

МЕХАНИКА

Кинематика

Задачи 1.1 – 1.184

Динамика материальной точки

Задачи 2.1 – 2.184, 3.1 – 3.199

Динамика твердого тела

Задачи 4.1 – 4.191

Механические колебания

Задачи 14.1 – 14.194

Элементы специальной теории относительности

Задачи 5.1 – 5.124

Механика жидкости

Задачи 6.1 – 6.60

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Основы молекулярно-кинетической теории идеального газа

Задачи 7.1 – 7.111

Основы термодинамики

Задачи 8.1 – 8.167

Реальные газы, жидкости и твердые тела

Задачи 9.1 – 9.83

Задачи для самостоятельного решения

1.1 – 1.25. У диспетчера аэропорта к моменту начала дежурства (24 ч. 00 мин. 00 с) имеется информация о движении двух самолетов (табл. 1.1). Используемая система координат имеет начало в точке размещения диспетчера, ось Ox направлена на восток, а ось Oy – на север.

1. Отметить на координатной плоскости Oxy положения воздушных судов и направления их полетов.

2. Записать законы движения самолетов.

3. Определить время вылета одного из самолетов из аэропорта.

4. Определить минимальное расстояние, на которое сближаются самолеты, и время, когда произойдет сближение.

5. Найти модуль скорости первого самолета в системе отсчета, движущейся вместе со вторым самолетом.

Скорости самолетов считать неизменными. Размерами аэропорта пренебречь.

Таблица 1.1

Условия к задачам 1.1 – 1.25

Номер задачи	Координаты самолетов (км)						Проекция скоростей самолетов (км/ч)			
	первого			второго			первого		второго	
	x_1	y_1	z_1	x_2	y_2	z_2	v_{x1}	v_{y1}	v_{x2}	v_{y2}
1.1	30	40	2	30	80	3	432	576	576	-288
1.2	40	30	2	60	-60	3	576	432	0	720
1.3	60	60	3	-30	40	2	-720	0	-432	576
1.4	0	80	3	40	50	5	720	0	576	720
1.5	-40	50	3	-90	-20	3	-576	720	0	720
1.6	30	80	8	-40	30	3	-720	360	-576	432
1.7	-30	-30	2	-80	30	8	-432	-432	0	-720
1.8	-80	0	6	-30	30	2	432	432	-432	432
1.9	40	-30	3	100	0	8	576	-432	-432	-432
1.10	0	90	6	30	30	3	576	-432	540	540
1.11	40	-40	4	0	-90	6	432	-432	648	0
1.12	-40	40	3	-90	0	7	-576	576	0	576
1.13	0	-90	4	-40	-40	5	-432	432	-576	-576
1.14	50	50	3	50	-20	4	360	-360	720	-288
1.15	-50	-20	3	0	-90	3	-720	-288	-360	360
1.16	-30	50	2	0	100	9	-432	720	-360	-360
1.17	100	0	3	20	-50	2	-360	-360	288	-720
1.18	0	50	3	80	80	2	0	576	-576	-144
1.19	-50	40	2	-90	0	4	-720	576	576	576
1.20	50	70	1	50	0	3	288	-432	720	0
1.21	0	-60	3	-40	-30	2	-432	0	-576	-432
1.22	-50	30	4	0	90	2	-720	432	-576	0
1.23	30	-40	5	100	0	3	432	-576	-432	-432
1.24	0	80	3	-50	50	4	-432	-144	-720	720
1.25	50	50	5	90	30	3	720	720	-144	-432

1.26 – 1.52. Радиус-вектор материальной точки относительно начала координат изменяется со временем по известному закону, в котором \vec{i} и \vec{j} – орты осей X и Y . Найти: 1) уравнение траектории и изобразить ее графически; 2) проекции скорости на оси координат; 3) зависимости от времени векторов скорости и ускорения и модули обеих величин в момент времени t_1 согласно номеру задачи в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Условия к задачам 1.26 – 1.52

Номер задачи	Закон изменения радиуса-вектора $r = r(t)$, м	A	B	t , с
1.26	$\vec{r} = At\vec{i} + Bt^2\vec{j}$	2 м/с ²	6 м/с ²	1,5
1.27		1 м/с	5,5 м/с ²	3
1.28		4 м/с	48 м/с ²	0,5
1.29		3 м/с	18 м/с ²	1
1.30	$\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt^2\vec{j}$	3 м/с ²	5 м/с ²	2
1.31		2 м/с ²	4 м/с ²	3
1.32		2 м/с ²	3 м/с ²	0,5
1.33		4 м/с ²	6 м/с ²	0,2
1.34	$\vec{r} = At^2\vec{i} - Bt\vec{j}$	16 м/с ²	12 м/с	0,1
1.35		4 м/с ²	7 м/с	4
1.36		9 м/с ²	15 м/с	2
1.37		25 м/с ²	7,5 м/с	0,4
1.38	$\vec{r} = At\vec{i} - Bt^2\vec{j}$	1,5 м/с	5 м/с ²	1
1.39		2 м/с	6 м/с ²	2
1.40		0,5 м/с	2 м/с ²	0,5
1.41		3 м/с	4,5 м/с ²	5
1.42	$\vec{r} = At^2\vec{i} + Bt\vec{j}$	36 м/с ²	12 м/с	0,3
1.43		16 м/с ²	16 м/с	0,6
1.44		9 м/с ²	3 м/с	0,8
1.45		4 м/с ²	5 м/с	3
1.46	$\vec{r} = At^2\vec{i} - Bt^2\vec{j}$	0,2 м/с ²	1,2 м/с ²	2
1.47		1,5 м/с ²	3 м/с ²	2,5
1.48		0,5 м/с ²	2 м/с ²	1,5
1.49		2 м/с ²	5 м/с ²	0,2
1.50	$\vec{r} = At\vec{i} + Bt\vec{j}$	0,4 м/с	2 м/с	0,25
1.51		2,5 м/с	5 м/с	4
1.52		3 м/с	4,5 м/с	1,3

1.53 – 1.80. Две материальные точки движутся в одной и той же системе отсчета согласно заданным уравнениям. В какой момент времени скорости этих точек будут одинаковыми? Найти скорости и ускорения точек в этот момент времени согласно номеру задачи в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Условия к задачам 1.53 – 1.80

Номер задачи	Уравнение движений первой точки, м	Уравнение движений второй точки, м
1.53	$x = 20 + 4t - 4,5t^2$	$x = 2 + 2t + 0,5t^2$
1.54	$x = 12 + 19t + 0,6t^2$	$x = 21 + 16t + 1,6t^2$
1.55	$x = 8 + 12t - 0,3t^2$	$x = 9 + 15t - 0,9t^2$
1.56	$x = 23 + 2,6t + 1,5t^2$	$x = 16 + 8t - 0,75t^2$
1.57	$x = 24 + 6t + 0,5t^2$	$x = 8 + 20t - 1,5t^2$
1.58	$x = 6 + 17,8t - 1,75t^2$	$x = 17 + 3t + 0,1t^2$
1.59	$x = 30 + 15t - 1,25t^2$	$x = 25 + 14t + 1,25t^2$
1.60	$x = 11 + 3t - 0,1t^2$	$x = 10 + 6t - 0,4t^2$
1.61	$x = 13 + 12,9t - 1,8t^2$	$x = 30 + 5,2t - 0,7t^2$
1.62	$x = 7 + 1,2t + 1,6t^2$	$x = 4 + 18t - 0,8t^2$
1.63	$x = 29 + 10t + 0,5t^2$	$x = 18 + 14t + 0,3t^2$
1.64	$x = 15 + 9,4t - 1,5t^2$	$x = 24 + 7t - 0,7t^2$
1.65	$x = 4 + 16t + 0,15t^2$	$x = 5 + 19,5t - 1,6t^2$
1.66	$x = 21 + 19,4t - 0,35t^2$	$x = 15 + 8t + 0,6t^2$
1.67	$x = 26 + 2,2t + 1,8t^2$	$x = 32 + 15t + 0,2t^2$
1.68	$x = 19 + 6,2t - 0,8t^2$	$x = 20 + 4t + 1,4t^2$
1.69	$x = 18 + 10t + 0,45t^2$	$x = 11 + 11t + 0,4t^2$
1.70	$x = 3 + 18t - 1,25t^2$	$x = 26 + 7t + 1,5t^2$
1.71	$x = 25 + 20t - 0,2t^2$	$x = 6 + 16t - 0,1t^2$
1.72	$x = 10 + 7t + 0,65t^2$	$x = 19 + 13t - 0,85t^2$
1.73	$x = 27 + 14,7t + 1,2t^2$	$x = 3 + 30t - 0,5t^2$
1.74	$x = 2 + 16t - 0,7t^2$	$x = 29 + 17t - 0,9t^2$
1.75	$x = 22 + 6,2t + 1,5t^2$	$x = 23 + 14t + 0,2t^2$
1.76	$x = 14 + 15t - 0,2t^2$	$x = 12 + 10,2t + 1,4t^2$
1.77	$x = 5 + 12t + 1,7t^2$	$x = 14 + 14,2t + 0,6t^2$
1.78	$x = 28 + 20t - 0,4t^2$	$x = 28 + 13,4t + 1,8t^2$
1.79	$x = 16 + 14,3t - 2t^2$	$x = 7 + 12t + 0,3t^2$

1.80	$x = 9 + 9t + 0,8t^2$	$x = 22 + 7t + 1,2t^2$
------	-----------------------	------------------------

1.81 – 1.108. Мяч, брошенный горизонтально с начальной скоростью U_0 , ударяется о стену, находящуюся на расстоянии ℓ от места бросания. Угол, под которым мяч подлетает к поверхности стенки, равен φ , высота места удара мяча о стену на Δh меньше высоты, с которой брошен мяч. Сопротивление воздуха не учитывают. Найти неизвестные величины согласно номеру задачи в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Условия к задачам 1.81 – 1.108

Номер задачи	ℓ , м	U_0 , м/с	φ , град	Δh , м
1.81	?	11,2	?	2,5
1.82	6	?	36,9	?
1.83	?	24,75	81	?
1.84	10,5	?	?	6
1.85	5	5,92	?	?
1.86	?	11,88	?	5
1.87	8,5	?	46,7	?
1.88	?	18,78	80,5	?
1.89	7	?	?	3
1.90	11	9,94	?	?
1.91	?	10,58	?	0,7
1.92	9	?	66	?
1.93	?	22,27	84,9	?
1.94	4,5	?	?	2,5
1.95	8	25,04	?	?
1.96	?	22,27	?	0,8
1.97	10	?	84,3	?
1.98	?	11,07	68,2	?
1.99	12	?	?	4
1.100	5,5	7,7	?	?
1.101	?	10,51	?	7,5
1.102	6,5	?	81,25	?
1.103	?	8,95	49,4	?
1.104	4	?	?	1
1.105	7,5	26,25	?	?
1.106	?	24,35	?	1
1.107	9,5	?	40,8	?
1.108	?	20,35	72,9	?

1.109 – 1.136. Точка движется по окружности радиусом R с постоянным тангенциальным ускорением a_τ . Через время t после начала движения

нормальное ускорение точки $a_n = na_\tau$. Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Условия к задачам 1.109 – 1.136

Номер задачи	R , см	a_τ , м/с ²	t , с	n
1.109	?	0,5	2,1	0,6
1.110	87,27	?	0,8	2,2
1.111	840	2,8	?	0,75
1.112	115,2	1,6	1,2	?
1.113	?	0,8	1,5	1
1.114	14,4	?	0,6	1,25
1.115	4	0,4	?	1,6
1.116	270,75	3	1,9	?
1.117	?	1,4	0,5	0,5
1.118	320	?	2	2,5
1.119	8,33	0,25	?	3
1.120	887,47	2,6	1,6	?
1.121	?	1,5	0,8	1,75
1.122	28,17	?	1,3	2,4
1.123	176	2,2	?	5
1.124	8	0,7	0,2	?
1.125	?	1,2	0,4	2
1.126	125	?	1	0,8
1.127	168	3,5	?	3
1.128	324	0,2	1,8	?
1.129	?	1	1,4	1,2
1.130	5,4	?	0,3	2,5
1.131	33,3	2,4	?	1,8
1.132	173,4	0,6	1,7	?
1.133	?	2	0,9	0,4
1.134	162,9	?	1,1	2,6
1.135	546,13	3,2	7	1,5
1.136	35,28	1,8	0,7	?

1.137. Закон движения материальной точки имеет вид $x = b_1 t + d_1 t^3$, $y = b_2 t + c_2 t^2$, $z = 0$, где $b_1 = 27$ м/с; $d_1 = -1$ м/с³; $b_2 = 32$ м/с; $c_2 = -8$ м/с². Построить траекторию движения точки в первые 6 с. Определить тангенциальное и нормальное ускорения и радиус кривизны траектории в момент времени $t_1 = 2$ с.

1.138. Камень, брошенный с высоты $h = 2,1$ м под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, падает на землю на расстоянии $S = 42$ м (по горизонтали) от места бросания. Найти начальную скорость камня, время полета и максимальную высоту подъема над уровнем земли. Определить также

радиусы кривизны траектории в верхней точке и в точке падения камня на землю.

1.139. Материальная точка начинает двигаться по окружности радиусом $r = 10$ см с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,4$ см/с². Через какой промежуток времени вектор ускорения \vec{a} образует с вектором скорости \vec{v} угол β , равный: а) 60° ; б) 80° ? Какой путь пройдет за это время движущаяся точка? На какой угол повернется радиус-вектор, проведенный из центра окружности к движущейся точке, если в начальный момент времени он направлен вертикально вверх? Движение происходит по часовой стрелке.

1.140. Автомобиль едет по прямой из пункта A в пункт B , преодолевая это расстояние за время $T = 1$ ч. Известно, что скорость автомобиля меняется по закону $v(t) = v_0 \sin\left(\frac{\pi}{T}t\right)$, где время t отсчитывается с момента выезда из пункта A , а максимальная скорость автомобиля $v_0 = 80$ км/ч. Определить среднюю путевую скорость v_{cp} автомобиля и расстояние S между A и B .

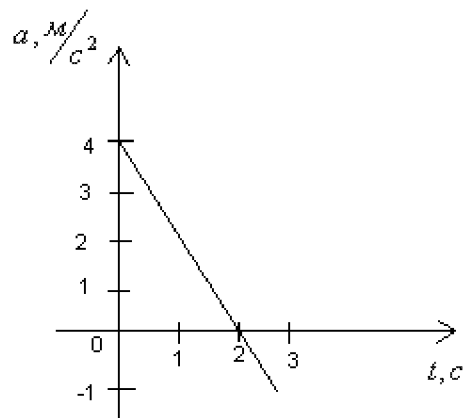
1.141. Автомобиль едет по прямой из пункта A в пункт B , расстояние между которыми $l = 1$ км. Скорость автомобиля меняется в зависимости от пройденного пути S по закону $v(S) = v\sqrt{\frac{S}{l}}$, где $v = 72$ км/ч – скорость, достигнутая автомобилем в конце пути. Определить скорость автомобиля v_1 через время $t_1 = 1$ мин после начала путешествия, полное время пути T и среднюю путевую скорость $v_{\text{пд}}$.

1.142. Тело брошено с начальной скоростью $v_0 = 19,6$ м/с под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить: 1) наименьшую скорость тела во время движения; 2) координаты точки, в которой угол между направлениями скорости и ускорения $\beta = 45^\circ$; 3) тангенциальное и нормальное ускорения в начале и конце траектории, а также в ее высшей точке.

1.143. Автомашина начинает движение с нулевой скоростью по прямому пути сначала с ускорением $a = 5$ м/с², затем движется равномерно и, наконец, замедляется до остановки с тем же ускорением a . Полное время движения $\tau = 25$ с. Средняя путевая скорость оказалась равной $v_{cp} \langle v \rangle = 72$ км/ч. Сколько времени t автомашина двигалась равномерно? Найти скорость равномерного движения.

1.144. Маховик начал вращаться равноускоренно и за время $t = 10$ с достиг частоты вращения $\nu = 300$ об/мин. Определить угловое ускорение ε маховика и число оборотов N , которое он сделал за это время.

1.145. На рисунке представлена зависимость ускорения a от времени t для материальной точки, движущейся прямолинейно. Определить скорость v и координату X точки через $t = 3$ с после начала движения. В какой момент времени t_1 точка изменит направление движения?



1.146. Ускорение движущейся прямолинейно материальной точки изменяется по закону $a = A + Bt$, где $A = 9$ м/с²; $B = -6$ м/с³.

Определить скорость v точки через $t_1 = 4$ с после начала движения, а также координату X и путь S , пройденный точкой за этот промежуток времени.

1.147. Движение материальной точки в плоскости XOY описывается законом $x = At$, $y = A(1 + Bt)t$, где A и B – положительные постоянные; t – время. Определить уравнение траектории материальной точки; радиус-вектор точки в зависимости от времени; модули скорости и ускорения в зависимости от времени.

1.148. Воздушный шар поднимается с Земли вертикально вверх с ускорением $a = 0,9$ м/с². Через $t_1 = 12$ с после начала его движения пассажир уронил гайку. Определите время $t_{\text{пад}}$ падения гайки на землю; ее скорость $v_{\text{пад}}$ в момент удара о землю.

1.149. Тело брошено под углом α к горизонту. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить этот угол, если максимальная высота подъема h_{max} меньше дальности полета S в $n = 2,4$ раза.

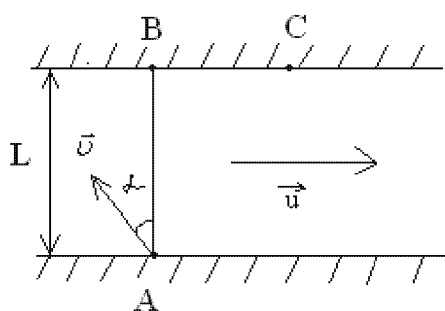
1.150. Материальная точка начинает вращаться с постоянным угловым ускорением. Определите угловое ускорение ε точки, если через промежуток времени $t = 5$ с угол α между векторами полного ускорения \vec{a} и скорости \vec{v} составляет 51° .

1.151. Радиус-вектор материальной точки, движущейся в поле тяготения Земли, описывается уравнением $\vec{r} = v_0 t \vec{i} - \frac{gt^2}{2} \vec{j}$, где $v_0 = 76$ м/с, g – ускорение свободного падения; \vec{i}, \vec{j} – орты координатных осей X и Y .

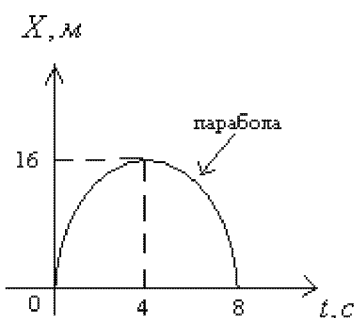
Определите момент времени t_1 после начала движения, когда вектор скорости \vec{v} точки направлен под углом $\alpha = 35^\circ$ к горизонту. Чему равна скорость v в этот момент времени?

1.152. Вентилятор после выключения за время $t = 5,5$ с, двигаясь равнозамедленно, сделал до остановки $N = 22$ оборота. Определите угловую скорость ω_0 и частоту вращения n вентилятора в рабочем режиме, а также угловое ускорение вентилятора ε .

1.153. Человек в лодке переплывает реку, отправляясь из точки A (см. рис.). Если он будет держать курс перпендикулярно к берегам, то через $t_1 = 10$ мин после отправления попадет в точку C , лежащую на



расстоянии $S = 120$ м ниже точки B по течению реки. Если он будет держать курс под некоторым углом α к прямой AB против течения, то через $t_2 = 12,5$ мин попадет в точку B . Определить ширину реки L , скорость лодки относительно воды v , угол α , под которым плыл лодочник во втором случае, скорость течения реки u .



1.154. Точка движется вдоль оси X согласно графику, изображенному на рисунке. Построить графики изменения ускорения $a(t)$ и скорости $v(t)$ движения. Определить начальную v_0 и среднюю $\langle v \rangle$ скорости движения.

1.155. Материальная точка движется прямолинейно с начальной скоростью $v_0 = 10$ м/с и с постоянным ускорением $a = -5$ м/с². Определить, чему равен путь S , пройденный точкой, и модуль ее перемещения Δr спустя время $t = 4$ с после начала отсчета времени.

1.156. За время τ тело прошло путь S , причем его начальная скорость увеличилась в K раз. Определить величину ускорения тела a .

1.157. По прямой начинает двигаться материальная точка с постоянным ускорением. Спустя время T после начала ее движения ускорение меняет знак на противоположный, оставаясь неизменным по величине. Определить, через какое время t_1 после начала движения точка вернется в исходное положение.

1.158. Камень бросают со скоростью v_0 под углом α к горизонту. Через какое время t скорость камня будет составлять угол β с горизонтом? Сопротивлением воздуха пренебречь.

1.159. Материальная точка движется, замедляясь, по прямой с ускорением \vec{a} , модуль которого зависит от ее скорости v по закону $|\vec{a}| = b\sqrt{v}$, где b – положительная постоянная. В начальный момент скорость точки равна v_0 . Какой путь она пройдет до остановки? За какое время она пройдет этот путь?

1.160. Ускорение материальной точки изменяется по закону $\vec{a} = At\vec{i} - B\vec{j}$, где $A = 4 \text{ м/с}^3$, $B = 4 \text{ м/с}^2$. Найти, на каком расстоянии от начала координат она будет находиться в момент времени $t = 1 \text{ с}$, если при $t = 0$ $r_0 = 0$, $\vec{v}_0 = 0$.

1.161. Два тела бросили одновременно из одной точки: одно – вертикально вверх, другое – под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту. Начальная скорость каждого тела $v_0 = 25 \text{ м/с}$. Пренебрегая сопротивлением воздуха, найти расстояние между телами через $t_0 = 1,7 \text{ с}$.

1.162. Радиус-вектор частицы меняется со временем t по закону $\vec{r} = \vec{b}t(1 - \alpha t)$, где \vec{b} – постоянный вектор; α – положительная постоянная. Найти: а) скорость \vec{v} и ускорение \vec{a} частицы в зависимости от времени; б) промежуток времени Δt , по истечении которого частица вернется в исходную точку, а также путь, который она пройдет при этом.

1.163. Диск радиусом $R = 10 \text{ см}$ вращается так, что зависимость линейной скорости точек, лежащих на ободке диска, от времени задается уравнением $v = At + Bt^2$ ($A = 0,3 \text{ м/с}^2$, $B = 0,1 \text{ м/с}^3$). Определить момент времени, для которого вектор полного ускорения \vec{a} образует с радиусом колеса угол $\varphi = 4^\circ$.

1.164. Под каким углом к горизонту надо бросить шарик, чтобы: а) центр кривизны вершины траектории находился на земной поверхности; б) радиус кривизны начала его траектории был в $n = 8$ раз больше, чем в вершине?

1.165. Воздушный шар начинает подниматься с поверхности Земли. Скорость его подъема постоянна и равна v_0 . Благодаря ветру шар приобретает горизонтальную компоненту скорости $v_x = \alpha y$, где α – постоянная, y – высота подъема. Найти зависимость от высоты подъема: а)

величины сноса шара $x(y)$; б) полного, тангенциального и нормального ускорений шара.

1.166. Точка движется по окружности со скоростью $v = \alpha t$, где $\alpha = 0,5 \text{ м/с}^2$. Найти ее полное ускорение в момент, когда она пройдет $n = 0,1$ длины окружности после начала движения.

1.167. Уравнение движения материальной точки по прямой (ось X) имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 4 \text{ м}$; $B = 2 \text{ м/с}$; $C = -0,5 \text{ м/с}^3$. Для момента времени $t_1 = 2 \text{ с}$ определить: а) координату x_1 точки; б) мгновенную скорость v_1 ; в) мгновенное ускорение a_1 .

1.168. Уравнение движения материальной точки по прямой (ось X) имеет вид $x(t) = A + Bt + Ct^2$, где $A = 5 \text{ м}$, $B = 4 \text{ м/с}$, $C = -1 \text{ м/с}^2$. Построить график зависимости координаты x и пути S от времени. Определить среднюю скорость $\langle v_x \rangle$ за интервал времени от $t_1 = 1 \text{ с}$ до $t_2 = 6 \text{ с}$. Найти среднюю путевую скорость v_{cp} за тот же интервал времени.

1.169. Автомобиль движется по закруглению шоссе, имеющему радиус кривизны $R = 50 \text{ м}$. Уравнение движения автомобиля $\xi(t) = A + Bt + Ct^2$, где ξ – криволинейная координата, отсчитанная по дуге окружности, $A = 10 \text{ м}$, $B = 10 \text{ м/с}$, $C = -0,5 \text{ м/с}^2$. Найти: а) скорость v автомобиля, его тангенциальное a_t , нормальное a_n и полное a ускорения в момент времени $t = 5 \text{ с}$; б) длину пути S и модуль перемещения $|\Delta \vec{r}|$ автомобиля за интервал времени $\tau = 10 \text{ с}$, отсчитанный с момента начала движения.

1.170. Маховик, вращавшийся с постоянной частотой $n_0 = 10 \text{ с}^{-1}$, при торможении начал вращаться равнозамедленно. Когда торможение прекратилось, вращение маховика снова стало равномерным, но уже с частотой $n = 6 \text{ с}^{-1}$. Определить угловое ускорение ε маховика и продолжительность t торможения, если за время равнозамедленного движения маховик сделал $N = 50$ оборотов.

1.171. Колесо вращается вокруг неподвижной оси так, что угол φ его поворота зависит от времени как $\varphi = \beta t^2$, где $\beta = 0,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$. Найти полное ускорение a точки A на ободе колеса в момент $t = 2,5 \text{ с}$, если скорость точки A в этот момент $v = 0,65 \text{ м/с}$.

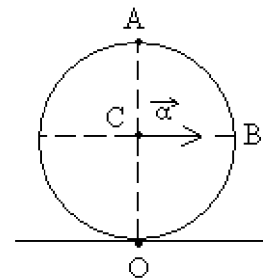
1.172. Твердое тело начинает вращаться вокруг неподвижной оси с угловым ускорением $\varepsilon = \alpha t$, где $\alpha = 2 \cdot 10^{-2} \frac{\text{рад}}{\text{с}^3}$. Через сколько времени

после начала вращения вектор полного ускорения произвольной точки тела будет составлять угол $\varphi = 60^\circ$ с ее вектором скорости?

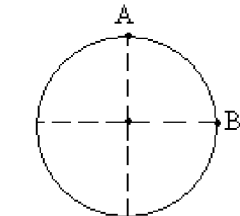
1.173. Твердое тело вращается вокруг неподвижной оси так, что его угловая скорость зависит от угла поворота φ по закону $\omega = \omega_0 - \alpha\varphi$, где ω_0 и α – положительные постоянные. В момент времени $t = 0$ угол $\varphi = 0$. Найти зависимость от времени: а) угла поворота; б) угловой скорости.

1.174. Точка A находится на ободе колеса радиусом $R = 0,5$ м, которое катится без скольжения по горизонтальной поверхности со скоростью $v = 1$ м/с. Найти: а) модуль и направление ускорения точки A ; б) полный путь S , проходимый точкой A между двумя последовательными моментами ее касания поверхности.

1.175. Шар радиусом $R = 10$ см катится без скольжения по горизонтальной поверхности так, что его центр (точка C на рисунке) движется с постоянным ускорением $a = 2,5 \text{ см/с}^2$. Через $t = 2$ с после начала движения его положение соответствует рисунку. Найти: а) скорости точек A и B ; б) ускорения точек A и O .



1.176. Цилиндр катится без скольжения по горизонтальной плоскости. Радиус цилиндра равен r . Найти радиусы кривизны траекторий точек A и B (см. рис.).

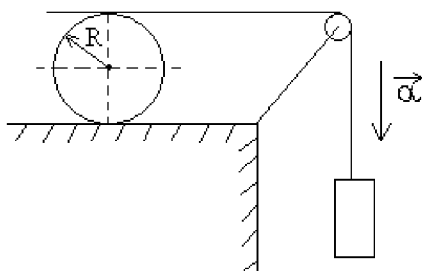
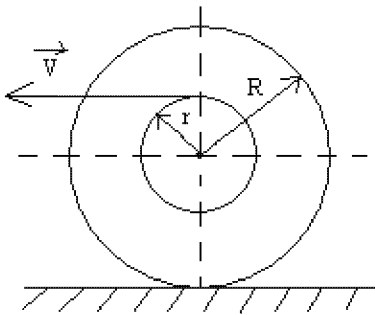


1.177. Два твердых тела вращаются вокруг неподвижных взаимно перпендикулярных пересекающихся осей с постоянными угловыми скоростями $\omega_1 = 3 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ и $\omega_2 = 4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Найти угловую скорость и угловое ускорение одного тела относительно другого.

1.178. Круглый конус с углом полураствора $\alpha = 30^\circ$ и радиусом основания $R = 5$ см катится равномерно без скольжения по горизонтальной поверхности, как показано на рисунке. Вершина конуса закреплена шарнирно в точке O , которая находится на одном уровне с точкой C – центром основания конуса. Скорость точки C равна $v = 10$ см/с. Найти модули: а) угловой скорости конуса; б) углового ускорения конуса.

1.179. Точка движется по окружности радиусом $R = 15$ см с постоянным тангенциальным ускорением a_t . К концу четвертого оборота после начала движения линейная скорость точки $v_1 = 15$ см/с. Определить нормальное ускорение a_{n2} точки через $t_2 = 16$ с после начала движения.

1.180. Колесо автомашины вращается равнозамедленно. За время $t = 2$ мин оно изменило частоту вращения от 240 до 60 мин^{-1} . Определите: а) угловое ускорение колеса; б) число полных оборотов, сделанных колесом за это время.

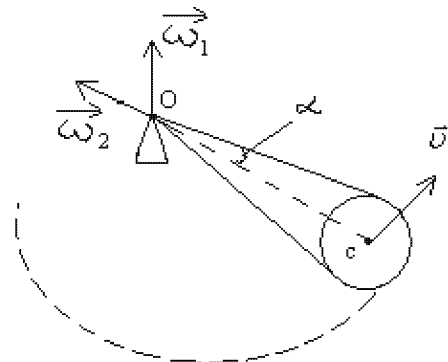


1.181. Нить, намотанную на катушку, тянут со скоростью \bar{v} (см. рис.). С какой скоростью движется центр катушки? Проскальзывания нет, радиусы катушки R и r заданы.

1.182. Нить намотана на цилиндр радиусом R и перекинута через невесомый блок (см. рис.). Груз на конце нити начинает падать с постоянным ускорением \bar{a} . За какое время от начала движения цилиндр пройдет расстояние S ? Проскальзывания нет.

1.183. Снаряд вылетает со скоростью v_0

из пушки, стоящей у основания горы, составляющей угол β с горизонтом, под углом α к поверхности горы. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить дальность S полета снаряда вдоль склона и максимальную высоту h_{max} подъема над склоном.



1.184. С какой наименьшей скоростью и под каким углом к горизонту надо бросить мяч, чтобы забросить его на крышу дома высотой h с расстояния S от дома? Сопротивлением воздуха пренебречь.

2.3. Задачи для самостоятельно решения

2.1 – 2.28. Два тела движутся прямолинейно. Тело массой m_1 движется со скоростью $v_1 = A_1 + B_1t + C_1t^2 + D_1t^3$, а тело массой m_2 – со скоростью $v_2 = A_2 + B_2t + C_2t^2 + D_2t^3$, где все коэффициенты – постоянные величины. В какой момент времени значения сил, действующих на эти тела, окажутся одинаковыми? Числовые данные приведены в табл. 2.1.

2.29 – 2.56. Аэростат, масса которого вместе с балластом равна m , а объем V , равномерно поднимается. Если сбросить балласт массой m_1 , аэростат начнет равномерно подниматься с той же скоростью. Подъемная сила аэростата равна F . Плотность воздуха на высоте, где находится аэростат – ρ_0 . Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 2.2. Силу сопротивления воздуха при спуске и при подъеме считать одинаковой.

Таблица 2.1

Условия к задачам 2.1 – 2.28

Номер задачи	m_1 , кг	A_1 , м/с	B_1 , м/с ²	C_1 , м/с ³	D_1 , м/с ⁴	m_2 , кг	A_2 , м/с	B_2 , м/с ²	C_2 , м/с ³	D_2 , м/с ⁴
2.1	2,5	-3,2	-4,8	1	0,267	0,2	20	40	10	1,667
2.2	2	2,4	-3,5	1,5	0,5	2,5	2,5	2	1,4	0,267
2.3	1	2	-1	0,75	1,333	0,5	3	6	-1,5	2
2.4	2	5	1	-1,25	0,667	1	-4	10	-3,5	1
2.5	2	3	4,5	-1	0,333	3	2,5	1	-1,5	0,333
2.6	0,4	6	-12,5	7,5	-2,5	0,666	10	15	3	-2
2.7	5	0,9	2	0,5	0,067	2	-2	-10	1,5	0,333
2.8	0,2	3,5	-5	2,5	3,33	0,333	4	6	-1,5	1

2.9	4	-0,8	-0,5	1	0,5	2	0,25	3	1,5	0,833
2.10	3	1,2	-3	-0,5	0,333	4	-2,5	0,25	0	0,167
2.11	2	6	8	2,25	0,333	6	1	-2	0,5	0,167
2.12	1	-1,5	1	2	1	2	5	3,5	1,25	0,333
2.13	0,5	5,5	-6	-2	4	2	-1,4	0	-1	0,833
2.14	3	0,75	1	-0,5	0,667	2	3	4	0,25	0,833
2.15	2	3	-2,5	-2	2	1	3,5	3	-5	3,67
2.16	2,5	5	-3,2	-2,4	1,2	4	2	1	-1	0,667
2.17	1	4	-10	0,5	1,333	2	1	7	-0,25	0,5
2.18	2	-1,5	-2	0,75	1,5	2	0,8	-1	0,5	1,333
2.19	6	1	-1,5	0	0,333	2,5	3	2	1	0,667
2.20	4	7,5	-2	-0,25	-0,333	0,333	7	12	-4,5	-5
2.21	2	3	6	-0,5	1	1	1	0	3	1,667
2.22	1	4	6	-0,5	0,667	0,5	-2	4	3	0,667
2.23	1,5	5	2	-1	0,667	2	1,2	-1	0,75	0,333
2.24	0,333	2,8	-4,5	4,5	3	0,5	3	5	-2	2,667
2.25	2	2,2	0,5	0,5	1	3	1,3	-1	1	0,555
2.26	0,667	3	-7,5	-2,25	2,5	2	1	1,5	-0,25	0,667
2.27	2	-0,67	-2	-1	0,333	0,8	1,5	-1,25	-1,25	0,417
2.28	3	1,66	3	0	1	2	0,75	1	2	1,333

Таблица 2.2

Условия к задачам 2.29 – 2.56

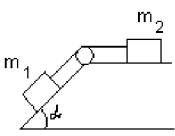
Номер задачи	m , кг	V , м ³	m_1 , кг	F , Н	ρ_v , кг/м ³
2.29	?	–	36,73	800	–
2.30	90	?	24	–	1,05
2.31	135	156,25	?	–	0,8
2.32	120	–	15,5	?	–
2.33	85	86,11	15	–	?
2.34	?	–	34,7	1300	–
2.35	110	?	22	–	1
2.36	125	–	?	1150	–


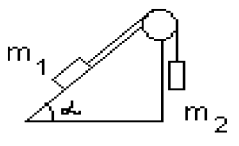
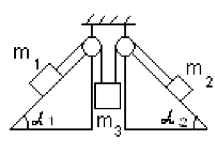
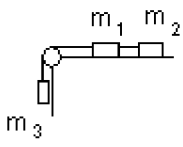
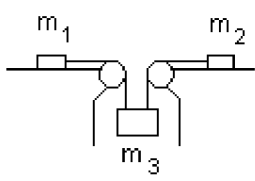
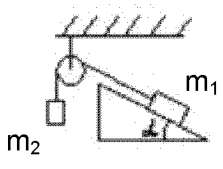
2.37	140	–	24,9	?	–
2.38	85	80	10	–	?
2.39	?	–	35,92	1000	–
2.40	105	?	18	–	1,25
2.41	115	122,2	?	–	0,9
2.42	150	–	14,29	?	–
2.43	75	64,55	8	–	?
2.44	?	–	32,65	1800	–
2.45	160	?	23	–	1,2
2.46	148	–	?	1400	–
2.47	180	–	33,45	?	–
2.48	70	83,44	6,5	–	?
2.49	?	103	5,5	–	0,75
2.50	140	?	19	–	1,1
2.51	100	–	?	900	–
2.52	135	–	4,7	?	–
2.53	95	72,92	15	–	?
2.54	?	–	25,51	1100	–
2.55	170	?	34	–	0,85
2.56	130	–	?	1250	–

2.57 – 2.84. Два или три тела соединены невесомыми нерастяжимыми нитями, перекинутыми через блоки, массами которых можно пренебречь. Массы тел (m_1, m_2, m_3) даны, углы, которые составляют наклонные плоскости с горизонталью (α_1, α_2), и коэффициенты трения тел о поверхности (μ_1, μ_2) известны. Найти ускорения, с которыми движутся тела, и силы натяжения нитей согласно номеру задачи в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Условия к задачам 2.57 – 2.84

Номер задачи	Система тел	m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	α_1 , град	α_2 , град	μ_1	μ_2
2.57 2.58 2.59 2.60		2	1	–	30 40 50 60	–	0,12	0,15

2.61 2.62 2.63 2.64		0,3 0,4 0,5 0,6	0,1	–	30	45	0,1	0,15
2.65 2.66 2.67 2.68		3	1	–	45	–	0,1 0,2 0,3 0,4	–
2.69 2.70 2.71 2.72		0,1	0,1	0,2 0,3 0,4 0,5	30	30	0,2	0,2
2.73 2.74 2.75 2.76		0,2	0,1	0,5	–	–	0,1 0,2 0,3 0,4	0,1 0,2 0,3 0,4
2.77 2.78 2.79 2.80		0,1	0,1	0,2 0,4 0,6 0,8	–	–	0,15	0,15
2.81 2.82 2.83 2.84		2	0,5	–	30	–	0,1 0,15 0,20 0,25	–

2.85 – 2.112. На железнодорожной платформе, движущейся со скоростью v_1 , установлено орудие. Масса платформы с орудием и снарядами – m_1 . Орудие производит выстрел в направлении движения платформы под углом α к горизонту. Масса снаряда равна m_2 , и он вылетает со скоростью v_2 . Вследствие отдачи скорость платформы с орудием изменилась и стала равной u_1 . Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Условия к задачам 2.85 – 2.112

Номер задачи	m_1 , т	v_1 , км/ч	α , град	m_2 , кг	v_2 , м/с	u_1 , км/ч
--------------	-----------	--------------	-----------------	------------	-------------	--------------

2.85	?	26	30	95	465	18,49
2.86	24	?	60	110	-400	21,38
2.87	11	34	?	80	490	27,83
2.88	15,5	21	45	?	-475	28,14
2.89	14	30	45	90	?	37,72
2.90	18,5	24	60	100	445	?
2.91	?	38	30	115	430	30,87
2.92	17	?	60	105	-410	40,88
2.93	12,5	35	?	65	510	26,91
2.94	23	20	45	?	495	14,34
2.95	10	40	60	70	?	45,82
2.96	20,5	29	30	120	435	?
2.97	?	32	60	110	425	28,77
2.98	14,5	?	30	90	-450	32,86
2.99	12	37	?	75	-500	45,19
2.100	17,5	18	45	?	480	12,5
2.101	20	31	30	105	?	22,98
2.102	11,5	39	45	85	-470	?
2.103	?	23	60	100	405	17,57
2.104	19,5	?	45	95	460	24,44
2.105	9	22	?	70	-505	29,24
2.106	16	36	45	?	415	29,62
2.107	13,5	27	30	75	?	18,84
2.108	22	19	60	100	440	?
2.109	?	25	60	115	420	19,4
2.110	16,5	?	30	85	-455	31,43
2.111	10,5	28	?	80	-485	39,73
2.112	19	33	30	?	450	26,15

2.113 – 2.140. Тело массой m , летящее со скоростью v , ударяется о стену под углом α к нормали и под таким же углом упруго отскакивает от нее без потери скорости. Стенка за время удара получает импульс силы, величина которого равна $F\Delta t$. Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Условия к задачам 2.113 – 2.140

Номер задачи	m , г	v , м/с	α , град	$F\Delta t$, Н·с
--------------	---------	-----------	-----------------	-------------------

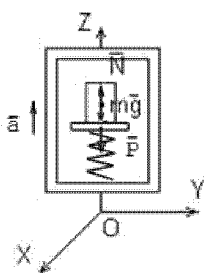
2.113	?	24	30	3,12
2.114	50	?	45	1,273
2.115	15	30	?	0,45
2.116	80	8	60	?
2.117	?	6,5	60	0,26
2.118	125	?	45	0,884
2.119	10	22	?	0,22
2.120	45	10	30	?
2.121	?	12	60	0,72
2.122	75	?	30	1,04
2.123	40	9	?	0,509
2.124	100	15	45	?
2.125	?	18	45	2,546
2.126	30	?	30	1,04
2.127	120	5	?	0,85
2.128	70	26	60	?
2.129	?	16	30	0,416
2.130	65	?	45	0,92
2.131	110	4,5	?	0,857
2.132	20	7,5	60	?
2.133	?	25	45	1,77
2.134	60	?	60	0,9
2.135	25	6	?	0,15
2.136	85	15	30	?
2.137	?	4,5	30	0,624
2.138	55	?	45	0,933
2.139	90	20	?	2,546
2.140	35	14	60	?

2.141. Из пущенной с поверхности Земли вертикально вверх ракеты вырывается вниз струя газа со скоростью u относительно ракеты. Начальная масса ракеты с топливом равна m_0 , ежесекундный расход топлива μ (кг/с). Определить ускорение ракеты через время t_1 после старта, считая

поле тяготения однородным.

2.142. В лифте на пружинных весах находится тело массой $m = 10$ кг (см. рис.). Лифт движется с ускорением $a = 2$ м/с².

Определить показания весов в двух случаях, когда ускорение лифта направлено: 1) вертикально вверх; 2) вертикально вниз.



2.143. На спокойной воде пруда стоит лодка длиной L и

массой M перпендикулярно берегу, обращенная к нему носом. На корме стоит человек массой m . На какое расстояние S сместится лодка относительно берега, если человек перейдет с кормы на нос лодки? Трением о воду и воздух пренебречь.

2.144. Ракета начальной массой $m_0 = 500$ г выбрасывает непрерывную струю газов с постоянной относительно нее скоростью $u = 400$ м/с. Расход газа $\mu = 150$ г/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха и внешним силовым полем, определить, какую скорость относительно Земли приобретает ракета через время $t = 2$ с после начала движения, если ее начальная скорость равна нулю.

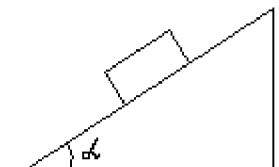
2.145. Ракета начальной массой m_0 поднимается вертикально вверх с нулевой начальной скоростью. Скорость истечения газа относительно ракеты постоянна и равна u . Пренебрегая сопротивлением воздуха и считая поле тяготения одинаковым, записать зависимость скорости ракеты V от массы m и времени t ее подъема.

2.146. Частица движется вдоль оси X по закону $X = \alpha t^2 - \beta t^3$, где α и β – положительные постоянные. В момент времени $t = 0$ сила, действующая на частицу, равна F_0 . Найти значения F_x силы в точках поворота и в момент, когда частица опять окажется в точке $X = 0$.

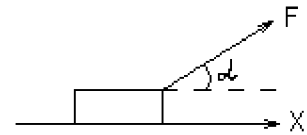
2.147. Небольшое тело пустили снизу вверх по наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 15^\circ$ с горизонтом. Найти коэффициент трения, если время подъема тела оказалось в $n = 2$ раза меньше времени спуска.

2.148. На гладкой горизонтальной плоскости лежит доска массой m_1 и на ней брусок массой m_2 . К бруску приложили горизонтальную силу, увеличивающуюся со временем t по закону $F = \alpha t$, где α – постоянная. Найти зависимость от t ускорений доски a_1 и бруска a_2 , если коэффициент трения между доской и бруском равен μ .

2.149. Призме, на которой находится брусок массой m , сообщили влево горизонтальное ускорение a (см. рис.). При каком максимальном значении этого ускорения брусок будет оставаться еще неподвижным относительно призмы, если коэффициент трения между ними $\mu < \operatorname{ctg}\alpha$?



2.150. К бруску массой m , лежащему на гладкой горизонтальной плоскости, приложили постоянную силу $F = \frac{mg}{3}$. В процессе его прямолинейного



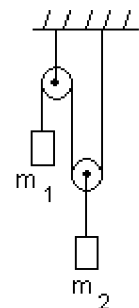
движения угол α между направлением этой силы и горизонтом меняют по закону $\alpha = KS$, где K – постоянная, S – пройденный бруском путь (из начального положения). Найти скорость бруска как функцию угла α .

2.151. Автомашина движется с постоянным тангенциальным ускорением $a_\tau = 0,62 \text{ м/с}^2$ по горизонтальной поверхности, описывая окружность радиуса $R = 40 \text{ м}$. Коэффициент трения скольжения между колесами машины и поверхностью $\mu = 0,2$. Какой путь пройдет машина без скольжения, если в начальный момент ее скорость равна нулю?

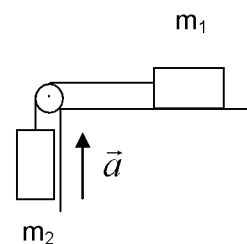
2.152. Через блок, укрепленный на потолке комнаты, перекинута нить, на концах которой подвешены тела с массами m_1 и m_2 . Массы блока и нити пренебрежимо малы, трения нет. Найти ускорение центра масс этой системы.

2.153. Частица массой m движется под действием силы $\vec{F} = \vec{F}_0 \cos \omega t$, где \vec{F}_0 и ω – некоторые постоянные. Определить положение частицы, т.е. выразить ее радиус-вектор \vec{r} как функцию времени, если в начальный момент времени $t = 0$, $\vec{r}(0) = 0$ и $\vec{v}(0) = 0$.

2.154. На рисунке изображена система блоков, к которым подвешены грузы массами $m_1 = 200 \text{ г}$ и $m_2 = 500 \text{ г}$. Считая, что силы трения отсутствуют и нить нерастяжимая и невесомая, определить силу натяжения нитей и ускорения, с которыми движутся тела.



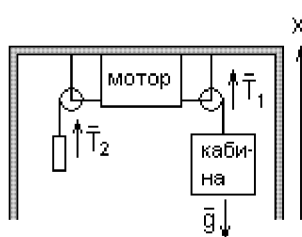
2.155. Система грузов массами $m_1 = 0,5 \text{ кг}$ и $m_2 = 0,6 \text{ кг}$ находится в лифте, движущемся с ускорением $a = 4,9 \text{ м/с}^2$ (см. рис.) Определить силу натяжения нити, если коэффициент трения между грузом массой m_1 и опорой $\mu = 0,1$.



2.156. На гладкой горизонтальной поверхности находится доска массой m_2 , на которой лежит брусок массой m_1 . Коэффициент трения бруска о поверхность доски равен μ . К доске приложена горизонтальная сила F , зависящая от времени по закону $F = At$, где A – некоторая постоянная.

Определить момент времени t_0 , когда доска начнет выскальзывать из-под бруска, и ускорения бруска a_1 и доски a_2 в процессе движения.

2.157. На наклонную плоскость с углом наклона к горизонту $\alpha = 35^\circ$ положена доска массой $m_2 = 2$ кг, а на доску – брусок массой 1 кг. Коэффициент трения между бруском и доской $\mu_1 = 0,1$, а между доской и плоскостью $\mu_2 = 0,2$. Определить ускорения бруска и доски и коэффициент трения μ'_2 , при котором доска не будет двигаться.



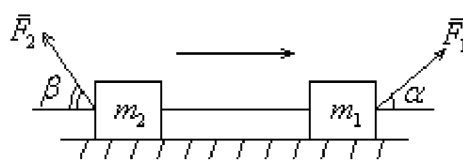
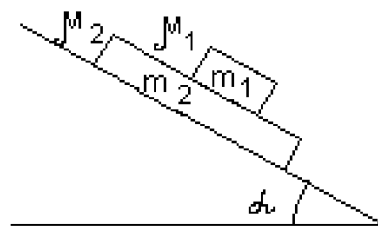
2.158. Лифт состоит из кабины, мотора, приводящего ее в движение, и противовеса (см. рис.). Масса кабины с нагрузкой $m = 1000$ кг, масса противовеса $M = 1400$ кг. Лифт поднимается с ускорением $a = 2\text{ м/с}^2$. Пренебрегая трением, массой троса и

блоков и считая трос нерастяжимым, найти натяжения тросов T_1 и T_2 . Какова сила T , действующая на мотор? Как изменятся силы, если лифт начнет опускаться с тем же ускорением?

2.159. К динамометру, подвешенному к кабине лифта, прикреплен груз массой $m = 5$ кг. Лифт движется вверх. На сколько будет отличаться показание динамометра во время разгона от показания при торможении, если известно, что лифт обладал одинаковым по величине ускорением $a_0 = 2\text{ м/с}^2$ при разгоне и торможении?

2.160. Бруски А и В массами m_2 и m_1 находятся на столе (см. рис.). К бруску В приложена сила \vec{F} , направленная под углом α к горизонту. Найти ускорения движения брусков, если коэффициенты трения брусков друг о друга и бруска о стол равны соответственно μ_1 и μ_2 . Сила трения между поверхностями максимальна.

2.161. На наклонную плоскость с углом α помещена плоская плита массой m_2 , а на нее – брусок массой m_1 . Коэффициент

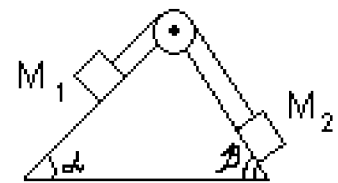


трения между бруском и плитой μ_1 . Определить, при каких значениях коэффициента трения μ_2 между плитой и плоскостью плита не будет двигаться, если известно, что брусок скользит по плите (см. рис.).

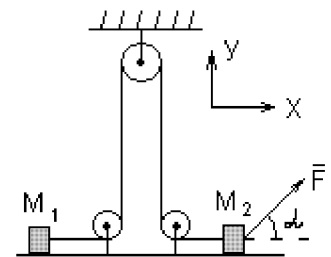
2.162. Два тела, массы которых m_1 и m_2 , связаны нерастяжимой и невесомой нитью и лежат на горизонтальной поверхности (см. рис.). Коэффициенты трения тел о поверхность равны соответственно μ_1 и μ_2 . К телам приложены силы F_1 и F_2 под углами α и β к горизонту. Система движется вправо. Определить ускорение движения \vec{a} системы и силу натяжения нити T .

2.163. Вверх по наклонной плоскости с углом наклона α пущена шайба. Через некоторое время она останавливается и соскальзывает вниз. Определить коэффициент трения шайбы о плоскость, если время спуска в n раз больше времени подъема.

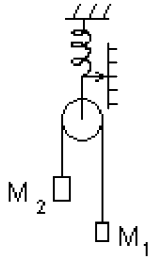
2.164. Два груза связаны между собой невесомой нерастяжимой нитью, перекинутой через блок. Плоскости, на которых лежат грузы, составляют с горизонтом углы α и β (см. рис.). Правый груз находится ниже левого на h м. Через τ секунд после начала движения оба груза оказались на одной высоте. Коэффициент трения между грузами и плоскостью μ . Определить отношение масс грузов M_1 и M_2 .



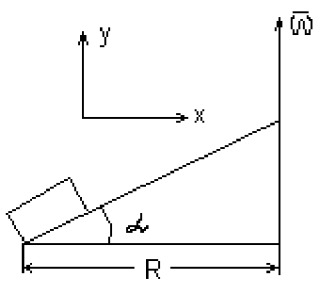
2.165. Дана система блоков и тел, показанная на рисунке. К телу массой M_2 приложили силу \vec{F} , направленную под углом α к горизонту. Коэффициенты трения между горизонтальной поверхностью и телами массами M_1 и M_2 равны соответственно μ_1 и μ_2 . Нить, соединяющая тела,



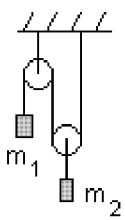
невесома и нерастяжима. Блоки неподвижны и невесома. Определить ускорение \vec{a} тел и натяжение нити T .



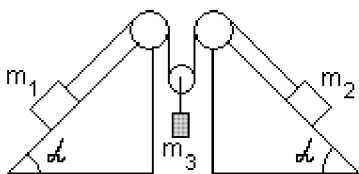
2.166. На рисунке показан блок пренебрежимо малой массы, подвешенный к пружинным весам. К концам нити, переброшенной через блок, прикреплены грузы $M_1 = 1$ кг и $M_2 = 5$ кг. Грузы движутся с ускорением под действием силы тяжести. Трение в блоке отсутствует. Что покажут весы?



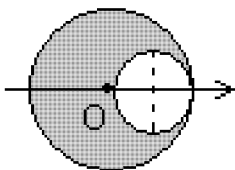
2.167. На краю наклонной плоскости с углом наклона α лежит тело. Плоскость равномерно вращается вокруг вертикальной оси с угловой скоростью $\vec{\omega}$. Расстояние от тела до оси вращения R (см. рис.). Определить наименьший коэффициент трения μ_0 , при котором тело удерживается на вращающейся наклонной плоскости. Рассмотреть два предельных случая: 1) тело находится на горизонтальной плоскости, которая равномерно вращается вокруг вертикальной плоскости; 2) тело лежит на неподвижной наклонной плоскости.



2.168. Две гири, находящиеся на блоках, установлены на высоте $h = 3$ м друг от друга (см. рис.). Предоставленные самим себе гири через $\tau = 1$ с после начала движения оказались на одной высоте. Какова масса гири m_1 , подвешенной к свободному концу веревки, если масса другой гири $m_2 = 0,3$ кг?



2.169. Определить ускорение a_3 тела массой m_3 в системе, изображенной на рисунке. Массой блоков и силой трения пренебречь. Наклонные плоскости считать закрепленными жестко.



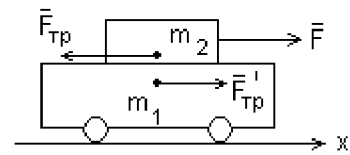
2.170. Однородная тонкая пластинка имеет форму круга (радиус $R = 0,3$ м), в котором вырезано круглое отверстие (радиус $r = \frac{R}{2}$), центр которого лежит на середине горизонтального радиуса пластинки (см. рис.).

Определить положение центра масс этой фигуры.

2.171. На железнодорожной платформе, движущейся по инерции со скоростью $v_0 = 3$ км/ч, укреплено орудие. Масса платформы с орудием $M = 10$ т. Ствол орудия направлен в сторону движения платформы. Снаряд массой $m = 10$ кг вылетает из ствола под углом $\alpha = 60^\circ$ к

горизонту. Определить скорость v снаряда (относительно Земли), если после выстрела скорость платформы уменьшилась в $n = 2$ раза.

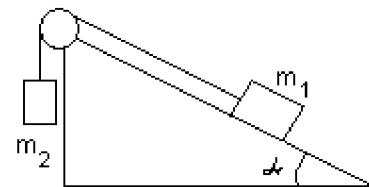
2.172. На тележке массой $m_1 = 20$ кг, которая может свободно перемещаться вдоль горизонтальных рельсов, лежит брусок массой $m_2 = 5$ кг (см. рис.). Коэффициент трения между



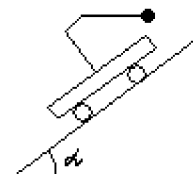
бруском и тележкой $\mu = 0,2$. Брусок тянут с силой \vec{F} , направленной параллельно рельсам. Найти ускорение бруска и тележки, если сила изменяется по закону $F = ct$, где $c = 4$ Н/с. Построить график зависимости найденных ускорений от времени.

2.173. Через блок, прикрепленный к потолку кабины лифта, перекинута нить, к концам которой привязаны грузы $m_1 = 0,5$ кг и $m_2 = 0,6$ кг. Найти силу давления блока на ось при движении грузов в двух случаях: лифт поднимается равномерно и с ускорением $a_0 = 1,2$ м/с². Масса блока пренебрежимо мала. Трением в оси пренебречь.

2.174. На наклонной плоскости находится груз $m_1 = 5$ кг, связанный нитью, перекинутой через блок, с другим грузом $m_2 = 2$ кг (см. рис.). Коэффициент трения между первым грузом и плоскостью $\mu = 0,1$; угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 37^\circ$. Определить ускорения грузов. При каких значениях m_2 система будет находиться в равновесии?



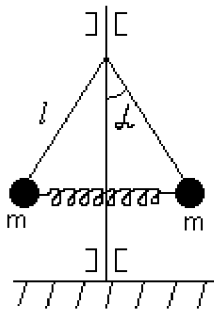
2.175. Маятник массой m подвешен к подставке, укрепленной на тележке, которая свободно скатывается с наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом (см. рис.). Определить уравнение движения маятника относительно подставки и направление нити маятника. Трение отсутствует.



2.176. Тело, находящееся на наклонной плоскости, удерживается силой трения. За какое время t тело опустится с наклонной плоскости, если она станет двигаться в горизонтальном направлении с ускорением $a_0 = 1$ м/с²? Длина плоскости $L = 1$ м, угол наклона к горизонту $\alpha = 30^\circ$, коэффициент

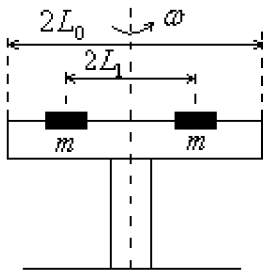
трения между телом и плоскостью $\mu = 0,6$. Задачу решать в неинерциальной системе координат, связанной с наклонной плоскостью.

2.177. На Земле, вращающейся вокруг своей оси с угловой скоростью $\vec{\omega}$, по экватору с востока на запад с относительной скоростью \vec{v}' движется поезд массой m . Не учитывая сил трения, принимая поезд за единое твердое тело, определить силу \vec{N} , действующую на поезд со стороны рельсов.



2.178. Шары центробежного регулятора соединены горизонтальной пружиной, имеющей посередине кольцо, через которое проходит, не касаясь его, ось регулятора (см. рис.). Масса каждого шара $m = 5$ кг, длина стержней, на которых закреплены шары, $l = 60$ см. Длина пружины в ненапряженном состоянии $l_1 = 40$ см, жесткость пружины $k = 200$ Н/м.

С какой частотой n вращается регулятор, если угол отклонения его стержней от вертикали $\alpha = 30^\circ$? Массой стержней пренебречь.



2.179. На центробежной машине укреплен гладкий горизонтальный стержень длиной $2L_0 = 1$ м, ось вращения вертикальна и проходит через середину стержня (см. рис.). На стержень надеты две небольшие муфты массой $m = 400$ г каждая. Муфты связаны нитью длиной $2L_1 = 20$ см и расположены симметрично относительно оси вращения. Машина вращается с постоянной угловой скоростью $\omega = 2 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. С какой радиальной скоростью v' подойдут муфты к концу стержня, если пережечь нить?

2.180. Горизонтально расположенный стержень вращается вокруг оси, проходящей через его конец, с постоянной угловой скоростью $\omega = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

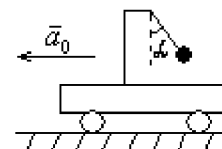
Расстояние от оси до другого конца стержня $L = 1$ м. На стержень надета муфта массой $m = 0,1$ кг. Муфта закреплена с помощью нити на расстоянии $L_0 = 0,1$ м от оси вращения. В момент $t = 0$ с нить пережигают

и муфта начинает скользить по стержню практически без трения. Найти: 1) время τ , спустя которое муфта слетит со стержня; 2) силу F , с которой стержень действует на муфту в момент τ ; 3) работу A , которая совершается над муфтой за время τ .

2.181. В потолок лифта вмонтирована вертикальная ось, к которой на нити длиной $L = 40$ см прикреплено тело массой $m = 800$ г. Ось вращается с частотой $n = 90$ об/мин. Найти силу натяжения нити T и угол α отклонения нити от вертикали, когда лифт движется вверх с ускорением $a_0 = 3$ м/с². Массой нити пренебречь.

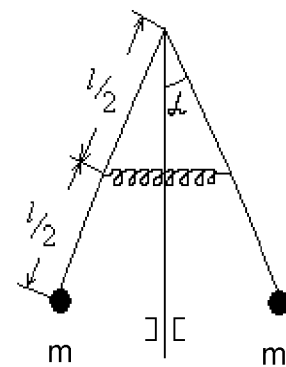
2.182. Электровоз массой $m = 184$ т движется вдоль меридиана со скоростью $v = 72$ км/ч на широте $\varphi = 45^\circ$. Определить горизонтальную составляющую силы, с которой электровоз давит на рельсы.

2.183. Маятник массой m подвешен к подставке, укрепленной на тележке (см. рис.). Тележка движется горизонтально с ускорением \vec{a}_0 . Найти уравнение движения маятника относительно подставки и угол α , который составляет нить маятника с вертикалью. Трение отсутствует.



2.184. Стержни центробежного регулятора, на которых закреплены шары массой $m = 5$ кг каждый, имеют длину $L = 60$ см и соединяются посередине горизонтальной пружиной с кольцом в центре, через которое проходит, не касаясь его, ось регулятора (см. рис.). Длина пружины в ненапряженном состоянии

$L_0 = 20$ см, жесткость пружины $k = 200$ Н/м. С какой частотой n вращается регулятор, если угол отклонения стержней от вертикали $\alpha = 30^\circ$? Массой стержней пренебречь.



3.3. Задачи для самостоятельного решения

3.1 – 3.28. Материальная точка массой m движется прямолинейно под действием некоторой силы так, что координата со временем изменяется по закону $x = B + Ct + Dt^2$, где B, C, D – постоянные величины. Какая работа A совершается силой за первые t_1 секунд? Какая мощность P развивается

при движении точки в момент времени t_2 ? Построить графики зависимостей $A = f(t)$ и $P = f(t)$ согласно номеру задачи в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Условия к задачам 3.1 – 3.28

Номер задачи	m , кг	B , м	C , м/с	D , м/с ²	t_1 , с	t_2 , с
3.1	2	10	-2	1	5	2
3.2					10	4
3.3					15	6
3.4					20	8
3.5	3	5	8	2	1	0,5
3.6					2	1
3.7					3	1,5
3.8					4	2
3.9	1,5	-4	-1	5	2	1
3.10					4	2
3.11					6	3
3.12					8	4
3.13	2,5	-9	3	2	2,5	0,5
3.14					5	1
3.15					7,5	1,5
3.16					10	2
3.17	1	7	-4	3	1	1
3.18					1,5	1,5
3.19					2	2
3.20					2,5	2,5
3.21	0,5	-8	-3	4	2	0,4
3.22					4	0,6
3.23					6	0,8
3.24					8	1
3.25	4	6	2	-1	10	5
3.26					20	10
3.27					30	15
3.28					40	20

3.29 – 3.56. Материальная точка массой m под действием консервативной силы переместилась из точки с координатой x_1 в точку с координатой x_2 . Составляющая силы F_X вдоль оси X зависит от координаты по закону $F_X = f(x)$. Найти работу, производимую силой, по перемещению материальной точки. Построить график зависимости работы от величины перемещения согласно номеру задачи в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Условия к задачам 3.29 – 3.56

Номер задачи	$m, кг$	Закон изменения составляющей силы $F_X = f(x), Н$	B	C	$x_1, м$	$x_2, м$
3.29 3.30 3.31 3.32	0,5	$F_X = \frac{Bm}{x^2} + C$	$4 \frac{м^3}{с^2}$	0,2 Н	2 4 6 8	4 6 8 10
3.33 3.34 3.35 3.36	1	$F_X = B + Cmx$	2,5 Н	$1,5 \frac{1}{с^2}$	0,2 0,4 0,6 0,8	0,4 0,6 0,8 1
3.37 3.38 3.39 3.40		$F_X = \frac{B}{x} + C$	2 Н·м	0,5 Н	1 2 3 4	2 3 4 5
3.41 3.42 3.43 3.44	2	$F_X = Bm + C$	$0,3 \frac{Н}{кг}$	1 Н	0 0 0 0	0,5 1 1,5 2
3.45 3.46 3.47 3.48		$F_X = -Bx + C$	$5 \frac{Н}{м}$	0,6 Н	0,1 0,2 0,3 0,4	0,2 0,3 0,4 0,5
3.49 3.50 3.51 3.52	1	$F_X = B\frac{m}{x^2} + Cx$	$1,5 \frac{м^3}{с^2}$	$4 \frac{Н}{м}$	0,5 1 1,5 2	1 1,5 2 2,5
3.53 3.54 3.55 3.56		$F_X = B + Cx^2$	1 Н	$3 \frac{Н}{м^2}$	0 0,25 0,5 0,75	0,25 0,5 0,75 1

3.57 – 3.84. Потенциальная энергия частицы в силовом поле изменяется по заданному закону. Найти работу, совершаемую над частицей силами поля при переходе из точки с координатами x_1, y_1, z_1 в точку с координатами x_2, y_2, z_2 . Найти выражение для силы, действующей на частицу, и величину этой силы в начальной и конечной точках согласно номеру задачи в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Условия к задачам 3.57 – 3.84

Номер задачи	Закон изменения потенциальной энергии, Дж	$x_1, м$	$y_1, м$	$z_1, м$	$x_2, м$	$y_2, м$	$z_2, м$
--------------	---	----------	----------	----------	----------	----------	----------

3.57	$\Pi = 2x^2 + 3y^2 + 0,5z$	0,5	1	0,2	0,1	0,75	0,1
3.58	$\Pi = -\frac{4}{x} - 6z + 2$	2	0	0,5	0,5	0	0,2
3.59	$\Pi = 2,5x^2 + 2y^2 - \frac{3}{z}$	1	2	1,5	2	3	0,75
3.60	$\Pi = x + 2(y^2 + z^2)$	6,2	4	5,5	2,4	2,5	3
3.61	$\Pi = -y^2 - 3,5z + 0,8$	0,8	0,5	0,1	0,4	0,7	0,5
3.62	$\Pi = \frac{2}{x} + 5y^2 + 2z^2$	4,5	2,5	1,2	3	3,5	1
3.63	$\Pi = x^2 + 1,2y - \frac{2}{z}$	1,2	0,8	1,5	1	1,2	1,4
3.64	$\Pi = 3x - \frac{1,5}{y} + 1,1z$	2,4	0,5	2	1,5	0,4	1,5
3.65	$\Pi = -x + 2,2\left(\frac{1}{y} + \frac{1}{z}\right)$	4	1,4	2,5	3,5	0,6	2
3.66	$\Pi = x^2 + 4z + 5$	0,3	1,75	0,6	0,15	0,75	0,5
3.67	$\Pi = \frac{1}{x} + 6y^2 - 4,8z$	1,4	1	1,25	1,2	0,8	1
3.68	$\Pi = -y - z^2 + 1,5$	0,6	0,8	1	0,3	0,5	0,8
3.69	$\Pi = \frac{6}{x} + \frac{4}{y} + \frac{2}{z}$	2,5	2	1,7	1,5	1,3	1,2
3.70	$\Pi = y + 5(x^2 + z^2)$	0,7	0,4	0,5	0,5	0,4	0,6
3.71	$\Pi = -x^2 + 2y^2 - 4$	6	2,5	0	4	2	0
3.72	$\Pi = 1,5x + y - 1,4z$	0,5	0,8	1,2	0,75	0,9	1
3.73	$\Pi = \frac{3,8}{y} - 2z^2 + 0,6$	5	2,2	4	3,5	1,8	3
3.74	$\Pi = 2x + 1,6y^2 - \frac{1}{z}$	0,4	0,7	0,6	0,6	0,5	1
3.75	$\Pi = \frac{5}{x} - \frac{4}{z}$	3	1,5	2	2,5	1,1	1,4
3.76	$\Pi = x^2 - 4(y + z) + 0,75$	1,25	1,1	1,6	1	1,5	1,5
3.77	$\Pi = 2x^2 - 0,4y + \frac{5}{z}$	0,1	0,4	0,2	0,25	0,6	0,4
3.78	$\Pi = \frac{8}{x} + 1,25z^2 + 2$	1,6	1,2	1	2	1,4	0,6
3.79	$\Pi = 2x - y^2 + 1,8$	5,5	4	3,6	5	3,5	3
3.80		0,75	1	0,9	0,5	0,6	1

	$\Pi = \frac{6}{y} + 2,2z^2$						
--	------------------------------	--	--	--	--	--	--

Окончание табл. 3.3

3.81	$\Pi = 4x - \frac{1}{y} - 2,6$	3,5	3	0	3	3,5	0
3.82	$\Pi = 3,5\frac{x}{x} + 2y + z$	6,5	4,5	5	5	4	3,5
3.83	$\Pi = 2,2(x^2 + y) + 1,5$	0,2	0,75	0,5	0,4	1	0,75
3.84	$\Pi = 2y^2 + 4z^2 + 1$	0,9	1,2	1,4	1	1,5	1,2

3.85 – 3.112. Два движущихся тела ударяются неупруго. Скорость первого тела до удара равна v_1 , скорость второго – v_2 . Общая скорость тел после удара равна v . Кинетическая энергия первого тела до удара была больше кинетической энергии второго тела в n раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Условия к задачам 3.85 – 3.112

Номер задачи	v_1 , м/с	v_2 , м/с	v , м/с	n
3.85	?	-4	1	1,25
3.86	2,5	?	1,5	25
3.87	1,4	-5	?	0,1223
3.88	3,6	1	1,2	?
3.89	?	-1,2	-0,5	0,159
3.90	3,2	?	0,2	2,786
3.91	1,75	2,5	?	0,98
3.92	2,2	0,6	1,3	?
3.93	?	1,8	1,7	0,347
3.94	1,6	?	2,1	0,55
3.95	2,8	-3,5	?	0,75
3.96	1	-1,6	-0,25	?
3.97	?	4,5	3	2,9
3.98	0,75	?	-0,1	0,41
3.99	2	3,6	?	0,679
3.100	1,4	-0,8	1,25	?
3.101	?	-1,3	0,2	1,027
3.102	2,4	?	0,75	4,727
3.103	1,25	2	?	0,142
3.104	3	-3,4	0,5	?

3.105	?	-0,75	1,6	30,08
3.106	0,5	?	-0,4	0,11
3.107	1,8	-2,2	?	0,606
3.108	2,25	1,5	1,75	?
3.109	?	4,4	3,8	0,529
3.110	1,2	?	1	2,25
3.111	2,6	-3	?	1,252
3.112	0,4	1,6	0,6	?

3.113 – 3.140. Два шара подвешены на параллельных нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Масса первого шара равна m_1 , масса второго – m_2 . Первый шар отклоняют так, что его центр тяжести поднимается на высоту H , и отпускают. После упругого соударения второй шар поднимается на высоту h_2 , а первый – на высоту h_1 . Найти неизвестные величины согласно номеру задачи в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Условия к задачам 3.113 – 3.140

Номер задачи	m_1 , кг	m_2 , кг	H , см	h_1 , см	h_2 , см
3.113	0,2	0,1	4,5	?	?
3.114	0,05	0,03	?	?	7,81
3.115	0,16	0,12	?	0,2	?
3.116	0,8	?	?	1,17	33,33
3.117	0,45	0,4	12	?	?
3.118	0,25	0,15	?	?	12,5
3.119	0,12	0,08	?	0,68	?
3.120	0,04	?	?	2,89	46,22
3.121	0,09	0,05	20	?	?
3.122	0,75	0,5	?	?	40,32
3.123	0,12	0,04	?	1,75	?
3.124	0,1	?	?	1,44	23,11
3.125	1	0,75	14	?	?
3.126	0,06	0,05	?	?	21,42
3.127	0,4	0,25	?	0,48	?
3.128	0,15	?	?	1,2	43,2
3.129	0,5	0,4	25	?	?
3.130	0,9	0,45	?	?	10,67
3.131	0,03	0,02	?	0,84	?
3.132	0,14	?	?	0,744	16,2

3.133	0,7	0,3	15	?	?
3.134	0,02	0,01	?	?	42,67
3.135	0,55	0,2	?	0,87	?
3.136	0,3	?	?	1,08	38,88
3.137	0,6	0,4	23	?	?
3.138	0,35	0,3	?	?	18,556
3.139	0,04	0,01	?	3,96	?
3.140	0,08	?	?	0,306	19,59

3.141 – 3.168. Тело соскальзывает без начальной скорости по наклонной плоскости длиной S_1 , составляющей угол α с горизонтом, и, пройдя по горизонтальной плоскости расстояние S_2 , останавливается. Коэффициент трения на всем пути равен μ . Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Условия к задачам 3.141 – 3.168

Номер задачи	S_1 , см	α , град	S_2 , см	μ
3.141	90	30	40	?
3.142	45	60	?	0,47
3.143	15	?	15	0,414
3.144	?	45	34	0,51
3.145	100	60	150	?
3.146	60	45	?	0,22
3.147	25	?	25	0,577
3.148	?	30	5,62	0,35
3.149	12	30	18,2	?
3.150	20	45	?	0,12
3.151	55	?	55	0,268
3.152	?	60	59,23	0,35
3.153	14	45	100	?
3.154	65	30	?	0,15
3.155	30	?	60	0,26
3.156	?	60	88,25	0,32

3.157	50	30	37,3	?
3.158	85	45	?	0,19
3.159	70	?	140	0,175
3.160	?	60	40,9	0,34
3.161	45	45	145	?
3.162	10	60	?	0,42
3.163	80	?	80	0,414
3.164	?	30	134,6	0,08
3.165	40	60	124	?
3.166	75	30	?	0,07
3.167	35	?	70	0,3464
3.168	?	45	223	0,16

3.169. Два неупругих шара массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 3$ кг движутся со скоростями $v_1 = 8$ м/с и $v_2 = 4$ м/с соответственно. Найти увеличение внутренней энергии шаров, когда: 1) меньший шар нагоняет больший; 2) шары движутся навстречу друг другу; 3) шары движутся под прямым углом друг к другу. Под каким углом α к направлению движения меньшего шара будут двигаться соединившиеся шары после удара?

3.170. Шар массой m_1 , движущийся горизонтально с некоторой скоростью v_1 , столкнулся с неподвижным шаром массой m_2 . Шары абсолютно упругие, удар прямой. Какую долю ϵ своей кинетической энергии первый шар передал второму?

3.171. Два свинцовых шара массами $m_1 = 2$ кг и $m_2 = 3$ кг подвешены на нитях длиной $l = 70$ см. Первоначально шары соприкасаются между собой, затем меньший шар отклонили на угол $\alpha = 60^\circ$ ипустили. Считая удар центральным и неупругим, определить: 1) высоту h , на которую поднимутся шары после удара; 2) энергию ΔT , израсходованную на деформацию шаров при ударе.

3.172. Шар, движущийся со скоростью v_1 , налетает на покоящийся шар, масса которого в $n = 1,5$ раза больше первого. Определить отношение скорости v_1' первого шара и скорости v_2' второго шара после удара. Удар считать упругим, центральным и прямым.

3.173. Шарик массой $m_1 = 16$ г, движущийся горизонтально, столкнулся с шаром массой $m_2 = 0,8$ кг, висющим на прямом недеформируемом и

невесомом стержне длиной $l = 1,7$ м. Считая удар упругим, определить скорость шарика v_1 , если угол отклонения стержня после удара $\alpha = 20^\circ$.

3.174. Шар, положенный на верхний конец спиральной пружины, сжимает пружину на $x_0 = 2$ мм. Определить, насколько сожмет пружину этот же шар, брошенный вертикально вниз с высоты $h = 15$ см со скоростью $v_0 = 1,5$ м/с. Удар шара о пружину считать абсолютно упругим.

3.175. Подъемный кран поднимает груз массой $m = 3$ т с ускорением $a = 0,5$ м/с². Определить среднюю мощность $\langle P \rangle$ крана за время от $t_1 = 4$ с до $t_2 = 8$ с, если коэффициент полезного действия крана $\eta = 40\%$.

3.176. Энергозатраты на откачку воды из подвала глубиной $h = 2$ м, длиной $a = 10$ м и шириной $b = 6$ м составили $E = 400$ кДж. Определить коэффициент полезного действия η насоса, если уровень воды составлял $H = 0,8$ м от дна подвала. Плотность воды $\rho = 1$ г/см³.

3.177. С башни высотой $H = 15$ м под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту со скоростью $v_0 = 12$ м/с брошено тело массой $m = 1$ кг. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить для момента времени $t = 1,5$ с кинетическую T и потенциальную $П$ энергии тела.

3.178. Конькобежец, разогнавшись до скорости $v = 21$ км/ч, въезжает на горку с уклоном $\alpha = 20^\circ$ на высоту $h = 1,6$ м. Определить коэффициент трения μ коньков о лед.

3.179. Мощность P двигателей самолета массой $m = 5,2$ т при отрыве от земли равна 820 кВт. Разгоняясь равноускоренно, самолет достигает скорости $v = 32$ м/с. Принимая, что коэффициент сопротивления $f = 0,04$ не зависит от скорости, определить длину пробега S самолета перед взлетом.

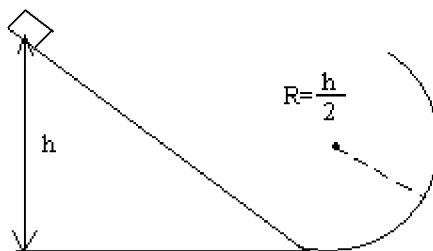
3.180. Груз массой $m = 80$ кг поднимают вдоль наклонной плоскости с ускорением $a = 1$ м/с². Длина наклонной плоскости $l = 3$ м, угол α ее наклона к горизонту равен 30° , а коэффициент трения $\mu = 0,15$. Определить:

1) работу, совершаемую подъемным устройством; 2) его среднюю мощность; 3) его максимальную мощность. Начальная скорость груза равна нулю.

3.181. Цепочка массой $m = 1$ кг и длиной $l = 1,4$ м висит на нити, касаясь поверхности стола своим нижним концом. После пережигания нити цепочка упала на стол. Найти полный импульс, который она передала столу.

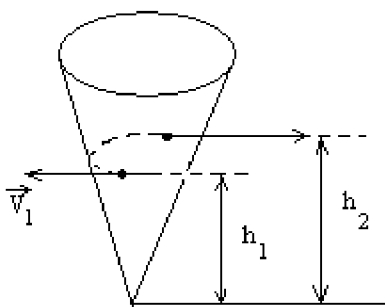
3.182. Пушка массой M начинает свободно скользить вниз по гладкой поверхности, составляющей угол α с горизонтом. Когда пушка прошла путь l , произвели выстрел, в результате которого снаряд вылетел с импульсом \vec{P} в горизонтальном направлении, а пушка остановилась. Пренебрегая массой снаряда, найти продолжительность выстрела.

3.183. Небольшое тело начинает скользить с высоты h по наклонному желобу, переходящему в полуокружность радиусом $R = \frac{h}{2}$



(см. рис.). Пренебрегая трением, найти скорость тела в наивысшей точке его траектории после отрыва от желоба.

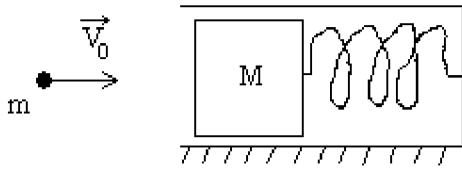
3.184. Гладкий однородный стержень AB массой M и длиной l свободно вращается с угловой скоростью ω_0 в горизонтальной плоскости вокруг неподвижной вертикальной оси, проходящей через его конец A . Из точки A начинает скользить по стержню небольшая муфта массой m . Найти скорость v_1 муфты относительно стержня в тот момент, когда она достигнет его конца B .



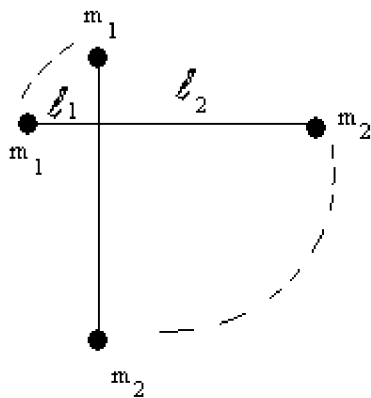
3.185. Небольшую шайбу поместили на внутреннюю гладкую поверхность неподвижного круглого конуса (см. рис.) на высоте h_1 от его вершины и сообщили ей в горизонтальном направлении по касательной к поверхности конуса скорость v_1 . На какую высоту h_2 от вершины конуса поднимется шайба?

3.186. Из пушки массой M , находящейся на наклонной плоскости, в момент, когда пушка покоится, производится выстрел и вылетает снаряд массой m с начальной скоростью v_0 относительно Земли. Определить, на какую высоту поднимется пушка в результате отдачи, если угол наклона плоскости равен φ , а коэффициент трения между пушкой и плоскостью равен μ . Продолжительность выстрела считать пренебрежимо малой.

3.187. Деревянный поршень при движении в цилиндре сжимает невесомую пружину жесткостью k . Между поршнем и цилиндром при движении возникает постоянная по величине сила трения F . В поршень попадает и застревает в нем пуля, которая имела



скорость \vec{v}_0 , направленную вдоль оси цилиндра (см. рис.). Масса пули m , масса поршня M . На какую величину x сместится поршень? Цилиндр закреплен.

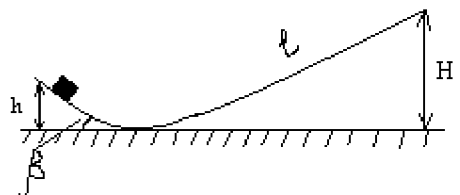


3.188. Вокруг горизонтальной оси может свободно без трения вращаться легкий рычаг, плечи которого равны l_1 и l_2 . На концах рычага укреплены грузы m_1 и m_2 . Предоставленный самому себе рычаг переходит из горизонтального положения в вертикальное (см. рис.). Какую скорость v_2 будет иметь в нижней точке второй груз?

3.189. На горизонтальной поверхности находится неподвижная, абсолютно гладкая полусфера радиусом $R = 10$ м. С ее верхней точки без начальной скорости соскальзывает малое тело. В некоторой точке оно отрывается и летит свободно. Определить время τ падения с момента отрыва тела до попадания его на горизонтальную поверхность. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

3.190. Небольшое тело соскальзывает вниз с высоты H по наклонному желобу, переходящему в «мертвую петлю» радиусом R . На какой высоте h тело выпадет из петли? Трение отсутствует.

3.191. Сани соскальзывают с ледяной горы высотой $H = 1,5$ м и длиной $l = 2,5$ м, плавно переходящей в другую ледяную гору с углом к горизонту $\beta = 30^\circ$ (см. рис.). Сколько времени t сани будут двигаться по второй горе, если на протяжении всего движения коэффициент трения равен $\mu = 0,04$?



3.192. Тело массой m_1 со скоростью v_1 движется навстречу другому телу, масса которого m_2 и скорость v_2 . Происходит неупругое столкновение

тел. Сколько времени t тела будут двигаться после столкновения, если коэффициент трения при их совместном движении равен μ ?

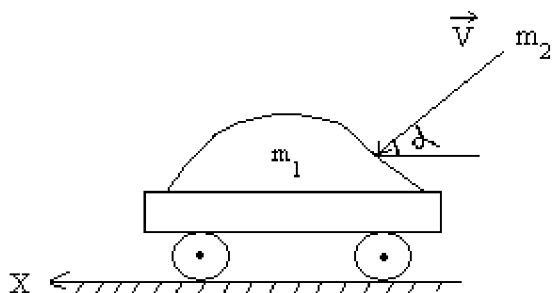
3.193. Вертикальная гладкая стена движется со скоростью u . Навстречу стене летит шарик, скорость которого v_0 направлена под углом α к нормали. Под каким углом β шарик отскочит от стены? Удар считать абсолютно упругим. Масса стены намного больше массы шарика.

3.194. Небольшое тело массой M лежит на вершине гладкой полусферы радиусом R . В тело попадает пуля массой m , летящая горизонтально со скоростью v_0 , и застревает в нем. Пренебрегая смещением тела во время удара, определить высоту h , на которой тело оторвется от поверхности полусферы. При какой скорости пули тело сразу оторвется от полусферы?

3.195. Шар массой $m = 2,6$ кг падает без начальной скорости с высоты $h = 55$ см на расположенную вертикально пружину, которая при ударе сжимается. Если у пружины коэффициент упругости $k = 72$ Н/м, то на какую максимальную длину y_{\max} сожмется пружина? Все расстояния измерять от точки соприкосновения шара с недеформированной пружиной.

3.196. Летящая со скоростью v_0 α -частица испытывает упругое столкновение с неподвижным ядром и летит под углом 90° к первоначальному направлению движения. Определить скорости α -частицы \vec{v} и ядра \vec{u} после столкновения. Определить также угол β между направлением скорости ядра и первоначальным направлением α -частицы. Масса ядра M , масса α -частицы m ($M > m$).

3.197. На горизонтальных рельсах стоит платформа с песком (общая масса $m_1 = 5 \cdot 10^3$ кг). В песок попадает снаряд массой $m_2 = 5$ кг, летевший вдоль



рельсов. В момент попадания скорость снаряда равна $v = 400$ м/с и направлена сверху вниз под углом $\alpha = 37^\circ$ к горизонту (см. рис.). Найти скорость платформы, если снаряд застревает в песке.

3.198. Акробат падает на упругую

сетку с высоты $h = 10$ м. Во сколько раз наибольшая сила давления акробата на сетку больше его силы тяжести, если статический прогиб сетки $x_0 = 20$ см? Массой сетки пренебречь (статическим называется прогиб под действием силы, равной силе тяжести акробата).

3.199. Автомобиль массой $m_1 = 1,1$ т (с прицепом) движется с некоторой скоростью по горизонтальной поверхности. Отцепив прицеп, автомобиль с той же скоростью поднимается в гору с уклоном $\alpha = 11^\circ$. Считая мощность двигателя постоянной, определить массу m_2 прицепа, если коэффициент трения колес о дорогу $\mu = 0,07$.

4.3. Задачи для самостоятельного решения

4.1 – 4.28. Маховое колесо, вращаясь равноускоренно, к моменту времени t после начала движения приобретает скорость, соответствующую частоте вращения ν , и успевает совершить N оборотов. Угловое ускорение колеса равно ε . Найти неизвестные величины согласно номеру задачи в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Условия к задачам 4.1 – 4.28

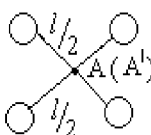
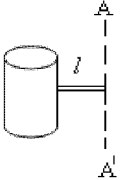

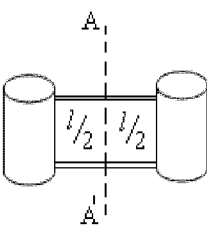
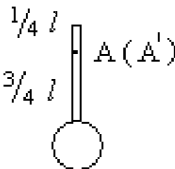

Номер задачи	t , с	ν , с ⁻¹	ε , рад/с ²	N
4.1	10	4	?	?
4.2	65	?	1,353	?
4.3	30	?	?	150
4.4	?	8	2,01	?
4.5	?	?	3,14	4
4.6	?	15	?	375
4.7	40	6	?	?
4.8	25	?	1,257	?
4.9	15	?	?	22,5
4.10	?	17	1,78	?
4.11	?	?	4,4	8,75
4.12	?	20	?	800
4.13	50	12,5	?	?
4.14	20	?	1,885	?
4.15	75	?	?	487,5
4.16	?	2,5	1,047	?
4.17	?	?	1,396	225
4.18	?	5,5	?	55
4.19	60	12	?	?
4.20	35	?	2,154	?
4.21	55	?	?	200,75
4.22	?	6,5	0,628	?
4.23	?	?	2,513	20
4.24	?	9	?	135

4.25	6	2,5	?	?
4.26	70	?	0,314	?
4.27	45	?	?	180
4.28	?	8,5	1,335	?

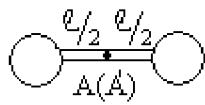
4.29 – 4.56. Одно или несколько тел (цилиндры, шары, диски, обручи) радиусом r и массой m_1 подвешены в точке A или закреплены на стержнях массой m_2 , длина которых l значительно превышает их толщину. Найти моменты инерции J систем тел относительно заданной оси AA' согласно номеру задачи в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Условия к задачам 4.29 – 4.56

Номер задачи	Система тел	m_1 , г	r , см	m_2 , г	l , см
4.29	 <p>Четыре шара на концах скрещенных стержней</p>	100			
4.30		200	4	150	20
4.31		300			
4.32		400			
4.33	 <p>Сплошной цилиндр на стержне</p>				5
4.34					10
4.35		600	5	72	15
4.36					20
4.37	 <p>Два спаянных одинаковых обруча</p>		10		
4.38			20		
4.39		100	30		
4.40			40		
4.41	 <p>Два отрезка тонкостенной цилиндрической трубы, соединенные двумя стержнями</p>	100			
4.42		200	2	60	30
4.43		300			
4.44		400			
4.45	 <p>Диск на стержне</p>				20
4.46					40
4.47		500	10	200	60
4.48					80
4.49	 <p>Три одинаковых спаянных стержня</p>				20
4.50				100	30
4.51					40
4.52					50

4.53
4.54
4.55
4.56



Два одинаковых
диска на стержне

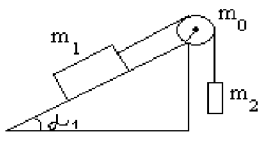
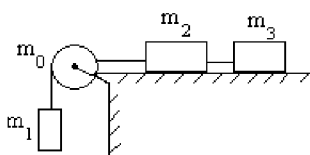
4			
6			
8	150	120	10
10			

4.57 – 4.84. Несколько тел массами m_1, m_2, m_3 соединены невесомыми нерастяжимыми нитями, перекинутыми через блоки массой m_0 . Углы, которые составляют наклонные плоскости с горизонтальной, равны α_1 и α_2 , коэффициент трения тел о поверхности μ . Найти ускорения, с которыми движутся тела, и силы натяжения нитей согласно номеру задачи в табл. 4.3. Блоки считать однородными дисками. Трением на осях блоков пренебречь.

Таблица 4.3

Условия к задачам 4.57 – 4.84)

Номер задачи	Система тел	m_0 , кг	m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	μ	α_1 , град	α_2 , град
4.57							10	
4.58							20	
4.59		0,2	0,3	0,3	1	0,1	30	
4.60								40
4.61			0,2	0,2				
4.62			0,4	0,4				
4.63		0,5	0,6	0,6	2			
4.64			0,8	0,8				
4.65					0,1			
4.66					0,2			
4.67		0,2	0,3	0,25	0,3			
4.68					0,4			
4.69					1			
4.70					1,5			
4.71		0,3	0,6	0,6	2	0,2		
4.72					2,5			
4.73								10
4.74								20
4.75		0,4	1,4	0,5		0,1	25	30
4.76						5		40

4.77		0,2					
4.78		0,4					
4.79		0,6	0,8	1		0,2	45
4.80		0,8				5	
4.81						0,1	
4.82						0,2	
4.83		0,4	0,5	0,6	0,4	0,3	
4.84						0,4	

4.85 – 4.112. Горизонтальная платформа массой M вращается вокруг вертикальной оси, проходящей через ее центр. На платформе на расстоянии r_1 от ее центра стоит человек массой m . Если человек перейдет на расстояние r_2 от центра платформы, частота ее вращения изменится в n раз. Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 4.4. Считать платформу однородным диском радиусом R , а человека – точечной массой.

Таблица 4.4

Условия к задачам 4.85 – 4.112

Номер задачи	M , кг	R , м	m , кг	r_1 , м	r_2 , м	n
4.85	?	15	60	14	6,17	1,6
4.86	95	?	76	12	4,63	2,1
4.87	155	10	?	9	5,08	1,45
4.88	130	7,5	88	?	5,3	1,3
4.89	125	9	84	8,5	?	2
4.90	160	14	75	13	0,98	?
4.91	?	10,5	66	10	2	2
4.92	100	?	62	8	4,57	1,5
4.93	145	11	?	10,5	1,42	1,85
4.94	80	13,5	68	?	8,88	1,35
4.95	75	7	82	6,5	?	1,75
4.96	105	9,5	71	8,5	4,5	?
4.97	?	13	78	12	5,44	1,9
4.98	140	?	70	10	8	1,2
4.99	110	8,5	?	7,5	1,83	1,7
4.100	70	15,5	83	?	2,2	2,8
4.101	85	12,5	65	11	?	2,05
4.102	135	6	86	5,5	3,68	?
4.103	?	16,5	90	16	2,32	2,6
4.104	65	?	72	8	1,44	3

4.105	120	6,5	?	6	2,58	1,6
4.106	135	12	92	?	7,25	1,3
4.107	90	16	64	15	?	1,75
4.108	74	8	80	7,5	3,65	?
4.109	?	14,5	66	12,5	1,23	2,2
4.110	60	?	74	9,5	3,43	2,5
4.111	115	11,5	?	11	4,7	1,8
4.112	150	5,5	85	?	3,74	1,4

4.113 – 4.137. Шар массой m_1 , двигавшийся со скоростью $\vec{v}_1 = \{v_{1X}, 0, 0\}$, испытал лобовое абсолютно неупругое соударение с одним из шаров жесткой гантели, как показано на рисунке. Массы шаров, проекции их скоростей перед ударом и расстояние L между шарами гантели приведены в табл. 4.5. Пренебрегая размерами шаров и массой стержня гантели, найти: а) скорости шаров после удара; б) скорость центра масс системы после удара; в) момент инерции и угловую скорость системы после удара относительно оси, проходящей через центр масс системы и перпендикулярной к плоскости, в которой движутся шары, согласно номеру задачи в табл. 4.5.

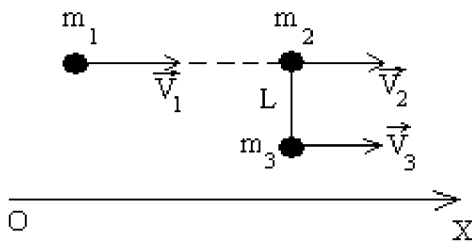


Таблица 4.5

Условия к задачам 4.113 – 4.137

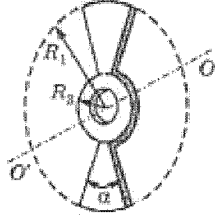
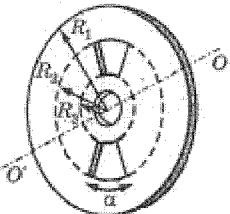
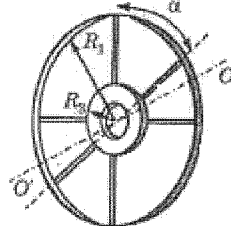
Номер задачи	v_{1X} , м/с	v_{2X} , м/с	v_{3X} , м/с	m_1 , кг	m_2 , кг	m_3 , кг	L , м
4.113	1	0	0	3	1	2	0,6
4.114	0	-1	0	2	1	1	0,8
4.115	2	1	0	3	2	1	0,6
4.116	2	-1	-1	2	2	1	0,5
4.117	2	0	-1	1	3	1	1
4.118	2	1	1	1	2	2	0,5
4.119	2	1	-1	2	1	3	1,2
4.120	1	-1	0	2	1	2	1
4.121	1	-1	-1	1	1	1	0,6
4.122	2	0	0	1	2	2	1
4.123	2	-1	0	3	1	1	0,5
4.124	0	-1	-1	3	1	2	0,6

4.125	2	-1	1	1	2	3	0,6
4.126	1	0	1	1	1	3	1
4.127	1	0	-1	3	1	3	1,4
4.128	0	-1	1	1	2	1	0,8
4.129	1	-2	0	3	1	1	1
4.130	1	-2	1	1	3	2	0,6
4.131	1	-2	-1	3	2	2	0,7
4.132	1	0	2	1	1	2	0,4
4.133	1	0	-2	3	1	3	1,4
4.134	1	-1	-2	1	1	2	0,8
4.135	1	-1	2	1	2	3	1,2
4.136	2	-2	2	1	3	3	0,7
4.137	1	-2	-2	2	1	3	0,6

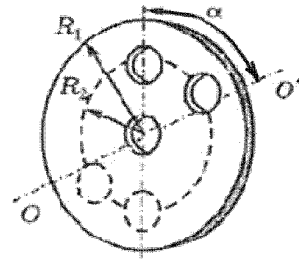
4.138 – 4.162. Определить момент инерции стального маховика относительно оси вала. Плотность стали $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$, радиус центрального отверстия для вала $r = 0,1 \text{ м}$, $R_1 = 6r$, $R_2 = 4r$, $R_3 = 2r$. Описание маховика – согласно номеру задачи в табл. 4.6.

Таблица 4.6

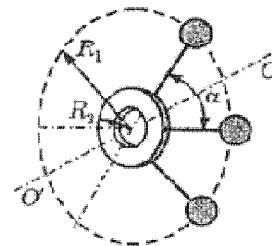
Условия к задачам 4.138 – 4.162

Номер задачи	Угол α , град	Описание маховика	Примерный эскиз маховика
4.138	15	Плоская заготовка вентилятора толщиной $h = 0,02 \text{ м}$	
4.139	30		
4.140	45		
4.141	60		
4.142	75		
4.143	15	Плоский маховик толщиной $h = 0,02 \text{ м}$ с двумя симметричными вырезами	
4.144	30		
4.145	45		
4.146	60		
4.147	75		
4.148	15	Обруч со спицами на втулке. Количество спиц равно $360/\alpha$, масса каждой спицы $m_1 = 20 \text{ г}$, масса обруча $m_2 = 300 \text{ г}$, длина втулки равна $0,02 \text{ м}$. Спицы и обруч считать тонкими	
4.149	30		
4.150	45		
4.151	60		
4.152	90		

- 4.153 180 Плоский маховик толщиной
 4.154 120 $h = 0,02$ м с цилиндрическими
 4.155 90 вырезами. Количество вырезов
 4.156 60 n найдите по формуле
 4.157 45 $n = 360/\alpha$, их радиусы равны r .



- 4.158 45 Маховик с шарами на спицах.
 4.159 60 Количество шаров n найдите по
 4.160 90 формуле $n = 360/\alpha$, их радиусы
 4.161 120 r , длина втулки равна $0,02$ м.
 4.162 180 Массами спиц пренебречь.



4.163. Маховик, имеющий момент инерции $J = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$, раскручивают так, что его угловая скорость изменяется по закону $\omega = \omega_0 \sin^2\left(\frac{2\pi}{\tau}t\right)$, где $\tau = 4 \text{ с}$, $\omega_0 = 31,4 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$. Требуется найти: 1) момент внешних сил, действующих на маховик через 1 с после начала движения; 2) запасенную к этому моменту времени кинетическую энергию.

4.164. Найти момент инерции J тонкого однородного кольца радиусом $r = 20 \text{ см}$ и массой $m = 100 \text{ г}$ относительно оси, лежащей в плоскости кольца и проходящей через его центр.

4.165. Какой момент количества движения $L_{\text{сут.}}$ соответствует суточному вращению Земли?

4.166. На однородный сплошной цилиндрический вал радиусом $R = 20 \text{ см}$ намотана невесомая нить, к концу которой подвешен груз массой $m = 2 \text{ кг}$. Груз, разматывая нить, опускается с ускорением $a = 1 \text{ м/с}^2$. Определить: 1) момент инерции J вала; 2) массу m_1 вала.

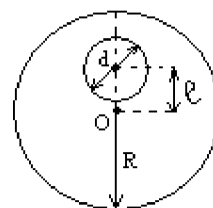
4.167. Кинетическая энергия вращающегося с частотой $n_1 = 3 \text{ с}^{-1}$ маховика равна $8,4 \text{ кДж}$. Во сколько раз увеличится частота вращения маховика за время $t = 5 \text{ с}$, если на маховик начинает действовать ускоряющий момент силы $M = 100 \text{ Н} \cdot \text{м}$?

4.168. Маховик в виде однородного сплошного диска радиусом $R = 35$ см и массой $m = 2,1$ кг вращается с частотой $n = 360$ мин⁻¹. После приложения к диску постоянной касательной силы торможения он останавливается за время $t = 2$ мин. Определить работу A силы торможения и силу торможения F .

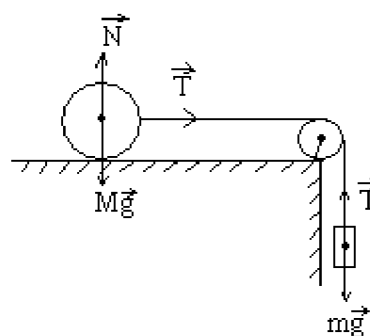
4.169. Вентилятор вращается с частотой $n = 420$ мин⁻¹. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и остановился, сделав $N = 100$ оборотов. Определить работу сил торможения A и момент сил торможения M . Момент инерции вентилятора $J = 0,4$ кг · м².

4.170. Медная проволока длиной $l = 80$ см и сечением $S = 8$ мм² закреплена одним концом в подвесном устройстве, а к ее другому концу прикреплен груз массой $m = 400$ г. Вытянутую проволоку с грузом, отклонив до высоты подвеса, отпускают. Считая проволоку невесомой, определить ее удлинение в нижней точке траектории движения груза. Модуль Юнга для меди $E = 118$ ГПа.

4.171. В однородном диске массой M и радиусом R вырезано круглое отверстие диаметром d , центр которого находится на расстоянии l от оси диска (см. рис.). Найти момент инерции J полученного тела относительно оси, проходящей через его центр перпендикулярно к плоскости диска.



4.172. Система, состоящая из цилиндрического катка радиусом R и гири, связанных нитью, перекинутой через блок, под действием силы тяжести гири приходит в движение из состояния покоя (см. рис.). Определить ускорение \vec{a} центра инерции катка и силу натяжения нити \vec{T} . Какую скорость \vec{v} приобретет гиря, если она спустится с высоты h ? Масса цилиндра M , масса гири m , массой блока пренебречь. Считать, что цилиндр катится по горизонтальной поверхности без скольжения. Трением качения пренебречь.



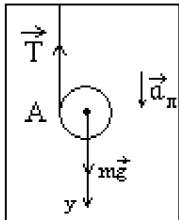
4.173. Однородный шар массой M и радиусом R скатывается (без проскальзывания) с наклонной плоскости. Чему будет равна скорость \vec{v}

шара у основания наклонной плоскости? Определить величину силы трения покоя $\vec{F}_{тр.п.}$. Высота наклонной плоскости H , угол с горизонтом α .

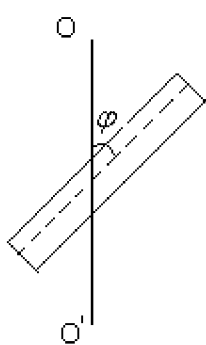
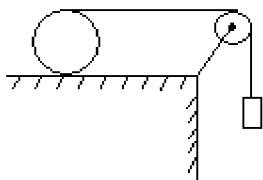
4.174. Через какое время t остановится раскрученный до угловой скорости ω диск радиусом R , если коэффициент трения между диском и плоскостью равен μ ? Диск не участвует в поступательном движении.

4.175. Маховик, массу которого 5 кг можно считать распределенной по ободу радиуса $r = 20$ см, свободно вращается вокруг горизонтальной оси, проходящей через его центр, с частотой $n = 720$ мин⁻¹. При торможении маховик останавливается через промежуток времени $\Delta t = 20$ с. Найти тормозящий момент и число оборотов, которое сделает маховик до полной остановки.

4.176. На полый тонкостенный цилиндр массой m намотана нить (тонкая и невесомая). Свободный конец ее прикреплен к потолку лифта, движущегося вниз с ускорением $\vec{a}_л$. Цилиндр предоставлен сам себе (см. рис.). Найти ускорение цилиндра относительно лифта и силу натяжения нити. Во время движения нить считать вертикальной.



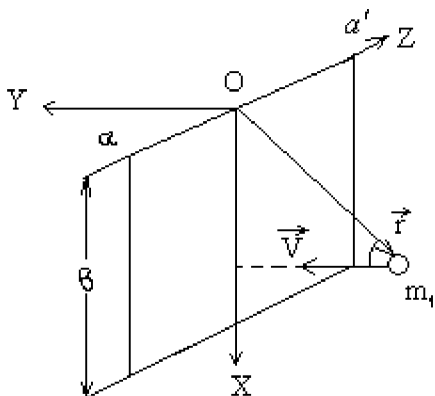
4.177. По горизонтальному столу может катиться без скольжения цилиндр массой m , на которой намотана нить. К свободному концу нити, переброшенному через легкий блок, подвешен груз той же массой m (см. рис.). Система предоставлена сама себе. Найти ускорение груза и силу трения между цилиндром и столом. Задачу решить для полого и сплошного цилиндров.



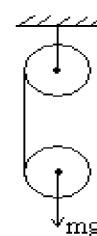
4.178. Однородный тонкий стержень длиной $l = 0,5$ м и массой $m = 1$ кг вращается под углом $\varphi = 30^\circ$ относительно вертикальной оси OO' (см. рис.). Определить момент инерции стержня J относительно этой оси. При каком значении φ этот момент инерции максимален?

4.179. Тонкая прямоугольная пластина может свободно вращаться вокруг горизонтальной оси aa' , совпадающей с одной из ее коротких сторон (см. рис.).

Длинная сторона $b = 0,6$ м. В точку, находящуюся ниже оси вращения на расстоянии $x = 0,5$ м, ударяет пуля массой $m_1 = 10$ г, летевшая горизонтально перпендикулярно пластине со скоростью $v = 200$ м/с. Масса пластины $m_2 = 8$ кг, момент инерции относительно заданной оси $J = \frac{1}{3}m_2b^2$. Какую угловую скорость приобретает пластина, если удар абсолютно упругий?



4.180. Система, показанная на рисунке, состоит из двух одинаковых однородных цилиндров, на которые симметрично намотаны две легкие нити. Найти ускорение оси нижнего цилиндра в процессе движения. Трения в оси верхнего цилиндра нет.



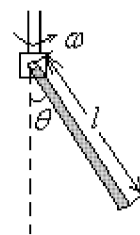
4.181. Однородный диск радиусом R раскрутили до угловой скорости ω_0 и осторожно положили на горизонтальную поверхность. Сколько времени диск будет вращаться на поверхности, если коэффициент трения равен μ ?

4.182. Однородный цилиндр радиусом R раскрутили вокруг его оси до угловой скорости ω_0 и поместили затем в угол. Коэффициент трения между стенками угла и цилиндром равен μ . Найти: а) сколько времени будет вращаться цилиндр; б) сколько оборотов сделает цилиндр до остановки.



4.183. Вертикально расположенный однородный стержень массой M и длиной l может вращаться вокруг своего верхнего конца. В нижний конец стержня попала, застряв, горизонтально летевшая пуля массой m , в результате чего стержень отклонился на угол α . Считая $m \ll M$, найти: а) скорость летевшей пули; б) приращение импульса системы пуля – стержень за время удара; в) на какое расстояние x от верхнего конца стержня должна попасть пуля, чтобы импульс системы пуля – стержень не изменился в процессе удара.

4.184. Однородный стержень длиной l может вращаться вокруг горизонтальной оси, перпендикулярной к стержню и проходящей через один из его концов (см. рис.). Систему равномерно вращают с угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси. Пренебрегая трением, найти угол θ между стержнем и вертикалью.



4.185. Однородный шар скатывается без скольжения по наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Найти ускорение центра шара и значение коэффициента трения μ , при котором скольжения не будет.

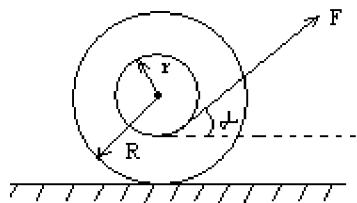
4.186. На гладкой горизонтальной поверхности лежит доска массой m_1 и на ней – однородный шар массой m_2 . Коэффициент трения скольжения между шаром и поверхностью доски равен μ . К доске приложили постоянную горизонтальную силу F . С какими ускорениями будут двигаться доска и центр шара в отсутствие скольжения между ними? При каких значениях силы F скольжение отсутствует?

4.187. Однородный шар массой $m = 5$ кг скатывается без скольжения по наклонной плоскости, составляющей угол $\alpha = 30^\circ$ с горизонтом. Найти кинетическую энергию шара через $t = 1,6$ с после начала движения.

4.188. Однородный стержень, падавший в горизонтальном положении с высоты h , упруго ударился одним концом о край массивной плиты. Найти скорость центра стержня сразу после удара.

4.189. Однородный шар радиусом r скатывается без скольжения с вершины сферы радиусом R . Найти угловую скорость шара после отрыва от сферы. Начальная скорость шара пренебрежимо мала.

4.190. Определить относительное удлинение алюминиевого стержня, если при его растяжении затрачена работа $A = 6,9$ Дж. Длина стержня $l = 1$ м, площадь поперечного сечения $S = 1$ мм², модуль Юнга для алюминия $E = 69$ ГПа.



4.191. На горизонтальной плоскости лежит катушка ниток, момент инерции которой относительно оси, проходящей через центр инерции, равен J_0 , масса m . С каким ускорением a будет двигаться ось катушки, если тянуть за нитку с силой F (см. рис.)? Катушка движется по поверхности стола без проскальзывания. Найти силу трения $F_{тр}$ между катушкой и столом.

5.3. Задачи для самостоятельного решения

5.1 – 5.28. Относительное приращение длины стержня, если ему сообщить скорость $v = Kc$ (где c – скорость света) в направлении, образующем с осью покоившегося стержня угол α , равно $\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)100\%$. Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 5.1. Выполнить дополнительное задание.

Таблица 5.1

Условия к задачам 5.1 – 5.28

Номер задачи	K	α , град	$\left(\frac{\Delta l}{l_0}\right)100\%$	Построить график зависимости
5.1	0,2	30	?	$\frac{\Delta l}{l_0} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.2	0,4		?	
5.3	0,6		?	
5.4	0,8		?	
5.5	0,5	?	-11,725	$\frac{\Delta l}{l_0} = f(a)$
5.6		?	-7,626	
5.7		?	-0,378	
5.8		?	-3,175	
5.9	?	25	-3,767	$\frac{\Delta l}{l_0} = f(K)$
5.10	?		-8,695	
5.11	?		-0,928	
5.12	?		-16,08	
5.13	0,25	0	?	$\frac{\Delta l}{l_0} = f(a)$
5.14		25	?	
5.15		50	?	
5.16		75	?	
5.17	0,35	?	-1,543	$\frac{\Delta l}{l_0} = f(a)$
5.18		?	-6,128	
5.19		?	-0,0465	
5.20		?	-4,198	

5.21	?	10	-1,959	$\frac{\Delta l}{l_0} = f(K)$
5.22	?		-8,086	
5.23	?		-0,486	
5.24	?		-4,464	
5.25	0,15	45	?	$\frac{\Delta l}{l_0} = f(v)$
5.26	0,3		?	
5.27	0,45		?	
5.28	0,6		?	

5.29 – 5.56. Промежуток собственного времени между двумя событиями в системе отсчета, движущейся со скоростью $v = Kc$, равен $\Delta\tau$. В системе отсчета наблюдателя, принятой за неподвижную, между этими же событиями прошел промежуток времени, равный Δt . Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Условия к задачам 5.29 – 5.56

Номер задачи	$K = \frac{v}{c}$	$\Delta\tau$	Δt
5.29	0,1	?	40 с
5.30	0,2	?	
5.31	0,3	?	
5.32	0,4	?	
5.33	?	43,3 с	50 с
5.34	?	46,84 с	
5.35	?	48,99 с	
5.36	?	49,75 с	
5.37	0,5	?	20 сут
5.38		?	40 сут
5.39		?	60 сут
5.40		?	80 сут
5.41	0,6	10 недель	?
5.42		20 недель	?
5.43		30 недель	?
5.44		40 недель	?
5.45	?	20 лет	20 лет 7 мес. 26 дней
5.46	?		30 лет 2 мес. 26 дней
5.47	?		25 лет
5.48	?		21 год 9 мес. 26 дней

5.49	0,2	?	3 мес.
5.50	0,4	?	6 мес.
5.51	0,6	?	9 мес.
5.52	0,8	?	12 мес.
5.53	0,25	5 лет	?
5.54	0,5		?
5.55	0,75		?
5.56	0,9		?

5.57 – 5.84. Найти релятивистскую массу частицы, движущейся со скоростью $v = Kc$, и ее полную энергию согласно номеру задачи в табл. 5.3, если известна масса покоя частицы m_0 (m_e – масса покоя электрона). Какую часть полной энергии частицы $E_{пол}$ составляет ее кинетическая энергия $E_{кин}$?

Таблица 5.3

Условия к задачам 5.57 – 5.84

Номер задачи	Частица	m_0 , кг	K	Построить график
5.57	Электрон	$0,911 \cdot 10^{-30} = m_e$	0,7	$m = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.58			0,8	
5.59			0,9	
5.60			0,99	
5.61	Протон	$1,67265 \cdot 10^{-27}$	0,7	$E_{полн} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.62			0,8	
5.63			0,9	
5.64			0,99	
5.65	K -мезон	$970 m_e$	0,7	$\frac{E_{кин}}{E_{полн}} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.66			0,8	
5.67			0,9	
5.68			0,99	
5.69	π^0 -мезон	$264 m_e$	0,7	$E_{кин} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.70			0,8	
5.71			0,9	
5.72			0,99	
5.73	Нейтрон	$1,67495 \cdot 10^{-27}$	0,7	$\frac{m}{m_0} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.74			0,8	
5.75			0,9	
5.76			0,99	

5.77	π^+ -мезон	$273 m_e$	0,7	$E_{полн} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.78			0,8	
5.79			0,9	
5.80			0,99	
5.81	Мюон (μ -мезон)	$207 m_e$	0,7	$\frac{E_{кин}}{E_{полн}} = f\left(\frac{v}{c}\right)$
5.82			0,8	
5.83			0,9	
5.84			0,99	

5.85. Кинетическая энергия электрона $T = 1$ МэВ. Определить скорость электрона ($1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж).

5.86. Импульс релятивистской частицы $P = mc$. С какой скоростью движется частица? Чему равна полная и кинетическая энергия частицы?

5.87. Космический корабль летит со скоростью $v = 0,8 c$ относительно Земли. Определить промежуток времени τ' , отсчитанный по часам на Земле, если по корабельным часам между двумя происшедшими на корабле событиями проходит промежуток времени $\tau = 1$ год.

5.88. Определить скорость нестабильной частицы, если ее время жизни по часам наблюдателя с Земли увеличилось в $n = 1,8$ раз.

5.89. Долетит ли до поверхности Земли возникшая на высоте $h = 4$ км нестабильная частица, обладающая собственным временем жизни $\tau = 4,5$ мкс и летящая со скоростью $v = 0,95 c$ по направлению к Земле?

5.90. Космическая платформа движется со скоростью $v = 0,8 c$ относительно наблюдателя. На платформе одновременно происходят два события в точках, расположенных на расстоянии $l_0 = 150$ м друг от друга. Определить промежуток времени τ' между этими событиями, отсчитанный по часам наблюдателя.

5.91. С космического корабля, приближающегося к Земле со скоростью $v_1 = 0,6 c$, по ходу движения корабля стартовала ракета со скоростью $v_2 = 0,5 c$. С какой скоростью u ракета приближается к Земле?

5.92. Два фотона движутся навстречу друг другу со скоростями, равными c относительно неподвижных звезд. Определить скорость сближения фотонов.

5.93 – 5.117. В табл. 5.4 приведены результаты измерений пространственно-временных координат трех событий A , B и C , которые произошли на оси OX некоторой инерциальной системы отсчета с двумя релятивистскими частицами. Ответить на вопросы: 1. Какие два события имеют отношение к одной из частиц? 2. Каково собственное время жизни этой частицы, если определенные в п. 1. события соответствуют рождению и распаду частицы? 3. Какова скорость этой частицы? 4. Существует ли система отсчета, в которой два из трех событий произошли одновременно? Каково расстояние между одновременными событиями в этой системе отсчета?

Таблица 5.4

Условия к задачам 5.93 – 5.117

Номер задачи	Пространственно-временные координаты, см					
	x_A	ct_A	x_B	ct_B	x_C	ct_C
5.93	0	1	4	6	-5	5
5.94	-6	5	-1	1	3	6
5.95	-1	1	-4	2	2	5
5.96	0	0	3	1	5	4
5.97	1	4	3	1	7	0
5.98	-1	3	3	6	5	2
5.99	-1	2	-6	6	3	7
5.100	-1	0	-4	1	3	4
5.101	0	2	-2	5	4	1
5.102	3	2	-1	3	-3	6
5.103	3	3	7	6	9	2
5.104	-1	6	-5	3	-6	5
5.105	-5	4	0	0	5	5
5.106	0	2	3	1	5	5
5.107	-2	1	1	2	3	6
5.108	1	2	-1	6	-5	3
5.109	-2	3	-3	5	2	6
5.110	2	2	6	7	-3	6
5.111	2	1	4	5	-1	2
5.112	0	2	-3	1	2	5
5.113	2	5	3	3	7	5
5.114	3	1	0	2	5	5
5.115	1	1	3	5	-2	2
5.116	1	0	3	4	-2	1
5.117	-3	0	0	1	2	3

5.118. Определить релятивистский импульс частицы, если ее полная энергия $E = 1,5$ ГэВ, а скорость $v = 0,5 c$.

5.119. Определить скорость частицы, если ее полная энергия в $n = 2,5$ раза больше ее энергии покоя.

5.120. Стержень пролетает мимо метки, неподвижной в K -системе отсчета. Время полета $\Delta t = 20$ нс в системе K . В системе же отсчета, связанной со стержнем, метка движется вдоль него в течение $\Delta t' = 25$ нс. Найти собственную длину стержня.

5.121. В K -системе отсчета мюон, движущийся со скоростью $v = 0,99 c$, пролетел от места своего рождения до точки распада $l = 3$ км. Определить: а) собственное время жизни этого мюона; б) расстояние, которое пролетел мюон в системе отсчета K «с его точки зрения».

5.122. Две релятивистских частицы движутся под прямым углом друг к другу в лабораторной системе отсчета, причем одна со скоростью v_1 , а другая со скоростью v_2 . Найти их относительную скорость.

5.123. Протон движется с импульсом $P = 10 \frac{\text{ГэВ}}{c}$, где c – скорость света.

На сколько процентов отличается скорость этого протона от скорости света?

5.124. Имеется прямоугольный треугольник, у которого катет $a = 5$ м и угол между этим катетом и гипотенузой $\alpha = 30^\circ$. Найти в системе отсчета K' , движущейся относительно этого треугольника со скоростью $v = 0,866 c$ вдоль катета a : а) соответствующее значение угла α' ; б) длину l' гипотенузы и ее отношение к собственной длине.

6.3. Задачи для самостоятельного решения

6.1. Вода подается в фонтан из большого цилиндрического бака и бьет из отверстия фонтана со скоростью 12 м/с. Найти: а) скорость понижения уровня воды в баке, если диаметр бака равен 2 м, а диаметр отверстия фонтана 2 см; б) давление, под которым вода подается в фонтан; в) высоту уровня воды в баке и струи, выходящей из фонтана.

6.2. Свинцовый шарик диаметром 2 мм падает с постоянной скоростью 3,6 см/с в сосуде, наполненном глицерином. Найти коэффициент вязкости глицерина.

6.3. За 15 минут по трубе диаметром 2 см протекает 50 кг воды. Найти скорость течения.

6.4. В стакан с водой, уравновешенный на рычажных весах, опустили подвешенный на нити латунный шарик массой $M = 400$ г так, чтобы он не касался дна. Определить массу m гирьки, с помощью которой можно уравновесить весы. Плотность материала шарика $\rho = 8,55$ г/см³, плотность воды $\rho_1 = 1$ г/см³.

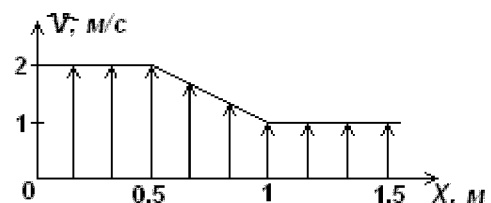
6.5. Два мальчика массами $m_1 = 20$ кг и $m_2 = 25$ кг катаются на льдинах. Определить минимальную площадь S_{\min} льдины, способной удержать их обоих, если толщина льда $h = 0,4$ м. Плотность льда $\rho = 0,9$ г/см³, плотность воды $\rho_1 = 1$ г/см³.

6.6. Цилиндрический сосуд высотой $H = 1$ м до краев заполнен жидкостью. Пренебрегая вязкостью жидкости, определить, на какой высоте h должно быть проделано малое отверстие в стенке сосуда, чтобы струя, вытекающая из отверстия, падала на пол на расстоянии $l = 50$ см от цилиндра.

6.7. Алюминиевый шар с внутренней полостью плавает, полностью погрузившись в воду. Определить объем ΔV полости, если масса шара $m = 0,2$ кг. Плотность алюминия $\rho = 2,7$ г/см³, плотность воды $\rho_1 = 1$ г/см³.

6.8. В области соприкосновения двух параллельно текущих слоев воды их скорость изменяется, как показано на рисунке. Определить силу внутреннего трения F , если площадь S соприкосновения слоев равна 3 м². Динамическая вязкость воды $\eta = 10^{-3}$ Па·с.

6.9. Пробковый шарик радиусом $r = 0,5$ см всплывает в широком сосуде в глицерине. Определить предельную скорость U_0 шарика, если течение жидкости, вызванное его всплытием, является ламинарным. Плотность материала шарика $\rho = 0,2$ г/см³, плотность глицерина $\rho_1 = 1,26$ г/см³.



Динамическая вязкость глицерина $\eta = 1,48 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

6.10. Металлический шарик радиусом $r = 20 \text{ см}$ был сначала взвешен в воде, а затем в некоторой жидкости. При этом разность показаний весов составила $P = 65,7 \text{ Н}$. Определить плотность ρ_1 жидкости, если плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

6.11. Масляный гидравлический пресс имеет площадь левого поршня $S_1 = 20 \text{ см}^2$, правого – $S_2 = 100 \text{ см}^2$. На какую высоту h опустится левый поршень, если на него поставить гирьку массой $m = 1,5 \text{ кг}$? Плотность масла $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$.

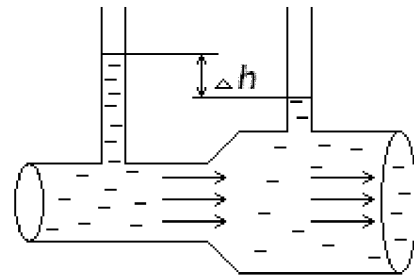
6.12. Диаметр одного из колен U-образной трубки в $n = 3$ раза меньше, чем другого. В трубку сначала наливают воду, а затем в меньшее колено доливают масло, чтобы высота h его столба стала равной 30 см . Определить изменение Δh уровня воды в большем колене. Плотность масла $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$, плотность воды $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$.

6.13. Льдину толщиной $h = 1,5 \text{ м}$ вынесло из реки в океан. На какую высоту Δh поднялась льдина над поверхностью воды по сравнению с первоначальным уровнем? Плотность льда $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$, плотность пресной воды $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$, плотность океанской воды $\rho_2 = 1,03 \text{ г/см}^3$.

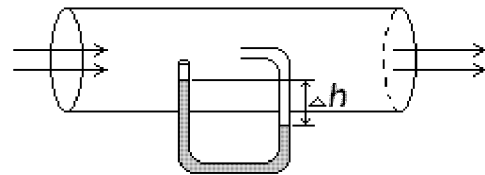
6.14. Определить разность давлений ΔP в широком и узком коленах горизонтальной трубы диаметрами $d_1 = 70 \text{ см}$ и $d_2 = 50 \text{ см}$, если поток кислорода в узком колене имеет скорость $v = 24 \text{ м/с}$. Плотность кислорода $\rho = 1,43 \text{ г/см}^3$.

6.15. Определить объем воды V , проникающей внутрь корабля за время $t = 20 \text{ мин}$ через пробоину диаметром $d = 5 \text{ см}$, которая находится в днище, на глубине $h = 4 \text{ м}$ от поверхности воды. Давление в трюме принять равным атмосферному.

6.16. Определить время, необходимое для перекачки объема $V = 10 \text{ м}^3$ воды через трубу переменного диаметра ($d_1 = 15 \text{ см}$ и $d_2 = 20 \text{ см}$) (см. рис.), если разность уровней воды в манометрических трубках $\Delta h = 12 \text{ см}$.



6.17. Пренебрегая вязкостью газа, определить разность уровней Δh воды в коленах трубки Пито (см. рис.), если она установлена в трубе диаметром $d = 40 \text{ см}$, по которой протекает азот. Известно, что за время $t = 1 \text{ мин}$ перекачивается объем газа $V = 507 \text{ м}^3$. Плотность азота $\rho_1 = 1,25 \text{ кг/м}^3$, плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

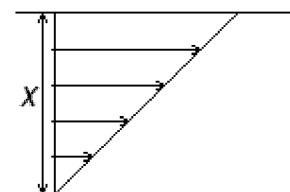


6.18. Алюминевый шарик радиусом $r = 2 \text{ мм}$ падает в глицерине с постоянной скоростью. Определить время t , затрачиваемое шариком на прохождение расстояния $h = 10 \text{ см}$, если плотность алюминия $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$, плотность глицерина $\rho_1 = 1,26 \text{ г/см}^3$. Динамическая вязкость глицерина $\eta = 1,48 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

6.19. Горизонтальный капилляр с внутренним радиусом $r = 1,5 \text{ мм}$ длиной $l = 2 \text{ см}$ вставлен в боковую поверхность сосуда с касторовым маслом. На какой высоте h требуется поддерживать уровень масла по отношению к капилляру, чтобы за время $t = 1 \text{ мин}$ вытекало $m = 40 \text{ г}$ масла? Плотность касторового масла $\rho = 0,96 \text{ г/см}^3$, динамическая вязкость $\eta = 0,987 \text{ Па} \cdot \text{с}$.

6.20. Определить динамическую вязкость η воздуха, если капли дождя диаметром $d = 1 \text{ мм}$ падают со скоростью $v = 4,2 \text{ м/с}$. Плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

6.21. Машинное масло течет между двумя пластинами с одинаковой площадью $S = 0,2 \text{ м}^2$, при этом его скорость меняется линейно от 0 до $0,3 \text{ м/с}$ (см. рис.). Определить коэффициент динамической вязкости η масла, если сила внутреннего трения $F = 15 \text{ мН}$, а расстояние между пластинами $x = 40 \text{ см}$.



6.22. На столе стоит цилиндрический сосуд, наполненный водой до уровня $H = 20$ см от дна. Если в воду ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$) опустить плавать тонкостенный никелевый стакан ($\rho' = 8,8 \text{ г/см}^3$), то уровень воды поднимается на $h = 2,2$ см. Определите уровень H_1 воды в сосуде, если стакан утопить.

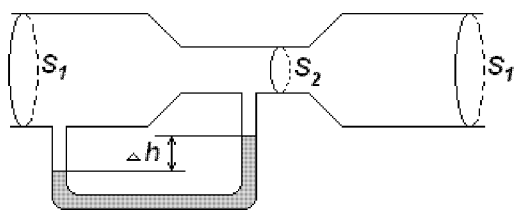
6.23. Бак цилиндрической формы с площадью основания 10 м^2 объемом 100 м^3 заполнен водой. Пренебрегая вязкостью воды, определить время, необходимое для полного опустошения бака, если на дне его образовалось круглое отверстие площадью 8 см^2 .

6.24. Парашют ($m_1 = 32 \text{ кг}$) пилота ($m_2 = 65 \text{ кг}$) в раскрытом состоянии имеет форму полусферы диаметром $d = 12 \text{ м}$, обладая коэффициентом сопротивления $C_X = 1,3$. Определить максимальную скорость, развиваемую пилотом при плотности воздуха $1,29 \text{ кг/м}^3$.

6.25. Определить наибольшую скорость, которую может приобрести свободно падающий в воздухе ($\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$) свинцовый шарик ($\rho_1 = 11,3 \text{ г/см}^3$) массой $m = 12 \text{ г}$. Коэффициент сопротивления C_X принять равным $0,5$.

6.26. Пренебрегая вязкостью жидкости, определить скорость ее истечения из малого отверстия в стенке сосуда, если высота h уровня жидкости над отверстием составляет $1,5 \text{ м}$.

6.27. Через трубу сечением $S_1 = 100 \text{ см}^2$ продувается воздух со скоростью $2 \text{ м}^3/\text{мин}$ (см. рис.). В трубе имеется короткий участок с меньшим поперечным сечением $S_2 = 20 \text{ см}^2$. Определить: 1) скорость v_1 воздуха в широкой части трубы; 2) разность уровней Δh воды, используемой в подсоединенном к данной системе манометре. Плотность воздуха $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$, воды $\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$.



широкой части трубы; 2) разность уровней Δh воды, используемой в подсоединенном к данной системе манометре. Плотность воздуха $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$, воды $\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

6.28. Сосуд в виде полусферы радиусом $R = 10 \text{ см}$ до краев наполнен водой. На дне сосуда имеется отверстие с площадью поперечного сечения

$S = 4 \text{ мм}^2$. Определить время, за которое через это отверстие выльется столько воды, чтобы ее уровень в сосуде понизился на 5 см.

6.29. Площадь поршня, вставленного в горизонтально расположенный налитый водой цилиндр, $S_1 = 1,5 \text{ см}^2$, а площадь отверстия $S_2 = 0,8 \text{ мм}^2$. Пренебрегая трением и вязкостью, определить время t , за которое вытечет вода из цилиндра, если на поршень действовать постоянной силой $F = 5 \text{ Н}$, а ход поршня $l = 5 \text{ см}$. Плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$.

6.30. В дне сосуда имеется отверстие диаметром d_1 . В сосуде вода поддерживается на постоянном уровне, равном h . Считая, что струя не разбрызгивается и пренебрегая силами трения в жидкости, определить диаметр струи, вытекающей из сосуда на расстоянии $h_1 = 2h$ от его дна.

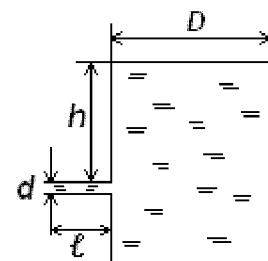
6.31. Определить, на какую высоту h поднимется вода в вертикальной трубке, впаянной в узкую часть горизонтальной трубы диаметром $d_2 = 3 \text{ см}$, если в широкой части трубы диаметром $d_1 = 9 \text{ см}$ скорость газа $v_1 = 25 \text{ см/с}$.

6.32. Определить разность давлений в широком и узком ($d_1 = 9 \text{ см}$, $d_2 = 6 \text{ см}$) коленах горизонтальной трубы, если в широком колене воздух ($\rho = 1,29 \text{ кг/м}^3$) продувается со скоростью $v_1 = 6 \text{ м/с}$.

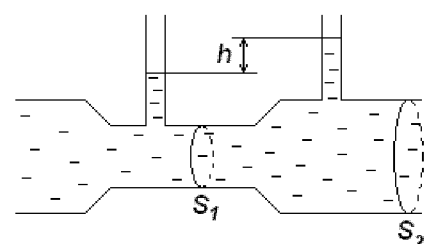
6.33. В боковую поверхность цилиндрического сосуда, установленного на столе, вставлен на высоте $h_1 = 10 \text{ см}$ от его дна капилляр с внутренним диаметром $d = 2 \text{ мм}$ длиной $l = 1 \text{ см}$. В сосуде поддерживается постоянный уровень машинного масла (плотность $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$, динамическая вязкость $\eta = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}$) на высоте $h_2 = 70 \text{ см}$ выше капилляра. Определить расстояние по горизонтали от конца капилляра до места, куда попадает струя масла.

6.34. В боковую поверхность цилиндрического сосуда диаметром D вставлен капилляр с внутренним диаметром d длиной l (см. рис.). В сосуд налита жидкость с динамической вязкостью η .

Определить зависимость скорости понижения уровня жидкости в сосуде от высоты h этого уровня над капилляром.

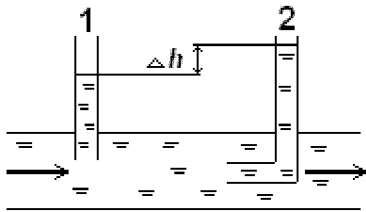


6.35. Определить работу, которая затрачивается на преодоление трения при перемещении воды объемом $V = 1,5 \text{ м}^3$ в



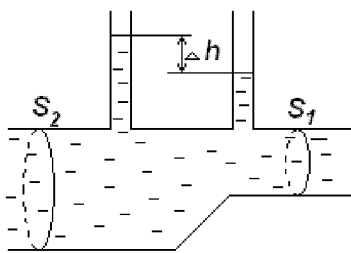
горизонтальной трубе (см. рис.) от сечения с давлением $P_1 = 40$ кПа до сечения с давлением $P_2 = 20$ кПа.

6.36. Для точного измерения малых разностей давления служат U-образные манометры, которые заполнены двумя различными жидкостями. В одном из них при использовании нитробензола ($\rho = 1,203$ г/см³) и воды ($\rho_1 = 1$ г/см³) получили разность уровней $\Delta h = 26$ мм. Определить разность давлений.



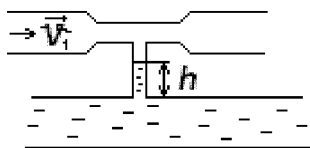
6.37. По горизонтальной трубе в направлении, указанном стрелкой (см. рис.), течет жидкость. Разность уровней Δh жидкости в манометрических трубках 1 и 2 одинакового диаметра составляет 8 см. Определить скорость течения жидкости по трубе.

6.38. По горизонтальной трубе переменного сечения (см. рис.) течет вода. Площади поперечных сечений трубы на разных ее участках соответственно равны $S_1 = 10$ см² и $S_2 = 20$ см².

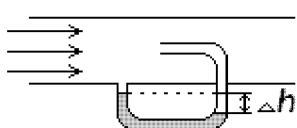


Разность уровней Δh воды в вертикальных трубках одинакового сечения составляет 20 см. Определить объем воды, проходящей за 1 с через сечение трубы.

6.39. Определить, на какую высоту h поднимется вода в вертикальной трубке (см. рис.), впаянной в узкую часть горизонтальной трубы диаметром $d_2 = 3$ см, если в широкой части трубы диаметром $d_1 = 9$ см скорость газа $v_1 = 25$ см/с.



6.40. Вдоль горизонтальной трубки диаметром 3 см, по которой течет углекислый газ ($\rho = 7,5$ кг/м³), установлена трубка Пито (см. рис.).



Пренебрегая вязкостью, определить объем газа, проходящего за 1 с через сечение трубы, если разность уровней в жидкостном манометре составляет $\Delta h = 0,5$ см. Плотность жидкости принять

равной $\rho_1 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

6.41. Сосуд имеет форму расширяющегося вверх усеченного конуса (радиус дна r , радиус верхней части $R = 2r$). Сосуд доверху заполнен жидкостью массой m . Пренебрегая атмосферным давлением, найти силу давления на дно и результирующую силу, действующую на стенки сосуда.

6.42. Давление у головы водолаза на $\eta = 33\%$ превышает давление на поверхности водоема, равное $P_0 = 10^5 \text{ Па}$. На сколько процентов давление у ног водолаза превышает давление P_0 ? Рост водолаза $h = 1\text{ м } 74\text{ см}$. Водолаз стоит в воде вертикально. Плотность воды $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

6.43. В двух сообщающихся сосудах находится ртуть. Поверх нее в один сосуд налили столб воды высотой $h_1 = 0,8 \text{ м}$, а в другой – столб керосина высотой $h_2 = 0,2 \text{ м}$. Какая разность уровней ртути установится в сосудах? Плотность воды $\rho_1 = 10^3 \text{ кг/м}^3$, керосина – $\rho_2 = 0,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, ртути – $\rho_3 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

6.44. В двух сообщающихся цилиндрических сосудах находится ртуть. Площадь поперечного сечения одного сосуда в $n = 2$ раза меньше площади поперечного сечения другого. В узкий сосуд доливают столб воды высотой $h = 48 \text{ см}$, а в широкий – такое же по массе количество некоторой жидкости. На сколько изменится уровень ртути в широком сосуде? Плотность ртути $\rho_1 = 13,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, воды – $\rho_2 = 10^3 \text{ кг/м}^3$.

6.45. Определить силу давления на вертикальную боковую стенку аквариума площадью $S = 10^3 \text{ см}^2$, доверху заполненного водой. Высота аквариума $h = 30 \text{ см}$. Плотность воды $\rho = 10^3 \text{ кг/м}^3$. Атмосферное давление не учитывать.

6.46. Поршень массой $M = 1 \text{ кг}$ представляет собой диск радиусом $R = 4 \text{ см}$ с отверстием, в которое вставлена тонкостенная трубка радиусом $r = 1 \text{ см}$. Поршень может перемещаться без трения в вертикальном цилиндрическом сосуде радиусом R и сначала лежит на дне сосуда. На

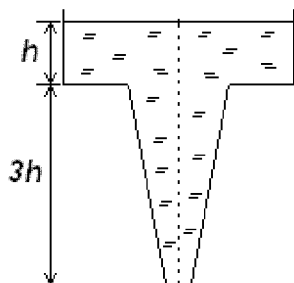
какую высоту поднимется поршень, если в трубку налить $m = 700$ г воды? Плотность воды $\rho = 10^3$ кг/м³.

6.47. В сосуде с водой плавает кусок льда. Как изменится уровень воды в сосуде, когда лед растает?

6.48. Кусок металла представляет собой сплав золота и серебра и весит в воздухе P_0 . Вес сплава в воде P . Какую долю от веса сплава составляет золото? Плотность золота ρ_z , серебра ρ_c , воды – ρ_e .

6.49. Стекланный шарик опускается в воде с ускорением $a = 5,8$ м/с². Найти плотность стекла. Плотность воды $\rho_e = 10^3$ кг/м³. Силами вязкого трения пренебречь.

6.50. Определить разность давлений в широком и узком ($d_1 = 9$ см, $d_2 = 6$ см) коленах горизонтальной трубы, если вода в широком колене течет со скоростью $v_1 = 6$ м/с. Плотность воды $\rho_e = 10^3$ кг/м³.



6.51. В дне сосуда проделано отверстие сечением S_1 . В сосуд налита вода до высоты h , и уровень ее поддерживается постоянным. Определить площадь поперечного сечения струи, вытекающей из дна сосуда, на расстоянии $3h$ от его дна. Считать, что струя не разбрызгивается (см. рис.).

6.52. Из отверстия в дне высокого сосуда вытекает вода. Сечение сосуда S_1 , сечение отверстия S_2 . Уровень воды в сосуде перемещается с постоянным ускорением. Найти это ускорение.

6.53. На дне плавательного бассейна имеется отверстие для слива воды. Предположим, что скорость, с которой вода вытекает из отверстия, пропорциональна давлению воды на дно. Коэффициент пропорциональности равен K . Бассейн имеет вертикальные стенки и горизонтальное дно, площадь которого S намного больше площади

сливного отверстия S_1 . Определить, как связана скорость v падения уровня воды в бассейне с высотой уровня h над дном бассейна. Плотность воды ρ . Внешним давлением пренебречь.

6.54. Струя воды бьет из брандспойта, установленного под некоторым углом к горизонту. Площади поперечных сечений струи у выходного отверстия брандспойта и в высшей точке траектории относятся как 1:2. Скорость струи у отверстия брандспойта $v = 9$ м/с. Под каким углом к горизонту установлен брандспойт? Какой наибольшей высоты над уровнем горизонта достигала струя?

6.55. Из брандспойта вертикально вверх бьет струя воды. Расход воды $Q = 60$ л/мин. Какова площадь поперечного сечения струи на высоте $h = 2$ м над концом брандспойта, если площадь поперечного сечения выходного отверстия брандспойта равна $S_0 = 1,5$ см²?

6.56. На какой высоте площадь поперечного сечения вертикальной струи из фонтана в три раза больше площади выходного отверстия трубки, скорость струи в котором равна $v = 6$ м/с?

6.57. Из брандспойта вертикально вверх бьет струя воды. Во сколько раз площадь поперечного сечения струи на высоте $h = 2$ м над концом брандспойта больше площади ее поперечного сечения у выходного отверстия, скорость струи в котором равна $v = 7$ м/с?

6.58. В боковой стенке сосуда с водой просверлены одно над другим два отверстия площадью $S = 0,2$ см² каждое. Расстояние между отверстиями $H = 50$ см. В сосуд каждую секунду вливают $Q = 140$ см³ воды. Найти точку пересечения струй, вытекающих из отверстий.

6.59. На поршень медицинского шприца диаметром $d = 1$ см давят с постоянной силой $F = 0,2$ Н. С какой скоростью будет вытекать струя из отверстия, расположенного на оси шприца, в горизонтальном направлении? Считать, что жидкость в шприце несжимаема, а диаметр отверстия много меньше диаметра шприца. Трением и атмосферным давлением пренебречь. Плотность жидкости $\rho = 1,2 \cdot 10^3$ кг/м³.

6.60. Насос представляет собой расположенный горизонтально цилиндр с поршнем площадью S_1 и выходным отверстием S_2 , расположенным у оси цилиндра. Определить скорость истечения струи из насоса, если поршень под действием горизонтальной силы F перемещается с постоянной скоростью. Плотность жидкости ρ . Атмосферное давление не учитывать.

7.3. Задачи для самостоятельного решения

7.1 – 7.28. Газ находится под давлением P при температуре T . Концентрация молекул газа равна n , средняя кинетическая энергия поступательного движения одной молекулы – E_K . Найти неизвестные величины согласно номеру задачи в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Условия к заданиям 7.1 – 7.28

Номер задачи	P , Па	T , К	n , м ⁻³	E_K , Дж
7.1	$8 \cdot 10^4$	220	?	?
7.2	$2,5 \cdot 10^5$?	?	$7,245 \cdot 10^{-21}$
7.3	?	?	$6,44 \cdot 10^{25}$	$9,315 \cdot 10^{-21}$
7.4	?	250	$1,45 \cdot 10^{24}$?
7.5	$1,5 \cdot 10^5$	300	?	?
7.6	10^4	?	?	$5,175 \cdot 10^{-21}$
7.7	?	?	$5,43 \cdot 10^{25}$	$8,28 \cdot 10^{-21}$
7.8	?	270	$2,15 \cdot 10^{25}$?
7.9	10^3	230	?	?
7.10	$3 \cdot 10^5$?	?	$7,87 \cdot 10^{-21}$
7.11	?	?	$2,72 \cdot 10^{25}$	$8,28 \cdot 10^{-21}$
7.12	?	260	$2,79 \cdot 10^{24}$?
7.13	$5 \cdot 10^4$	280	?	?
7.14	10^5	?	?	$1,076 \cdot 10^{-20}$
7.15	?	?	$3,29 \cdot 10^{23}$	$4,55 \cdot 10^{-21}$
7.16	?	360	$4,03 \cdot 10^{25}$?
7.17	$2 \cdot 10^5$	340	?	?
7.18	$8 \cdot 10^3$?	?	$5,175 \cdot 10^{-21}$
7.19	?	?	$1,34 \cdot 10^{25}$	$5,59 \cdot 10^{-21}$
7.20	?	500	$5,8 \cdot 10^{25}$?
7.21	$5 \cdot 10^3$	240	?	?
7.22	$2,8 \cdot 10^5$?	?	$7,66 \cdot 10^{-21}$
7.23	?	?	$2,41 \cdot 10^{25}$	$6,21 \cdot 10^{-21}$

7.24	?	300	$7,25 \cdot 10^{24}$?
7.25	$2,5 \cdot 10^5$	600	?	?
7.26	10^5	?	?	$6,83 \cdot 10^{21}$
7.27	?	?	$8,7 \cdot 10^{23}$	$5,175 \cdot 10^{21}$
7.28	?	400	$9,06 \cdot 10^{24}$?

7.29 – 7.56. В закрытом сосуде находится смесь газов. Масса первого газа – m_1 , масса второго газа – m_2 . При изменении температуры смеси на ΔT внутренняя энергия ее изменяется на ΔU . Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Условия к заданиям 7.29 – 7.56

Номер задачи	Первый газ	Второй газ	m_1 , г	m_2 , г	ΔT , К	ΔU , Дж
7.29	Кислород	Углекислый газ	?	11	-30	-342,8
7.30			4	?	58	463,7
7.31			3	4	?	243,2
7.32			12	22	44	?
7.33	Азот	Кислород	?	8	52	644,5
7.34			14	?	40	441,5
7.35			7	4	?	-467,4
7.36			3,5	3,2	-28	?
7.37	Неон	Закись азота	?	8,8	34	381,4
7.38			5	?	-50	-269,1
7.39			4	4,4	?	199,4
7.40			10	11	64	?
7.41	Кислород	Пары воды	?	4,5	22	194,2
7.42			6,4	?	60	997,2
7.43			8	4,5	?	-228,5
7.44			16	18	-36	?
7.45	Гелий	Кислород	?	2,4	-46	-238,9
7.46			4	?	24	382,3
7.47			8	6	?	903,7
7.48			2	4	-32	?
7.49	Аргон	Водород	?	4	54	2327,8
7.50			8	?	-20	-1296,4
7.51			4	2	?	1541,5
7.52			10	8	-42	?
7.53	Азот	Углекислый газ	?	11	38	434,2
7.54			14	?	-56	-1279,7

7.55			5,6	4	?	-321,1
7.56			7	8,8	26	?

7.57 – 7.84. Некоторый газ находится в закрытом сосуде объемом V при температуре T_1 и давлении P_1 . После изменения температуры до T_2 давление газа в сосуде стало равным P_2 . При этом газу было передано количество теплоты, равное Q . Определить неизвестные величины согласно номеру задачи в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Условия к заданиям 7.57 – 7.84

Номер задачи	Газ	$V, 10^{-3}, \text{ м}^3$	$T_1, \text{ К}$	$T_2, \text{ К}$	$P_1, \text{ Па}$	$P_2, \text{ Па}$	$Q, \text{ Дж}$
7.57	Кислород	2,5	200	320	?	$8 \cdot 10^3$?
7.58		?	366	?	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	500
7.59		1,6	?	450	10^5	$1,5 \cdot 10^5$?
7.60		?	375	500	$3 \cdot 10^5$?	1000
7.61	Гелий	?	352	440	?	$2,5 \cdot 10^5$	225
7.62		1,5	250	?	$8 \cdot 10^3$	$1,12 \cdot 10^4$?
7.63		?	?	460	$2,5 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$	252
7.64		2	506	600	$3,8 \cdot 10^5$?	?
7.65	Углекислый газ	1	240	300	?	10^4	?
7.66		2,6	343	?	$3,5 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$?
7.67		?	?	350	$9 \cdot 10^4$	$1,2 \cdot 10^5$	315
7.68		?	320	400	$8 \cdot 10^4$?	168
7.69	Азот	3	300	380	?	$1,14 \cdot 10^5$?
7.70		?	448	?	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	1000
7.71		?	?	320	$5 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^4$	52,5
7.72		2,2	364	420	$2,6 \cdot 10^5$?	?
7.73	Аргон	?	339	452	?	$4 \cdot 10^5$	525
7.74		?	256	?	$2 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$	7,5
7.75		2,4	?	504	$4 \cdot 10^5$	$4,8 \cdot 10^5$?
7.76		1,8	430	516	$3,5 \cdot 10^5$?	?
7.77	Водород	?	290	319	?	$5,5 \cdot 10^4$	37,5
7.78		1,2	400	?	$4,5 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^5$?
7.79		3,4	?	509	$2,2 \cdot 10^5$	$3,2 \cdot 10^5$?
7.80		?	240	360	$5 \cdot 10^3$?	16,25
7.81	Закись азота	?	280	392	?	$1,4 \cdot 10^4$	42
7.82		1,4	370	?	$4,2 \cdot 10^5$	$6,3 \cdot 10^5$?
7.83		?	?	384	$1,5 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	180
7.84		2,5	310	434	$1,8 \cdot 10^5$?	?

7.85. Идеальный газ с молярной массой M находится в однородном поле тяжести, ускорение свободного падения в котором равно g . Найти давление газа как функцию высоты h , если при $h = 0$ давление $P = P_0$, а температура изменяется с высотой: а) как $T = T_0(1 - \alpha h)$; б) как $T = T_0(1 + \alpha h)$, где α – положительная постоянная.

7.86. Газ из жестких двухатомных молекул, находившийся при нормальных условиях, адиабатически сжали в $\eta = 5$ раз по объему. Найти среднюю кинетическую энергию вращательного движения молекулы в конечном состоянии.

7.87. Сколько молекул водорода находится в сосуде емкостью $V = 2$ л, если средняя квадратичная скорость движения молекул $\langle v_{\text{кв.}} \rangle = 500$ м/с, а давление на стенки равно 10^4 Па?

7.88. Чему равна кинетическая энергия поступательного и кинетическая энергия вращательного движения молекул, содержащихся в 2 кг водорода при температуре $T = 400$ К?

7.89. Во сколько раз изменится число ударов жестких двухатомных молекул газа о поверхность сосуда в единицу времени, если газ адиабатически расширить в 2 раза?

7.90. Баллон содержит водород массой $m = 10$ г при температуре $T = 280$ К. Определить кинетическую энергию всех молекул газа.

7.91. Смесь азота и гелия при температуре 27 °С находится под давлением $P = 1,3 \cdot 10^2$ Па. Масса азота составляет 70 % от общей массы смеси. Найти концентрацию молекул каждого из газов.

7.92. Найти среднюю квадратичную скорость, среднюю кинетическую энергию поступательного движения и среднюю полную кинетическую энергию молекул гелия и азота при температуре $t = 27$ °С. Определить полную энергию всех молекул 100 г каждого из газов.

7.93. Площадь окна $S = 2$ м², расстояние между рамами $l = 0,2$ м. Наружное стекло имеет температуру $t_1 = -10$ °С, внутреннее – $t_2 = 20$ °С. Давление воздуха между рамами атмосферное, а температура его линейно изменяется вдоль l от t_1 до t_2 . Определить полную энергию молекул и полное число молекул воздуха между рамами.

7.94. Рассчитать среднюю длину свободного пробега молекул азота, коэффициент диффузии и вязкости при давлении $P = 10^5$ Па и температуре $t = 17$ °С. Как изменятся найденные величины в результате двукратного

увеличения объема газа: а) при постоянном давлении; б) при постоянной температуре? Эффективный диаметр молекул азота $d = 3,7 \cdot 10^{-8}$ см.

7.95. Температура оксида азота NO $T = 300$ К. Определить долю молекул, скорость которых лежит в интервале от $v_1 = 820$ м/с до $v_2 = 830$ м/с.

7.96. Определить: 1) число N молекул воды, занимающей при температуре $t = 4$ °С объем $V = 1$ мм³; 2) массу m_1 молекулы воды; 3) диаметр d молекулы воды, считая, что молекулы имеют форму шариков, соприкасающихся друг с другом.

7.97. В баллоне объемом $V = 10$ л находится гелий под давлением $P_1 = 1$ МПа при температуре $T_1 = 300$ К. После того как из баллона был израсходован гелий массой $m = 10$ г, температура в баллоне понизилась до $T_2 = 290$ К. Определить давление P_2 гелия, оставшегося в баллоне.

7.98. В баллоне вместимостью $V = 6,9$ л находится азот массой $m = 2,3$ г. При нагревании часть молекул диссоциировали на атомы. Степень диссоциации $\alpha = 0,2$. Определить: 1) общее число N_1 молекул и концентрацию n_1 молекул азота до нагревания; 2) концентрацию n_2 молекул и n_3 атомов азота после нагревания. (Степенью диссоциации называют отношение числа молекул, распавшихся на атомы, к общему числу молекул газа. Степень диссоциации показывает, какая часть молекул распалась на атомы).

7.99. В колбе вместимостью $V = 0,5$ л находится кислород при нормальных условиях. Определить среднюю энергию $\langle E_{\text{пост.}} \rangle$ поступательного движения всех молекул, содержащихся в колбе.

7.100. Найти среднюю кинетическую энергию одной молекулы аммиака NH_3 при температуре $t = 27$ °С и среднюю энергию вращательного движения этой молекулы при той же температуре.

7.101. Пылинки массой $m = 10^{-18}$ г взвешены в воздухе. Определить толщину слоя воздуха, в пределах которого концентрация пылинок различается не более чем на 1 %. Температура T воздуха во всем объеме одинакова и равна 300 К.

7.102. Средняя длина свободного пробега $\langle l \rangle$ молекулы углекислого газа при нормальных условиях равна 40 нм. Определить среднюю арифметическую скорость $\langle v \rangle$ молекул и число Z соударений, которые испытывает молекула в 1 с.

7.103. Два тонкостенных коаксиальных цилиндра длиной $l = 10$ см могут свободно вращаться вокруг их общей оси Z . Радиус R большого цилиндра

равен 5 см. Между цилиндрами имеется зазор размером $d = 2$ мм. Оба цилиндра находятся в воздухе при нормальных условиях. Внутренний цилиндр приводят во вращение с постоянной частотой $n_1 = 20 \text{ с}^{-1}$. Внешний цилиндр заторможен. Определить, через какой промежуток времени с момента освобождения внешнего цилиндра он приобретает частоту вращения $n_2 = 1 \text{ с}^{-1}$. При расчетах изменением относительной скорости цилиндров пренебречь. Масса m внешнего цилиндра равна 100 г.

7.104. Барометр в кабине летящего самолета все время показывает одинаковое давление $P = 79$ кПа, благодаря чему летчик считает высоту полета h_1 неизменной. Однако температура воздуха за бортом самолета изменилась с $t = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t = 1 \text{ }^\circ\text{C}$. Какую ошибку Δh в определении высоты допустил летчик? Давление P_0 у поверхности Земли считать нормальным.

7.105. Какая часть молекул кислорода при $T = 273 \text{ K}$ обладает скоростями, лежащими в интервале от $v_1 = 100 \text{ м/с}$ до $v_2 = 110 \text{ м/с}$? Найти наиболее вероятную скорость движения молекул.

7.106. Средняя квадратичная скорость молекулы углекислого газа при давлении $P = 10^5 \text{ Па}$ равна 628 м/с. Определить среднюю длину свободного пробега $\langle l \rangle$; диаметр молекулы принять равным $4 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

7.107. Определить, во сколько раз отличаются коэффициенты динамической вязкости кислорода η_1 и азота η_2 , если температуры газа одинаковы. Эффективные диаметры молекул кислорода и азота соответственно равны $d_1 = 0,36 \text{ нм}$ и $d_2 = 0,38 \text{ нм}$.

7.108. При температуре $T = 280 \text{ K}$ и некотором давлении средняя длина $\langle l_1 \rangle$ свободного пробега молекулы кислорода равна 0,1 мкм. Определить среднее число $\langle Z_2 \rangle$ столкновений молекул в 1 с, если давление в сосуде уменьшить до 0,02 первоначального давления. Температуру считать постоянной, а эффективный диаметр d молекулы кислорода принять равным 0,36 нм.

7.109. Определить среднюю длину $\langle l \rangle$ свободного пробега атомов гелия, если плотность ρ газа равна $2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$. Эффективный диаметр d молекулы гелия равен 0,22 нм.

7.110. В баллоне вместимостью $V = 5 \text{ л}$ находится гелий под давлением $P_1 = 3 \text{ МПа}$ при температуре $t_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$. После того, как из баллона был израсходован гелий массой $m = 15 \text{ г}$, температура в баллоне понизилась до $t_2 = 17 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить давление P_2 газа, оставшегося в баллоне.

7.111. Кислород массой $m = 10$ г находится под давлением 200 кПа при температуре 280 К. В результате изобарного расширения газ занял объем 9 л. Определить:

- 1) объем газа V_1 до расширения;
- 2) температуру газа T_2 после расширения;
- 3) плотность газа ρ_2 после расширения.

8.3. Задачи для самостоятельного решения

8.1 – 8.25. Идеальный газ совершает цикл $a-b-c-d-a$, состоящий из чередующихся процессов, указанных в табл. 8.1 в соответствии с номером задачи. Построить цикл в координатах $P-V$ и определить для одного из процессов величину, указанную в последнем столбце табл. 8.1.

Дано: масса газа $m = 1$ г, $P_1 = 0,2$ МПа, $P_2 = 0,1$ МПа, $P_3 = 0,15$ МПа, $V_1 = 1$ л, $V_2 = 2$ л.

Для всех участков цикла указать знак изменения внутренней энергии и определить: получает или отдает газ тепло, совершает газ работу или работа совершается над газом.

Примечания: 1) символы $d = a$ обозначают отсутствие процесса $d \rightarrow a$, т.е. точки d и a совпадают; 2) символы типа $P_1 = \text{const}$, $T = \text{const}$ и т.п. обозначают изопроцессы (в данном примере – изобарный при $P_1 = 0,2$ МПа и изотермический процессы); 3) запись $Q = 0$ обозначает адиабатический процесс.

Таблица 8.1

Условия к задачам 8.1 – 8.25

Номер задачи	Газ	Параметры	Вид процесса				Найти
			$a \rightarrow b$	$b \rightarrow c$	$c \rightarrow d$	$d \rightarrow a$	
8.1	H ₂ O	$V_a=V_1; V_b=V_2; P_a=P_1; P_c=P_2$	$P=\text{const}$	$T=\text{const}$	$P=\text{const}$	$Q=0$	A_{d-a}
8.2	O ₂	$V_a=V_1; V_b=V_2; V_c=V_1; P_b=P_2$	$T=\text{const}$	$P=\text{const}$	$V=\text{const}$	$d=a$	Q_{c-d}
8.3	CO ₂	$P_c=P_2; P_a=P_1; V_b=V_2$	$P=\text{const}$	$V=\text{const}$	$T=\text{const}$	$d=a$	Q_{a-b}
8.4	CH ₄	$V_a=V_1; V_b=V_2; P_a=P_1; P_c=P_2$	$P=\text{const}$	$T=\text{const}$	$P=\text{const}$	$T=\text{const}$	Q_{c-d}
8.5	H ₂	$V_a=V_1; V_b=V_2; P_a=P_1; P_c=P_2$	$P=\text{const}$	$Q=0$	$P=\text{const}$	$Q=0$	A_{b-c}
8.6	NO	$P_a=P_1; P_d=P_2; V_b=V_2; V_d=V_1$	$T=\text{const}$	$V=\text{const}$	$T=\text{const}$	$V=\text{const}$	Q_{b-c}
8.7	N ₂	$P_a=P_1; P_b=P_2; V_c=V_1$	$Q=0$	$T=\text{const}$	$V=\text{const}$	$d=a$	A_{a-b}
8.8	C ₂ H ₆	$P_b=P_1; P_c=P_2; V_b=V_2; V_d=V_1$	$Q=0$	$V=\text{const}$	$Q=0$	$V=\text{const}$	Q_{b-c}
8.9	Ne	$P_a=P_1; P_b=P_2; V_b=V_2$	$T=\text{const}$	$V=\text{const}$	$Q=0$	$d=a$	A_{c-d}

8.10	H ₂	V _a =V ₁ ; V _b =V ₂ ; P _b =P ₂	T=const	P=const	Q=0	d=a	Q _{b-c}
8.11	N ₂ O	V _a =V ₁ ; V _b =V ₂ ; P _a =P ₁	P=const	Q=0	T=const	d=a	A _{b-c}
8.12	CO ₂	V _b =V ₂ ; P _b =P ₂ ; V _c =V ₁	Q=0	P=const	V=const	d=a	A _{a-b}
8.13	O ₂	V _a =V ₁ ; P _a =P ₁ ; V _b =V ₂	P=const	V=const	Q=0	d=a	Q _{b-c}
8.14	H ₂ O	V _a =V ₁ ; V _b =V ₂ ; P _a =P ₁ ; P _c =P ₂	P=const	Q=0	P=const	T=const	Q _{c-d}
8.15	C ₂ H ₄	P _b =P ₁ ; P _c =P ₂ ; V _b =V ₂ ; V _d =V ₁	Q=0	V=const	T=const	V=const	Q _{d-a}
8.16	N ₂	P _a =P ₁ ; P _d =P ₂ ; V _b =V ₂ ; V _d =V ₁	T=const	V=const	Q=0	V=const	A _{c-d}
8.17	NH ₃	V _b =V ₂ ; P _a =P ₁ ; P _c =P ₂ ; V _d =V ₁	P=const	T=const	P=const	V=const	Q _{c-d}
8.18	H ₂	P _b =P ₁ ; P _c =P ₂ ; V _b =V ₂ ; V _d =V ₁	T=const	V=const	P=const	V=const	Q _{b-c}
8.19	Ar	V _a =V ₁ ; P _a =P ₁ ; P _c =P ₂ ; V _b =V ₂	P=const	V=const	P=const	Q=0	A _{d-a}
8.20	CH ₄	V _b =V ₂ ; P _a =P ₁ ; P _c =P ₂ ; V _d =V ₁	P=const	Q=0	P=const	V=const	Q _{d-a}
8.21	H ₂ O	P _b =P ₁ ; P _c =P ₂ ; V _b =V ₂ ; V _d =V ₁	Q=0	V=const	P=const	V=const	A _{a-b}
8.22	Q ₂	V _a =V ₁ ; V _b =V ₂ ; P _a =P ₁ ; P _c =P ₃	P=const	V=const	P=const	T=const	Q _{b-c}
8.23	C ₂ H ₆	V _a =V ₁ ; V _b =V ₂ ; P _c =P ₂ ; P _a =2P ₁	P=const	V=const	Q=0	V=const	A _{c-d}
8.24	NH ₃	P _c =P ₂ ; P _a =2P ₁ ; V _b =V ₂ ; V _d =V ₁	P=const	V=const	Q=0	V=const	Q _{b-c}
8.25	He	P _c =P ₂ ; P _a =2P ₁ ; V _b =V ₂ ; V _d =V ₁	P=const	V=const	T=const	V=const	Q _{c-d}

8.26 – 8.53. Газ совершает за цикл Карно работу, равную A . При этом он получает от нагревателя количество теплоты Q_1 при температуре T_1 и отдает холодильнику количество теплоты Q_2 при температуре T_2 . Для такого цикла КПД равен η . Найти неизвестные величины, выполнить построение графика согласно номеру задачи в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Условия к задачам 8.26 – 8.53

Номер задачи	A , Дж	Q_1 , Дж	Q_2 , Дж	T_1 , К	T_2 , К	Построить график
8.26	?	1800		?		$\eta = f(T_1)$ при $T_2 = \text{const}$
8.27	?	1600	1200	?	300	
8.28	?	1400		?		
8.29	?	2000		?		
8.30	1925		?		?	$\eta = f(T_2)$ при $T_1 = \text{const}$
8.31	1375	4400	?	400	?	
8.32	1100		?		?	
8.33	1650		?		?	

8.34	900	?	900	?		$\eta = f(Q_1)$
8.35	540	?		?	250	при $Q_2 = \text{const}$
8.36	1260	?		?		
8.37	180	?		?		
8.38	?		1040		?	$\eta = f(Q_2)$
8.39	?	1400	1200	350	?	при $Q_1 = \text{const}$
8.40	?		1120		?	
8.41	?		960		?	
8.42	491		?	?		$\eta = f(T_1)$
8.43	692,3	1800	?	?	200	при $T_2 = \text{const}$
8.44	600		?	?		
8.45	771,4		?	?		
8.46	196	?			?	$\eta = f(T_2)$
8.47	121,4	?	850	320	?	при $T_1 = \text{const}$
8.48	157,4	?			?	
8.49	238	?			?	
8.50	1150	?		?		$\eta = f(Q_1)$
8.51	400	?	1350	?	270	при $Q_2 = \text{const}$
8.52	900	?		?		
8.53	650	?		?		

8.54 – 8.81. Идеальная холодильная машина работает по обратному циклу Карно, для чего за один цикл затрачивается работа, равная A . За цикл от холодильника с температурой t_x отводится количество теплоты Q_x и нагретому телу с температурой t_n передается количество теплоты Q_n . Коэффициент полезного действия цикла равен η , холодильный коэффициент – η_x . Найти неизвестные величины согласно номеру задачи в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Условия к задачам 8.54 – 8.81

Номер задачи	A , кДж	t_x , °C	t_n , °C	Q_x , Дж	Q_n , Дж	η	η_x
8.54	?	?	80	270	295	?	?
8.55	?	-20	?	18	?	?	12
8.56	12	?	35	?	?	0,065	?
8.57	13,33	0	?	?	?	?	10,5
8.58	?	-13	?	?	180	0,02	?
8.59	?	?	23	75	?	?	25

8.60	4	6	?	?	124	?	?
8.61	10	-3	?	?	?	0,25	?
8.62	20	?	67	320	?	?	?
8.63	?	-23	7	140	?	?	?
8.64	?	?	12	?	96	0,1	?
8.65	6	0	?	80	?	?	?
8.66	?	10	?	112	120	?	?
8.67	22	-5	20	?	?	?	?
8.68	?	2	?	?	72	0,08	?
8.69	15	?	93	?	?	?	16
8.70	?	?	27	?	320	0,12	?
8.71	?	7	?	36	?	?	8
8.72	30	-13	?	?	280	?	?
8.73	?	52	?	42	48	?	?
8.74	?	?	22	180	?	?	9
8.75	8	-10	?	?	?	0,2	?
8.76	24	-2	?	92	?	?	?
8.77	?	5	30	200	?	?	?
8.78	28	17	?	?	?	?	14
8.79	10	?	33	75	?	?	?
8.80	?	12	?	64	68	?	?
8.81	37	-10	17	?	?	?	?

8.82 – 8.109. К идеальному газу массой m подводится определенное количество теплоты, и газ одним из процессов, сопровождающихся изменением температуры от T_1 до T_2 или объема от V_1 до V_2 , переводится из состояния 1 в состояние 2. Изменение энтропии при этом равно ΔS . Найти неизвестную величину согласно номеру задачи в табл. 8.4.

Таблица 8.4

Условия к задачам 8.82 – 8.109

Номер задачи	Газ	Изопроцесс	m , г	T_1 , К	T_2 , К	V_1 , м ³	V_2 , м ³	ΔS , Дж/К
8.82	H ₂	P=const	?	300	500			742,9
8.83	Ar		3,6	?	400			12,96
8.84	N ₂		5,6	250	?			6,39
8.85	CO ₂		13,2	400	600			?
8.86	O ₂	T=const	?			0,15	0,6	2,88
8.87	N ₂		14			?	0,25	6,687
8.88	CO ₂		5,5			0,1	?	1,86
8.89	He		10			0,02	0,1	?

8.90	N ₂ O		?	270	540			8,64
8.91	Ar	V=const	4,2	?	400			0,538
8.92	H ₂		6	225	?			20,97
8.93	Q ₂		8	320	400			?
8.94	He		?			0,1	0,4	115,2
8.95	O ₂	P=const	6,4			?	0,5	5,33
8.96	N ₂ O		8,8			0,2	?	9,216
8.97	Kr		12			0,15	0,45	?
8.98	N ₂ O		?			0,25	1	17,28
8.99	H ₂	T=const	5			?	1,5	14,4
8.100	Ar		28			0,08	?	9,36
8.101	Q ₂		24			0,05	0,2	?
8.102	Kr		?	300	350			0,64
8.103	N ₂ O	V=const	11	?	350			1,39
8.104	O ₂		12	260	?			3,159
8.105	He		2	200	400			?
8.106	Ne		?	250	500			14,4
8.107	Kr	P=const	24	?	450			1,179
8.108	H ₂		8	280	?			47,17
8.109	H ₂ O		5,4	400	500			?

8.110. Определить изменение энтропии ΔS при превращении 15 г льда при -13°C в пар при 100°C .

8.111 – 8.138. Найти изменение энтропии при переходе вещества массой m из одного состояния в другое по табл. 8.5 согласно номеру задачи.

Таблица 8.5

Условия к задачам 8.111 – 8.138

Номер задачи	Вид перехода	m , кг	t_1 , °C	t_2 , °C
8.111		1	-10	40
8.112	Лед при температуре t_1 в воду при температуре t_2	0,5	-20	20
8.113		2	-30	60
8.114		1	-40	80
8.115		0,005	200	450
8.116	Ртуть при t_1 в пар при t_2 , нагреваемый при постоянном давлении	0,01	100	500
8.117		0,001	20	400
8.118		0,02	300	550
8.119		0,1		20
8.120	Расплавленный свинец при температуре плавления в твердое вещество при t_2	0,3		100
8.121		0,2		300

8.122		0,5		0
8.123		0,1	150	20
8.124	Пар при t_1 , охлаждаемый при постоянном объеме, в воду при t_2	0,2	200	40
8.125		0,5	120	60
8.126		1	180	80
8.127		0,1	20	
8.128	Олово в твердом состоянии при t_1 в расплав при температуре плавления	0,2	0	
8.129		0,5	100	
8.130		1	200	
8.131		0,05	0	
8.132	Спирт при t_1 в пар при температуре кипения	0,1	20	
8.133		0,01	40	
8.134		0,2	60	
8.135		1		300
8.136	Расплавленный цинк при температуре плавления в твердое вещество при t_2	0,8		100
8.137		0,5		0
8.138		0,2		20

8.139. Какое количество тепла надо сообщить азоту при изобарическом нагревании, чтобы газ совершил работу $A = 2$ Дж?

8.140. Найти молярную массу газа, если при нагревании $m = 0,5$ кг этого газа на $\Delta T = 10$ К изобарически требуется на $\Delta Q = 1,48$ кДж тепла больше, чем при изохорическом нагревании.

8.141. Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на $\Delta T = 72$ К, сообщив ему количество тепла $Q = 1,6$ кДж. Найти приращение его внутренней энергии и показатель адиабаты $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$.

8.142. Найти молярную теплоемкость идеального газа при политропическом процессе $PV^n = \text{const}$, если показатель адиабаты газа равен γ . При каких значениях показателя политропы n теплоемкость газа будет отрицательной?

8.143. Один моль аргона расширили по политропе с показателем $n = 1,5$. При этом температура газа испытала приращение $\Delta T = -26$ К.

Найти: а) количество полученного газом тепла; б) работу, совершенную газом.

8.144. Идеальный газ, показатель адиабаты которого γ , расширяют так, что сообщаемое газу тепло равно убыли его внутренней энергии.

Найти: а) молярную теплоемкость газа в этом процессе; б) уравнение процесса в параметрах T, V .

8.145. Имеется идеальный газ, молярная теплоемкость при постоянном объеме C_V которого известна. Найти молярную теплоемкость этого газа как функцию его объема V , если газ совершает процесс по закону:

а) $T = T_0 e^{\alpha V}$; б) $P = P_0 e^{\alpha V}$, где T_0, P_0 и α – постоянные.

8.146. Водород совершает цикл Карно. Найти кпд цикла, если при адиабатическом расширении: а) объем газа увеличивается в $n = 2$ раза; б) давление уменьшается в $n = 2$ раза.

8.147. Найти (в расчете на один моль) приращение энтропии углекислого газа при увеличении его термодинамической температуры в $n = 2$ раза, если процесс нагревания: а) изохорический; б) изобарический. Газ считать идеальным.

8.148. Один моль идеального газа с показателем адиабаты γ совершает политропический процесс, в результате которого абсолютная температура газа увеличивается в τ раз. Показатель политропы n . Найти приращение энтропии газа в этом процессе.

8.149. Давление в автомобильной шине объемом $V = 0,3 \text{ м}^3$ равно $P_0 = 1,5$ атм. Шина накачивается насосом с емкостью хода поршня $\Delta V = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ до давления $P_N = 2$ атм. Сколько ходов поршня N потребуется, если процесс накачки происходит достаточно медленно, так что система сохраняет температуру окружающей среды? Атмосферное давление принять равным $P_a = 1$ атм.

8.150. Кислород нагревают от $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$. Масса кислорода $m = 160$ г. Найти количество поглощенной теплоты и изменение внутренней энергии при изохорном и изобарном процессах. Начальное давление близко к атмосферному.

8.151. Азот, занимающий при давлении $P = 10^5$ Па объем $V_1 = 10$ л, расширяется вдвое. Найти конечное давление и работу, совершенную газом при следующих процессах: а) изобарном; б) изотермическом; в) адиабатном.

8.152. Рассчитать, во сколько раз изменится число ударов, испытываемых 1 см^2 стенки сосуда за 1 с при двукратном увеличении объема двухатомного идеального газа в случаях изобарного, изотермического и адиабатного расширений.

8.153. Двухатомный идеальный газ, занимавший при давлении $P_1 = 3 \cdot 10^5$ Па объем $V_1 = 4$ л, расширяют до объема $V_2 = 6$ л, при этом давление падает до значения $P_2 = 10^5$ Па. Процесс происходит сначала по адиабате, затем по изохоре. Определить работу сил давления газа, изменение его внутренней энергии и количество поглощенной теплоты при этом переходе.

8.154. Двухатомный идеальный газ, занимавший при давлении $P_1 = 2 \cdot 10^5$ Па объем $V_1 = 6$ л, расширяется до объема, вдвое большего, чем начальный. Процесс расширения происходит так, что $PV^k = \text{const}$, где $k = 1,2$. Найти изменение внутренней энергии газа и работу, совершенную газом при расширении. Рассчитать молярную теплоемкость газа при этом процессе.

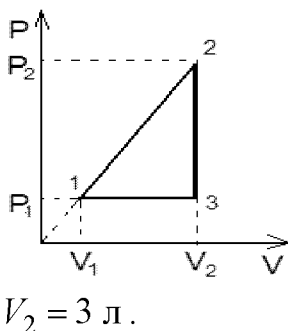
8.155. $0,5$ моль идеального одноатомного газа нагревают от температуры $T_1 = 250 \text{ К}$ до $T_2 = 500 \text{ К}$ так, что в процессе нагрева $\frac{P}{V} = \text{const}$. Определить молярную теплоемкость и рассчитать количество теплоты, поглощенной газом при нагревании.

8.156. Один моль углекислого газа, занимавший при температуре $t_1 = 127 \text{ }^\circ\text{C}$ объем $V_1 = 0,5$ л, расширяется изотермически до объема $V_2 = 2V_1$. Определить начальное давление газа, работу при расширении, изменение внутренней энергии газа и количество поглощенной теплоты.

8.157. Холодильная машина работает по обратимому циклу Карно в интервале температур $t_1 = 27\text{ }^\circ\text{C}$ и $t_2 = -3\text{ }^\circ\text{C}$. Рабочее тело – азот, масса которого $m = 0,2\text{ кг}$. Найти количество теплоты, отбираемое от охлаждаемого тела, и работу внешних сил за цикл, если отношение максимального объема газа к минимальному $\nu = 5$.

8.158. Тепловой двигатель работает по циклу, состоящему из изотермического, изобарного и адиабатного процессов. При изобарном процессе рабочее тело – идеальный газ – нагревается от температуры $T_1 = 200\text{ К}$ до $T_2 = 500\text{ К}$. Определить коэффициент полезного действия данного теплового двигателя и двигателя, работающего по циклу Карно, происходящему между максимальной и минимальной температурами данного цикла.

8.159. Кислород, масса которого $m = 200\text{ г}$, нагревают от температуры $t_1 = 27\text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 127\text{ }^\circ\text{C}$. Найти изменение энтропии, если известно, что начальное и конечное давления одинаковы и близки к атмосферному.



8.160. Гелий массой $m = 4\text{ г}$ совершает цикл, изображенный на рисунке.

Найти работу A , совершаемую газом за один цикл, а также количество теплоты, принятое от нагревателя Q_1 и переданное холодильнику Q_2 за цикл, если $P_1 = 200\text{ кПа}$, $P_2 = 600\text{ кПа}$, $V_1 = 1\text{ л}$,

$V_2 = 3\text{ л}$.

8.161. В результате адиабатического процесса один моль двухатомного идеального газа перешел из состояния 1 с температурой T_1 в состояние 2 с температурой T_2 . Определить изменение энтропии газа при этом процессе.

8.162. Найти приращение энтропии 10 г водорода: а) при переходе от объема $V_1 = 2 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3$ под давлением $P_1 = 1,5\text{ Па}$ к объему $V_2 = 6 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3$ под давлением $P_2 = 1\text{ Па}$; б) при изохорическом нагревании от $t_1 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ до $t_2 = 150\text{ }^\circ\text{C}$. Газ считать идеальным.

8.163. Определить изменение ΔS энтропии при изотермическом расширении кислорода массой $m = 10\text{ г}$ от объема $V_1 = 25\text{ л}$ до объема $V_2 = 100\text{ л}$.

8.164. Найти изменение ΔS энтропии при нагревании воды массой $m = 100$ г от температуры $t_1 = 0$ °С до температуры $t_2 = 100$ °С и последующем превращении воды в пар той же температуры.

8.165. В цилиндре под поршнем находится водород массой $m = 0,02$ кг при температуре $T_1 = 300$ К. Водород начал расширяться адиабатно, увеличив свой объем в пять раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в пять раз. Найти температуру T_2 в конце адиабатного расширения и работу A , совершенную газом. Изобразить процесс графически.

8.166. Идеальный двухатомный газ, содержащий количество вещества $\nu = 1$ моль, находится под давлением $P_1 = 250$ кПа и занимает объем $V_1 = 10$ л. Сначала газ изохорно нагревают до температуры $T_2 = 400$ К. Далее, изотермически расширяя, доводят его до первоначального давления. После этого путем изобарного сжатия возвращают газ в начальное состояние. Определить термический КПД η цикла.

8.167. Кислород занимает объем $V_1 = 1$ м³ и находится под давлением $P_1 = 200$ кПа. Газ нагрели сначала при постоянном давлении до объема $V_2 = 3$ м³, а затем при постоянном объеме – до давления $P_2 = 500$ кПа. Построить график процесса и найти: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) совершенную им работу; 3) количество теплоты Q , переданное газу.

9.3. Задачи для самостоятельного решения

9.1 – 9.28. В сосуде объемом V находится реальный газ массой m при температуре T . Какую часть давления газа составляет давление, обусловленное силами взаимодействия молекул? Какую часть объема сосуда составляет объем молекул? Определить согласно номеру задачи в табл. 9.1.

Условия к задачам 9.1 – 9.28

Номер задачи	Газ	$V, \text{ м}^3$	$m, \text{ г}$	$T, \text{ К}$
9.1	Гелий	0,04	30	300
9.2				400
9.3				500
9.4				600
9.5	Кислород	0,025	40	300
9.6				400
9.7				500
9.8				600
9.9	Пары воды	0,02	15	300
9.10				400
9.11				500
9.12				600
9.13	Аргон	0,05	25	300
9.14				400
9.15				500
9.16				600
9.17	Водород	0,01	2	300
9.18				400
9.19				500
9.20				600
9.21	Углекислый газ	0,03	35	300
9.22				400
9.23				500
9.24				600
9.25	Азот	0,035	50	300
9.26				400
9.27				500
9.28				600

9.29 – 9.56. Газ массой m адиабатически расширяется в пустоту от V_1 до V_2 , понижение температуры при этом равно ΔT . Найти неизвестную величину, считая постоянной a , входящую в уравнение Ван-дер-Ваальса, известной, согласно номеру задачи в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Условия к задачам 9.29 – 9.56

Номер задачи	Газ	m , кг	V_1 , м ³	V_2 , м ³	ΔT , К
9.29		?	0,02	0,06	13,64
9.30	Кислород	0,5	?	0,2	1,535
9.31		3	0,1	?	3,68
9.32		2,5	0,2	0,7	?
9.33		?	0,5	1,5	2,18
9.34		Аргон	0,4	?	0,2
9.35	2		0,25	?	1,45
9.36	0,75		0,6	1,5	?
9.37		?	0,8	2	0,373
9.38	Углекислый газ	1,8	?	5	1,8
9.39		3,5	0,3	?	2,32
9.40		1	0,75	1,5	?
9.41		?	0,5	2,5	0,3
9.42	Азот	1,2	?	3	2,7
9.43		1,5	0,2	?	1,05
9.44		2	1	2	?
9.45		?	0,4	2	0,69
9.46		Гелий	0,8	?	0,8
9.47	0,5		0,5	?	0,062
9.48	1,4		0,25	1,5	?
9.49	?		0,136	1,5	1,565
9.50	Водород	0,8	?	0,5	3,76
9.51		1,5	0,25	?	2,64
9.52		0,4	0,06	0,3	?
9.53		?	0,01	0,03	8,26
9.54	Водяной пар	0,15	?	0,2	1,4
9.55		0,2	0,15	?	1,1
9.56		0,075	0,05	0,15	?

9.57. В баллоне вместимостью $V = 8$ л находится кислород массой $m = 0,3$ кг при температуре $T = 300$ К. Найти, какую часть вместимости сосуда составляет собственный объем молекул газа. Определить отношение внутреннего давления P' к давлению P газа на стенки сосуда.

9.58. Углекислый газ, содержащий количество вещества $\nu = 1$ моль, находится в критическом состоянии. При изобарном нагревании газа его

объем V увеличился в 2 раза. Определить изменение ΔT температуры газа, если его критическая температура $T_{кр} = 304$ К.

9.59. В цилиндре под поршнем находится хлор массой $m = 20$ г. Определить изменение ΔU внутренней энергии хлора при изотермическом расширении его от $V_1 = 200$ см³ до $V_2 = 500$ см³.

9.60. Найти добавочное давление P внутри мыльного пузыря диаметром $d = 10$ см. Определить также работу A , которую нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь.

9.61. Определить изменение свободной энергии ΔE поверхности мыльного пузыря при изотермическом увеличении его объема от $V_1 = 10$ см³ до $V_2 = 2V_1$.

9.62. В сообщающихся капиллярных трубках диаметрами $d_1 = 1$ мм и $d_2 = 1,5$ мм разность уровней ртути $\Delta h = 5$ мм. Определить поверхностное натяжение ртути. Смачивание считать полным.

9.63. Найти постоянные a и b уравнения Ван-дер-Ваальса для одного моля хлора, если известно, что критическая температура хлора $T_{кр} = 417$ К, а критическое давление $P_{кр} = 7,6 \cdot 10^6$ Па. Определить внутреннюю энергию, если при температуре $t = 0$ °С газ занимает объем 2 л.

9.64. Из капиллярной трубки с радиусом канала 0,2 мм по капле вытекает жидкость. Масса 100 капель равна 0,282 г. Определить коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

9.65. Как изменится высота поднятия спирта между двумя пластинками, погруженными в спирт, если расстояние между ними уменьшится с 1 мм до 0,5 мм? Смачивание пластинок считать полным.

9.66. В сосуде под давлением 8 МПа содержится кислород, плотность которого $100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Считая газ реальным, определить его температуру и сравнить ее с температурой идеального газа при тех же условиях.

9.67. В сосуде емкостью 25 л при температуре 300 К находится 10 моль кислорода. Определить давление газа, считая его идеальным; реальным.

9.68. Углекислый газ массой 88 г находится в сосуде емкостью 10 л. Определить внутреннее давление газа и собственный объем молекул.

9.69. Вычислить поправки Ван-дер-Ваальса для кислорода, если критическая температура $T_{кр} = 15 \text{ К}$ и критическое давление $P_{кр} = 5,08 \text{ МПа}$.

9.70. Углекислый газ количеством вещества $\nu = 1 \text{ кмоль}$ находится при температуре $T = 380 \text{ К}$ в сосуде вместимостью $V = 1 \text{ м}^3$. Принимая поправки Ван-дер-Ваальса a и b равными $0,361 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^4}{\text{моль}^2}$ и $4,28 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$, определить давление P газа, если: 1) газ идеальный; 2) газ реальный.

9.71. Некоторый газ количеством вещества $\nu = 500 \text{ моль}$ занимает объем $V_1 = 2 \text{ м}^3$. Определить поправку a Ван-дер-Ваальса, если при расширении газа до объема $V_2 = 2,4 \text{ м}^3$ была совершена работа против сил межмолекулярного притяжения $A = 2,84 \text{ кДж}$.

9.72. Объем азота массой $m = 200 \text{ г}$ увеличился от $V_1 = 1 \text{ м}^3$ до $V_2 = 10 \text{ м}^3$. Принимая поправку Ван-дер-Ваальса $a = 0,135 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^4}{\text{моль}^2}$, определить работу внутренних сил взаимодействия молекул при этом расширении газа.

9.73. Некоторый газ количеством вещества $\nu = 2 \text{ моль}$ адиабатно расширяется в вакуум от $V_1 = 10^{-3} \text{ м}^3$ до $V_2 = 10^{-2} \text{ м}^3$. Определить,

сколькими степенями свободы обладает этот газ, если при расширении его температура понизилась на $\Delta T = 11,8 \text{ К}$. Поправку Ван-дер-Ваальса a примем равной $0,136 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^4}{\text{моль}^2}$.

9.74. Кислород количеством вещества $\nu = 2$ моль адиабатно расширяется в вакуум. Определить работу, совершаемую газом против сил межмолекулярного притяжения, если в результате расширения газа его температура понизилась на $\Delta T = -3 \text{ К}$.

9.75. Определить поверхностное натяжение σ мыльного раствора, если при выдувании мыльного пузыря для увеличения его диаметра от $d_1 = 1 \text{ см}$ до $d_2 = 5 \text{ см}$ совершена работа $A = 603 \text{ мкДж}$. Процесс образования мыльного пузыря считать изотермическим.

9.76. Спирт по каплям вытекает из сосуда через вертикальную трубку внутренним диаметром $d = 1 \text{ мм}$. Поверхностное натяжение спирта $\sigma = 22 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$. Считая, что диаметр шейки капли в момент отрыва равен внутреннему диаметру трубки, определить, сколько капель N содержит спирт массой $m = 10 \text{ г}$.

9.77. При плавлении золотой проволоки плотностью $\rho = 17,2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ и диаметром $d = 0,2 \text{ мм}$ капля золота в момент ее отрыва имеет диаметр $D = 1,63 \text{ мм}$. Определить поверхностное натяжение σ расплавленного золота.

9.78. Три капли ртути радиусом $r = 0,8 \text{ мм}$ каждая слились в одну большую каплю. Считая процесс изотермическим, определить уменьшение ΔE поверхностной энергии при этом слиянии. Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 0,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

9.79. Определить добавочное давление ΔP внутри мыльного пузыря диаметром $d = 2$ мм. Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 40 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$.

9.80. Определить разность уровней глицерина в двух вертикальных капиллярных трубках, если плотность глицерина $\rho = 1,26 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, внутренние диаметры капилляров 4 мм и 1 см, а поверхностное натяжение глицерина $\sigma = 62 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$.

9.81. В вертикальном стеклянном капилляре, находящемся на поверхности Земли, вода поднялась на 20 мм. Определить, на какую высоту (при тех же условиях опыта) поднялась бы вода в том же капилляре на поверхности Луны. Ускорение свободного падения на поверхности Луны в 6 раз меньше, чем на поверхности Земли.

9.82. Вертикальный капилляр внутренним диаметром $d = 0,7$ мм опущен в глицерин. Определить массу глицерина, поднявшегося в капилляре, если поверхностное натяжение глицерина $\sigma = 62 \frac{\text{мН}}{\text{м}}$, а его плотность $\rho = 1,26 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

9.83. В сосуд с ртутью опущен открытый вертикальный капилляр. Разность уровней ртути в сосуде и капилляре $\Delta h = 4$ мм. Определить радиус R кривизны ртутного мениска в капилляре. Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 0,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, плотность ртути $\rho = 13,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.