

E - напряженность (*В/м*),

U - напряжение (*В*)

Δd - расстояние на которое перемещается заряд (*м*)

Электроемкость двух проводников

$$C = \frac{q}{U}$$

C - электроемкость двух проводников (*Ф*),

q - электрический заряд (*Кл*)

U - напряжение (*В*).

Емкость уединенного шарового проводника

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon R$$

C - емкость уединенного шарового проводника (*Ф*),

$\pi \approx 3{,}14$,

ε — диэлектрическая постоянная среды,

ε_0 — электрическая постоянная $\left(\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}\right)$,

R – радиус шара (*м*)

Емкость плоского конденсатора (пластин)

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d}$$

ε_0 – электрическая постоянная $\left(\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}\right)$,

ε – диэлектрическая постоянная среды,

S - площадь каждой пластины,

d - расстояние между пластинами

Последовательное соединение конденсаторов

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \cdots \frac{1}{C_N}$$

C_1 - электроемкость первого конденсатора

C_2 - электроемкость второго конденсатора (заряды равны друг другу, напряжение суммируется)

Параллельное соединение конденсаторов

$$C = C_1 + C_2 + \cdots C_N$$

C_1 - электроемкость первого конденсатора

C_2 - электроемкость второго конденсатора (напряжение одинаковое, заряды суммируются)

Энергия конденсатора

$$w_p = \frac{qEd}{2} = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$$

q - электрический заряд (*Кл*),

E - напряженность (*В/м*),

d - расстояние между пластинами,

U - напряжение (*В*),

C - емкость конденсатора (*Ф*).

Примеры для решения задач

Задача 1.

В неоднородном электростатическом поле электрону сообщили в точке B скорость v_B = 1000 *км/с*. Электрон, двигаясь свободно в поле по криволинейной траектории, достиг точки C со скоростью v_C = 2000 *км/с*. Какую разность потенциалов $\varphi_B - \varphi_C$ прошел электрон?

Решение.

Работа сил электростатического поля над электроном равна изменению кинетической энергии электрона:

$$(-e)(\varphi_B - \varphi_C) = \frac{mv_C^2}{2} - \frac{mv_B^2}{2}.$$

Здесь $e = 1{,}6\cdot10^{-19}$ *Кл* – модуль заряда электрона, $m = 9{,}1\cdot10^{-31}$ *кг* – масса электрона. Имеем: $(\varphi_B - \varphi_C) = -\frac{m}{2e}(v_C^2 - v_B^2) = -8{,}5\ B.$

Ответ: $\varphi_B - \varphi_C = -8{,}5\ B$

Задача 2.

Потенциал поля точечного заряда на расстоянии r = 5 *см* от него равен φ = 10 *В*. Что это значит?

Решение:

Это значит, что при переносе пробного положительного заряда 1 *Кл* с расстояния 5 *см* от заряда на бесконечность электрическое поле, разгоняя пробный заряд, совершит работу +10 *Дж*.

При переносе из той же точки на бесконечность (на нулевой уровень) отрицательного заряда –1 *Кл* электрическое поле, сопротивляясь переносу заряда, совершит отрицательную работу равную –10 *Дж*.

Задача 3.

Заряд q_1 находится на расстоянии r от заряда q_2 в среде с диэлектрической проницаемостью ε. Чему равна энергия их взаимодействия?

Решение.

Энергия взаимодействия равна произведению потенциала поля первого заряда в том месте, где находится второй заряд, на значение второго заряда:

$$\begin{cases} \{W_{12} = \varphi_1 q_2, \\ \varphi_1 = \dfrac{kq_1}{\varepsilon r} \end{cases} \Rightarrow W_{12} = \frac{kq_1 q_2}{\varepsilon r}$$

Задача 4.

В вершинах квадрата со стороной $l = 2$ *см* находятся четыре заряженные частицы, заряды которых одинаковы и равны $q = 1$ *мкКл*. Чему равна энергия их взаимодействия? Какой скорости достигнет одна частица, если её освободить? Масса каждой частицы $m = 1$ *г*.

Решение.

Общая энергия взаимодействия равна сумме энергий взаимодействия каждой частицы с каждой:

$$W_0 = 4\frac{kq^2}{l} + 2\frac{kq^2}{\sqrt{2}l},$$

после того, как одна частица улетит на достаточно большое расстояние, энергия взаимодействия оставшихся частиц будет равна

$$W = 2\frac{kq^2}{l} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}l};$$

Скорость улетевшей частицы найдем из закона сохранения энергии:

$$W_0 = W + \frac{mv^2}{2}; \qquad \frac{mv^2}{2} = 2\frac{kq^2}{l} + \frac{kq^2}{\sqrt{2}l} \Rightarrow$$

$$v = q\sqrt{\frac{k}{ml}(4 + \sqrt{2})} = 50 \text{ м/с}.$$

Задача 5.

В двух вершинах прямоугольника со сторонами a и $2a$ (рис. 67) закреплены точечные заряды Q и $3Q$. Какую минимальную работу надо совершить, чтобы переместить точечный заряд $4Q$ из состояния покоя из вершины B в вершину C?

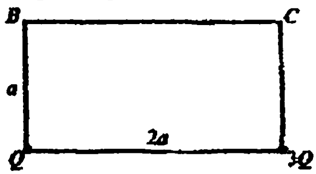


рис. 67

Решение.

Здесь идёт речь о работе A, которую необходимо совершить нам против электрических сил при переносе заряда $4Q$. Работа А в сумме с работой A_1 сил электростатического поля над зарядом $4Q$ равна рис. 67. изменению кинетической энергии перемещаемого заряда:

$$A + A_1 = \Delta K.$$

Отсюда $A = -A_1 + \Delta K$. Работа A будет минимальной, если величина ΔK минимальна, т. е. заряд $4Q$ придёт в вершину C с нулевой скоростью, т. е. $\Delta K = 0$. Итак, $A = -A_1$. Работа сил поля над зарядом,

$$A = 4Q(\varphi_B - \varphi_C),$$

где

$$\varphi_B = k\frac{Q}{a} + k\frac{3Q}{a\sqrt{5}}, \qquad \varphi_C = k\frac{Q}{a\sqrt{5}} + k\frac{3Q}{a},$$

потенциалы результирующего поля, созданного зарядами Q и $3Q$ в вершинах B и C.

Окончательно

$$A = \frac{8(\sqrt{5}-1)}{\sqrt{5}}\frac{kQ^2}{a} > 0.$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Цилиндр разделен на две части подвижным поршнем, имеющим массу m и площадь сечения S. При горизонтальном положении цилиндра давление газа в сосуде по обе стороны поршня одинаково и равно p. Найти давление p' газа над поршнем, когда цилиндр расположен вертикально. Температуру считать постоянной.

2. В трубке длины L = 1,73 *м*, заполненной газом, находится столбик ртути длины h = 30 *мм*. Когда трубка расположена вертикально, ртуть делит трубку на две равные части. Давление газа над ртутью p = 8 *кПа*. На какое расстояние L сдвинется ртуть, если трубку положить горизонтально? Плотность ртути равна ρ.

3. В объеме V = 4 *л* находится масса m = 0,012 *кг* газа при температуре T = 450 *К*. При какой температуре T' плотность этого газа ρ = 6 *кг/м³*? Давление считать постоянным.

4. Открытую стеклянную колбу, имеющую форму шара радиуса r = 2 *см*, с горлышком длины l = 10 *см* и диаметра d = 1 *см* нагрели до некоторой температуры t_1, а затем погрузили целиком в воду горлышком вниз. При охлаждении колбы вода вошла в горлышко. Когда колба приняла температуру воды t_2 = 13°*С*, ее приподняли из воды, не переворачивая, так что шарообразная часть оказалась над водой, а горлышко - частично погруженным в воду. Когда уровни воды в горлышке и снаружи выровнялись, под водой осталась половина горлышка. Какова температура t_1, до которой была нагрета колба? Тепловым расширением колбы пренебречь.

5. Воздух в открытом сосуде нагревают от температуры t_1=10°*С* до температуры t_2 = 600°*С*. Затем, герметически закрыв сосуд, охлаждают воздух в нем до первоначальной температуры t_1. Найти плотность воздуха в сосуде при температуре t_2 и после охлаждения. Плотность воздуха при нормальных условиях P_0 = 1,3 *кг/м³*. Тепловым расширением сосуда пренебречь.

6. Цилиндр с тяжелым поршнем, расположенный вертикально, заполнен кислородом, масса которого m = 10 *г*. После увеличения температуры на ΔT = 50 *К* поршень поднялся на высоту h = 7 *см*. Найти массу поршня M, если давление газа над поршнем P_0 = 0,1 *МПа*. Площадь поршня S = 100 *см²*. Молярная масса кислорода μ = 0,032 *кг/моль*.

7. В запаянной цилиндрической трубке, расположенной горизонтально, находится воздух при нормальных условиях. Трубка разделена подвижным поршнем на две части, отношение объемов которых $V_1/V_2 = 1/2$. До какой температуры t_1 следует нагреть меньшую часть трубки и до какой температуры t_2 охладить большую часть трубки, чтобы поршень делил трубку на две равные части? Нагревание и охлаждение обеих частей производится при $V/T = const$.

8. Посередине закрытой с обоих концов трубки длины $L = 1$ *м*, расположенной горизонтально, находится в равновесии подвижная перегородка. Слева от нее температура газа $t_1 = 100°C$, справа $t_2 = 0°C$. На каком расстоянии L от левого конца трубки установится перегородка, если температура всего газа станет равной $t_2 = 0°C$?

9. Открытую пробирку с воздухом при давлении P_1 медленно нагрели до температуры t_1, затем герметически закрыли и охладили до температуры $t_2 = 10°C$. Давление при этом упало до $P_2 = 0{,}7\,p$. До какой температуры t_1 была нагрета пробирка? Тепловым расширением пробирки пренебречь.

10. В цилиндре под поршнем находится воздух при давлении $P_1 = 0{,}2$ *МПа* и температуре $t_1 = 27°C$. Какой массы груз m нужно положить на поршень после нагревания воздуха до температуры $t_2 = 50°C$, чтобы объем воздуха в цилиндре был равен первоначальному? Площадь поршня $S = 30$ *см²*.

11. Манометр на баллоне с газом в помещении с температурой $t_1 = 17°C$ показывает давление $p = 240$ *кПа*. На улице показание манометра уменьшилось на $\Delta P = 40$ *кПа*. Найти температуру воздуха на улице, если атмосферное давление $P_0 = 0{,}1$ *МПа*.

12. При изготовлении электроламп их наполняют инертным газом при температуре $t_1 = 150°C$. Под каким давлением должны наполняться лампы, чтобы при температуре $t_2 = 300°C$, которая устанавливается в лампе при горении, давление не превышало $P_0 = 0{,}1$ *МПа*.

13. Доказать, пользуясь законами идеальных газов, равенство температурных коэффициентов объемного расширения α и давления β.

14. На рис. 68 дан график изменения состояния идеального газа в координатах V, T. Представить этот процесс на графиках в координатах p, V и p, T.

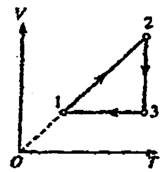


рис. 68

15. При каком давлении p плотность газообразного азота при температуре t = -73 °C составляет 0,4 плотности воды при комнатной температуре ρ_0= 103 *кг/м³*.

16. Газ, занимающий при температуре T_1 = 400 *K* и давлении P_1 = 0,1 *МПа* объем V_1 = 2 *л*, изотермически сжимают до объема V_2 и давления P_2, затем изобарно охлаждают до температуры T_3= 200 *K*, после чего изотермически изменяют Объем до V_4 = 1 *л*. Найти конечное давление P_4.

17. Решить предыдущую задачу графически, построив графики в координатах *p, V; p, T* и *V, T*.

18. Вычислить газовую постоянную *R*, которая входит в уравнение $pV_\mu = RT$, описывающее состояние одного моля газа.

19. Найти массу m водорода, находящегося в баллоне объема *V* = 20 *л* под давлением *p* = 830 *кПа* при температуре *t* = 17°*C*. Молярная масса водорода и μ = 0,002 *кг/моль*.

20. Некоторый газ массы m_1 = 7 *г* при температуре t_1 = 27°*C* создает в баллоне давление p_1= 50 *кПа*. Водород массы m_2 = 4 *г* при температуре t_2= 60°*C* создает в том же баллоне давление p_2 = 444 *кПа*. Какова молярная масса и неизвестного газа? Молярная масса водорода μ_2 = 0,002 *кг/моль*.

21. Открытый сосуд содержит воздух при температуре t_1 = 27°*C*. Какая часть массы воздуха останется в нем при нагревании до температуры t_2= 450°*C*? Тепловым расширением сосуда пренебречь.

22. Из баллона со сжатым кислородом израсходовали столько кислорода, что его давление упало со значения p_1 = 9,8 *МПа* до p_2 =7,84 *МПа*. Какая часть массы кислорода израсходована?

23. В баллоне объема *V* = 0,2 *м³* находится гелий при давлении p_1 = 0,1 *МПа* и температуре t_1 = 17°*C*. Массу гелия в баллоне увеличили, при этом его давление повысилось до p_2 = 0,3 *МПа*, а температура до t_2 = 47°*C*. На сколько увеличилась масса гелия? Молярная масса гелия μ = 0,004 *кг/моль*.

24. Газ массы *m* = 16 *г* при давлении *p* = 1 *МПа* и температуре t_1= 112°*C* занимает объем *V* = 1600 *см³*. Определить, какой это газ.

25. Найти плотность азота при температуре *t* = 27°*C* и давлении *p* = 0,1 *МПа*. Молярная масса азота μ = 0,028 *кг/моль*.

26. Высота пика Ленина на Памире *H* = 7134 *м*. Атмосферное давление на этой высоте *p* = 38 *кПа*. Найти плотность воздуха на вершине пика при *t* = 0°*C*. Молярная масса воздуха μ = 0,029 *кг/моль*.

27. Под каким давлением P, нужно наполнить воздухом баллон объема $V_1 = 10$ *л*, чтобы при соединении его с баллоном объема $V_2 = 30$ *л*, содержащим воздух при давлении $P_2 = 0{,}1$ *МПа*, установилось общее давление $P = 0{,}2$ *МПа*?

28. Газ последовательно переводится из состояния 1 с температурой t_1 в состояние 2 с температурой t_2, а затем в состояние 3 с температурой t_3 и возвращается в состояние 1. Найти температуру t_3, если процессы изменения состояния происходили так, как это показано на рис. 69, а температуры t_1 и t_2 известны.

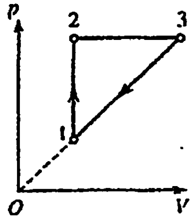


рис. 69

29. Два сосуда одинакового объема содержат воздух; один при температуре T_1 , и давлении P_1, другой при температуре T_2 и давлении P_2. Сосуды соединены, и после выравнивания давлений и температур воздух нагрет до температуры Т. Какое давление установится после нагревания?

30. Закрытый с обоих концов цилиндр, расположенный горизонтально, наполнен газом при давлении $p = 100$ *кПа* и температуре $t = 30°C$ и разделен подвижным поршнем на две равные части длины $L = 50$ *см*. На какую величину ΔT нужно повысить температуру газа в одной части цилиндра, чтобы поршень сместился на расстояние $l = 20$ *см*? Во второй части цилиндра температура не изменяется. Найти давление газа p' после смещения поршня.

31. Длинная пробирка открытым концом погружена в сосуд с ртутью. При температуре t_1=47°C уровни ртути в пробирке и в сосуде совпадают. Над уровнем ртути остается часть пробирки длины L = 76 см. На какую высоту l поднимется ртуть в пробирке, если ее охладить до температуры t_2=33°C? Атмосферное давление $p_0 = 0{,}1$ МПа.

32. Сосуд объема V = 100 л разделен на две равные части полупроницаемой перегородкой. В одной части сосуда находится $m_1 = 2$ г водорода, во второй $\nu_2 = 1$ моль азота. Найти давление, установившееся по обе стороны перегородки, если она может пропускаеть только водород. Температура в обеих половинах сосуда одна и та же t = 127°C и постоянна. Молярная масса водорода $\mu = 0{,}002$ *кг/моль*.

33. Внутри закрытого цилиндра, расположенного горизонтально, имеется тонкий теплонепроницаемый поршень. В одной части цилиндра находится кислород при температуре $t_1 = 127°C$, в другой - водород при температуре $t_1 = 27°C$. Массы обоих газов одинаковы. На каком расстоянии L от торца цилиндра в части, в которой находится водород, расположен поршень? Длина цилиндра $L = 65$ *см*. Молярные массы кислорода и водорода $\mu_1 = 0{,}032$ *кг/моль* и $\mu_2 = 0{,}002$ *кг/моль*.

34. Сосуд с газом разделен подвижной перегородкой на две части, отношение объемов которых $V_1/V_2 = 2/3$. Температуры газа в меньшем и большем объемах $t_1 = 177°C$ и $t_2 = 267°C$, давления в них одинаковы и равны р. Каково будет отношение объемов, если температуры сравняются? Теплообмен возможен только через перегородку.

35. Цилиндр длины $L = 85$ *см* разделен на две части подвижным поршнем. Одна часть цилиндра заполнена кислородом, а другая - водородом. При каком положении поршня давления в обеих частях цилиндра будут одинаковы? Температуры и массы газов в обеих частях цилиндра одинаковы. Молярные массы кислорода и водорода $\mu_1 = 0{,}032$ *кг/моль* и $\mu_2 = 0{,}002$ *кг/моль*.

36. В условиях предыдущей задачи найти, при каких температурах кислорода t_1 и водорода t_2 поршень будет делить цилиндр на равные части.

37. Найти температуру T азота массы $m = 2$ *г*, занимающего объем $V = 830$ *см*^{3} при давлении $p = 0{,}2$ *МПа*.

38. Шар заполнен газом при давлении $P = 0{,}105$ *МПа* и температуре $t = 27°C$. После подъема шара на высоту, где давление газа $P_0 = 0{,}08$ *МПа*, объем шара увеличился на n=5% и давление в нем стало отличаться от атмосферного на $\Delta P = 5$ *кПа*. Найти температуру воздуха t_2 на этой высоте, предполагая, что газ в шаре принял эту температуру.

39. Сколько баллонов водорода, имеющих объем $V = 50$ *л* каждый, при температуре $t = 27°C$ и давлении $p = 4$ *МПа* потребуется для заполнения аэростата объема $V' = 1000$ *м*^{3}, если при температуре $t' = 7°C$ давление в нем должно быть $p = 0{,}1$ *МПа*?

40. В каждую из четырех шин автомобиля накачан объем $V_1 = 200$ *л* воздуха при температуре $t_2 = 17°C$. Объем шины $V_2 = 54{,}6$ *л*, площадь сцепления шины с грунтом при температуре $t_2 = 0°C$, $S = 290$ *см*^{2}. Найти массу m автомобиля. Атмосферное Давление $P_0 = 0{,}1$ *МПа*.

41. Баллон объема $V_1 = 40$ *л* содержит сжатый воздух при давлении $P_1 = 15$ *МПа* и температуре $t_1 = 27°C$. Какой объем V воды можно вытеснить из цистерны подводной лодки воздухом этого баллона, если лодка находится на глубине $h = 20$ *м*, где температура $t_2 = 7°C$? Плотность воды $p = 103$ *кг/м³*. Атмосферное давление $P_0 = 0{,}1$ *МПа*.

42. Два невесомых поршня, соединенных нитью, вставлены в открытую с двух сторон трубку, имеющую площадь сечения $S = 10$ *см²*, и могут перемещаться без трения. Давления и температуры между поршнями и снаружи одинаковы и равны $P_0 = 0{,}1$ *МПа* и $t = 27°C$. До какой температуры t нужно нагреть воздух между поршнями, чтобы нить, соединяющая поршни, порвалась? Нить выдерживает силу натяжения $F = 30$ *Н*.

43. В двух горизонтально расположенных цилиндрах с закрепленными поршнями находится воздух при давлении P_0 и температуре T_0 (рис. 70). Объемы воздуха в цилиндрах равны V_1 и V_2, площади сечений поршней равны S_1 и S_2. Наружное давление равно нулю. Между поршнями вставляют стержень и освобождают поршни от закрепления, а затем воздух в первом цилиндре нагревают до температуры T. Найти силу F, сжимающую стержень в установившемся состоянии.

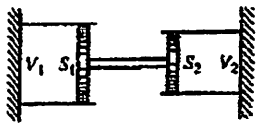


рис. 70

44. Шар с нерастяжимой оболочкой массы $M = 11{,}6$ *г* наполнен водородом, занимающим объем $V = 10$ *л*. Температура водорода и окружающего шар воздуха $t = 0°C$. Найти давление p водорода в шаре, если результирующая подъемная сила шара равна нулю, т.е. шар парит в воздухе. Атмосферное давление $P_0 = 0{,}1$ *МПа*. Молярные массы водорода и воздуха $\mu_1 = 0{,}002$ *кг/моль* и $\mu_2 = 0{,}029$ *кг/моль*.

45. Воздух в стакане высоты $H = 10$ *см* с площадью дна $S = 25$ *см²* нагрет до температуры $t_1 = 87°C$. Стакан погружен вверх дном в воду так, что его дно находится на уровне поверхности воды. Какой объем воды войдет в стакан, когда воздух в стакане примет температуру воды $t_2 = 17$ °C? Атмосферное давление $P_0 = 0{,}1$ *МПа*. Плотность воды $p = 103$ *кг/м³*.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Единицы физических величин в СИ

Величина	Единица	
	наименование	обозначение
Длина	метр	м
Масса	килограмм	кг
Время	секунда	с
Плоский угол	радиан	рад
Телесный угол	стерадиан	ср
Сила, вес	ньютон	Н (кг·м/с^2)
Момент силы	ньютон-метр	Н·м
Давление	паскаль	Па (Н/м^2)
Работа, энергия	джоуль	Дж (Н·м)
Мощность	ватт	Вт (Дж/с)
Частота колебаний	герц	Гц (1/с)
Термодинамическая температура	кельвин	К
Теплота (количество теплоты)	джоуль	Дж
Количество вещества	моль	моль
Электрический заряд	кулон	Кл (А·с)
Сила тока	ампер	А
Потенциал электрического поля, электрическое напряжение, ЭДС	вольт	В (Дж/Кл)
Напряженность электрического поля	вольт на метр	В/м
Электрическая емкость	фарад	Ф (Кл/В)
Электрическое сопротивление	ом	Ом (В/А)
Электрическая проводимость	сименс	См (А/В)
Магнитная индукция	тесла	Тл (Н/А·м)
Магнитный поток	вебер	Вб (Тл·м^2)
Индуктивность	генри	Гн (Вб/А)
Сила света	кандела	кд
Световой поток	люмен	лм
Освещенность	люкс	лк (лм/м^2)
Поток излучения	ватт	Вт
Поглощенная доза излучения	грей	Гр
Активность радиоактивного препарата	беккерель	Бк

Приложение 2

Полезные соотношения между внесистемными единицами измерения и единицами СИ

Время	1 сут = 86400 с 1 год = 365,25 сут = $3{,}16 \cdot 10^7$ с
Объем, вместимость	1 л = 10^{-3} м^3 = 10^3 см^3
Масса	1 т = 10^3 кг 1 а. е. м. = $1{,}66 \cdot 10^{-27}$ кг
Сила	1 кГс = 9,81 Н
Энергия	1 Вт·ч = $3{,}6 \cdot 10^3$ Дж 1 эВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж
Мощность	1 л.с. = 736 Вт
Давление	1 мм рт.ст. = 133 Па 1 атм = $1{,}01 \cdot 10^5$ Па
Концентрация частиц	1 см$^{-3}$ = 10^6 м$^{-3}$
Теплота	1 кал = 4,19 Дж

Приложение 3

Множители и приставки для образования десятичных, кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка		Пример	Множитель	Приставка		Пример
	Наименование	Обозначение			Наименование	Обозначение	
10^{18}	экса	Э	эксаметр: Эм	10^{-1}	деци	д	дециметр: дм
10^{15}	пэта	П	пэтагерц: ПГц	10^{-2}	санти	с	сантиметр: см
10^{12}	тера	Т	тераджоуль: ТДж	10^{-3}	милли	м	миллиампер: мА
10^{9}	гига	Г	гиганьютон: ГН	10^{-6}	микро	мк	микровольт: мкВ
10^{6}	мега	М	мегаом: Мом	10^{-9}	нано	н	нанометр: нм
10^{3}	кило	к	километр км	10^{-12}	пико	п	пикофарад: пФ

10^2	гекто	г	гектоватт гВт	10^{-15}	фемто	ф	фемтограмм: фг
10^1	дека	да	декалитр дал	10^{-18}	атто	а	аттокулон аКл

Приложение 4

Греческий алфавит Латинский алфавит

альфа	α	A		а	a	A
бета	β	B		бэ	b	B
гамма	γ	Γ		цэ	c	C
дельта	δ	Δ		дэ	d	D
эпси-лон	ε	E		е	e	E
дзета	ζ	Z		эф	f, *f*	F
эта	η	H		гэ (же)	g	G
тета	θ	Θ		ха (аш)	h	H
йота	ι	I		и	i, *i*	I
каппа	κ	K		йот (жи)	j	J
лямбда	λ	Λ		ка	k	K
мю	μ	M		эль	l, *l*	L
ню	ν	N		эм	m	M
кси	ξ	Ξ		эн	n	N

Список использованной литературы:

1. Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Керженцев В.В., Мякишев Г.Я. Физика. Задачи для поступающих в ВУЗы. Учеб. пособие. Для подгот. отд-ний ВУЗов. – М., ФИЗМАТЛИТ, 2015, – 344 с.

2. Краткий курс физики в конспектах Лепихин С.А. Тюмень 2015 г.

3. Физика подготовка к олимпиадам школьников Кокин С.М., Никитенко В.А., Прунцев А.П. Москва 2016 г.

4. Гельфгат И.М., Генденштейн П.Э., Кирик П.А. 1001 задача по физике с ответами, указаниями и решениями. – М., Илекса, 2018 г. – 352 с.

5. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика. 10 кл.: учеб. для общеобразоват. организаций: базовый уровень. – М.; ПРОСВЕЩЕНИЕ, 2017, – 416 с.

6. https://fizmatbank.ru/tasks/book/9.

7. https://ege-study.ru/ru/ege/materialy/fizika/izoprocessy/.

Кафедра физики.
Сборник задач и методическое пособие
к практическим занятиям
по физике для учащихся лицеев.
"Механика. Молекулярная физика.
Электростатика."
Предназначен для учащихся лицеев.
Рассмотрен на научно-педагогическом
совете академического лицея при ТУИТ и
рекомендован к публикации.
(Протокол №8/1 от 01.03.2023 г.).
Обсужден на заседании
кафедры физики и
рекомендован к публикации.
(Протокол №30 от 04.04.2023 г.).
Рассмотрен на научно-методическом
совете факультета
телевизионных технологий
и рекомендован к публикации.
(Протокол №7 от 11.04.2023 г.). Рассмотрен
на научно-методическом совете ТУИТ и
рекомендован к публикации.
(Протокол №8(107) 28.04.2023 г.).

Разработчики: ст. преп.: Л.М. Мухамедаминова,
ассистент Ш.А. Туляганова,
учитель У.Н. Иботов.
Рецензенты: д.ф.-м.н., профессор Э.З. Имамов.,
д.ф.-м.н., профессор З. Исаханов.
Директор Академического лицея ТУИТ
А.Х. Мадрахимов.
Ответственный редактор: профессор Э.З. Имамов.

Формат 60x84 1/16. Печ.лист 6.
Заказ №48. Тираж 20.
гпечатано в «Редакционно издательском»
отделе при ТУИТ.
Ташкент ул. Амир Темур, 108.