

Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Омский государственный технический университет»

ФИЗИКА

Методические указания к практическим занятиям
для студентов первого курса

Омск
Издательство ОмГТУ
2010

Составители: Л. Ф. Калистратова – канд. физ.-мат. наук,

доцент кафедры физики;

В. К. Волкова – канд. техн. наук, доцент кафедры физики;

О. Ю. Павловская – ст. преподаватель кафедры физики;

О. В. Лях – ассистент кафедры физики

Методические указания составлены в соответствии с программой курса общей физики для технических вузов. Предназначены для студентов первого курса всех специальностей дневного обучения.

*Печатается по решению редакционно-издательского совета
Омского государственного технического университета*

Занятие 1

КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ

Основные формулы

Поступательное движение	Вращательное движение
Закон движения: $\vec{r} = \vec{r}(t)$, $S = S(t)$. Уравнения движения: $x = x(t)$; $y = y(t)$; $z = z(t)$.	Зависимость углового пути от времени: $\vec{\varphi} = \vec{\varphi}(t)$; $\varphi = \varphi(t)$.
Средняя скорость: $\langle \vec{V} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$; $\langle V \rangle = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{S}{\Delta t}$.	Средняя угловая скорость: $\langle \vec{\omega} \rangle = \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t}$; $\langle \omega \rangle = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{t_2 - t_1}$.
Мгновенная скорость: $\vec{V} = \frac{d\vec{S}}{dt}$; $V_x = \frac{dx}{dt}$; $V_y = \frac{dy}{dt}$; $V_z = \frac{dz}{dt}$.	Мгновенная угловая скорость: $\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$; $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$.
Среднее ускорение: $\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t}$; $\langle a \rangle = \frac{V_2 - V_1}{t_2 - t_1}$.	Среднее угловое ускорение: $\langle \vec{\varepsilon} \rangle = \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t}$; $\langle \varepsilon \rangle = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1}$.
Мгновенное ускорение: $\vec{a} = \frac{d\vec{V}}{dt}$; $a = \left \frac{dV}{dt} \right $.	Мгновенное угловое ускорение: $\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$; $\varepsilon = \left \frac{d\omega}{dt} \right $.
Тангенциальное ускорение: $\vec{a}_\tau = \frac{d\vec{V}}{dt}$; $\vec{a}_\tau = a_\tau \vec{\tau}$; $a_\tau = \left \frac{dV}{dt} \right $.	Тангенциальное ускорение: $a_\tau = R \left \frac{d\omega}{dt} \right $.
Нормальное ускорение: $\vec{a}_n = a_n \vec{n}$; $a_n = \frac{V^2}{R}$.	Нормальное ускорение: $a_n = \omega^2 R$.
Полное ускорение: $\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n$; $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$.	Полное ускорение: $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$.
Равнопеременное движение: $S = V_0 t \pm \frac{at^2}{2}$; $V = V_0 \pm at$; $2aS = V_2^2 - V_1^2$.	Равнопеременное движение: $\varphi = \omega_0 t \pm \varepsilon t^2 / 2$; $\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$; $2\varepsilon \omega = \omega_2^2 - \omega_1^2$; $\varphi = 2\pi N$; $\omega = 2\pi n$; $T = 1/n = 2\pi/\omega$
Равномерное движение: $S = V \cdot t$.	Равномерное вращение: $\varphi = \omega \cdot t$.

Задачи для аудиторных занятий

1. Зависимость пройденного пути от времени задаётся уравнением $S = Ct^2 + Dt^3$, где $C = 0,14 \text{ м/с}^2$, $D = 0,6 \text{ м/с}^3$. Через сколько времени от начала движения ускорение тела равно 1 м/с^2 ? Найти среднее ускорение тела за этот промежуток времени.

(Ответ: 0,2 с; 0,64 м/с²)

2. Движение точки по кривой заданы уравнениями $x = At^3$ и $y = Bt$, где $A = 1 \text{ м/с}^3$, $B = 2 \text{ м/с}$. Найти скорость, ускорение и уравнение траектории точки в момент времени 0,8 с.

(Ответ: 2,77 м/с; 4,8 м/с²)

3. Тело брошено под углом 30° к горизонту со скоростью 30 м/с. Найти нормальное, тангенциальное и полное ускорения через одну секунду после начала движения. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 9,61; 1,92; 9,8 м/с²)

4. Поезд движется прямолинейно со скоростью $V_0 = 180 \text{ км/ч}$. Внезапно на пути возникает препятствие, и машинист включает тормоз. Найти тормозной путь поезда, если скорость поезда изменяется по закону $V = V_0 - At^2$, где $A = 1 \text{ м/с}^2$. Через какое время поезд остановится?

(Ответ: 235,7 м; 7,07 с)

5. Диск радиусом 20 см вращается согласно уравнению $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 3 \text{ рад}$, $B = -1 \text{ рад/с}$, $C = 0,1 \text{ рад/с}^3$. Найти тангенциальное и нормальное ускорения диска в момент времени 10 с.

(Ответ: 1,2 м/с²; 168,2 м/с²)

6. Маховик, вращающийся с постоянной частотой 10 об/с, начал равномерно тормозиться. Через 50 полных оборотов торможение прекратилось и он стал вращаться с новой постоянной частотой 6 об/с. Определить время торможения и угловое ускорение.

(Ответ: 9,81 с; 0,4076 рад/с²)

Задачи для самостоятельного решения

1. Тело, двигаясь равноускоренно, за десятую секунду прошло 50 м. Найти путь, пройденный за двенадцатую секунду.

(Ответ: 60,5 м)

2. Частица движется в плоскости со скоростью $\vec{V} = A\vec{i} + B\vec{j}$, где $A = 5 \text{ м/с}$, $B = 10 \text{ м/с}$, \vec{i} и \vec{j} – орты осей x и y соответственно. Найти уравнение траектории частицы. В начальный момент времени частица находилась в точке с координатами $x = 0$ и $y = 0$.

(Ответ: $y = 2x$)

3. По дуге окружности радиусом 10 м движется точка. В некоторый момент времени нормальное ускорение точки $4,9 \text{ м/с}^2$. Вектор полного ускорения образует в этот момент с вектором нормального ускорения угол 60° . Найти скорость точки и её тангенциальное ускорение.

(Ответ: 7 м/с; $4,24 \text{ м/с}^2$)

4. Камень брошен с вышки в горизонтальном направлении со скоростью 30 м/с. Определить скорость, тангенциальное и нормальное ускорения камня в конце второй секунды после начала движения. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 35,8 м/с; 5,36 и $8,2 \text{ м/с}^2$)

Вопросы программированного контроля

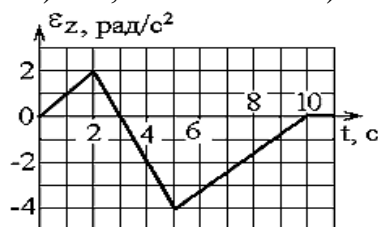
1. Твердое тело из состояния покоя начинает вращаться с угловым ускорением, проекция которого изменяется во времени, как показано на графике. Угловая скорость вращения достигнет максимальной величины в момент времени, равный...

1) 2 с;

2) 5 с;

3) 10 с;

4) 3 с.



2. Материальная точка M движется по окружности со скоростью \vec{V} . На рис. 1 показан график зависимости проекции скорости V_t от времени. При этом вектор полного ускорения на рис. 2 имеет направление ...

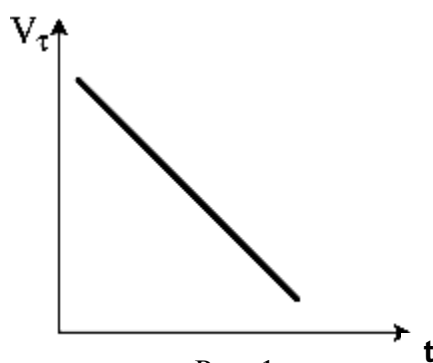


Рис. 1

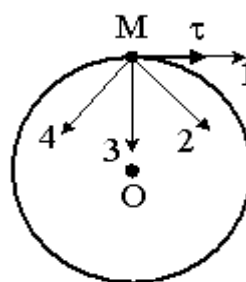


Рис. 2

1) 4;

2) 1;

3) 4;

4) 2.

3. Тело брошено с поверхности Земли со скоростью 20 м/с под углом 60° к горизонту. Радиус кривизны в верхней точке траектории равен....

1) 10 м;

2) 30 м;

3) 80 м;

4) 20.

4. Точка движется в плоскости по спирали с уменьшающимся радиусом по часовой стрелке. При этом величина нормального ускорения...

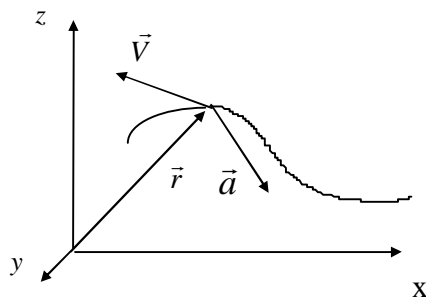
1) уменьшается;

2) не изменяется;

3) увеличивается.

5. По нарисованной системе векторов определить тип движения:

- 1) равномерное;
- 2) равноускоренное;
- 3) замедленное;
- 4) ускоренное.



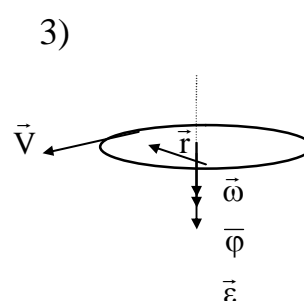
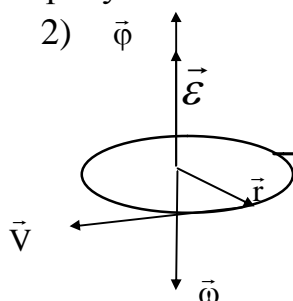
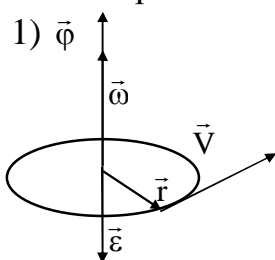
6. Угловое перемещение зависит от времени согласно уравнению $\varphi = At^2 + Bt^4$. Мгновенное угловое ускорение зависит от времени...

- 1) $\varepsilon = 2At + 4Bt^2$;
- 2) $\varepsilon = \frac{At^3}{3} + \frac{Bt^5}{5}$;
- 3) $\varepsilon = 2A + 12Bt^2$;
- 4) $\varepsilon = At + 4Dt^2$.

7. Определить тип движения, если $a_n = \text{const}$, $a_\tau = 0$...

- 1) неравномерное поступательное движение;
- 2) неравномерное вращательное движение;
- 3) равномерное движение по окружности;
- 4) равномерное прямолинейное движение.

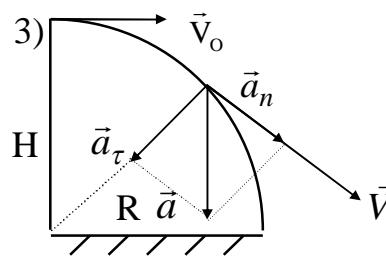
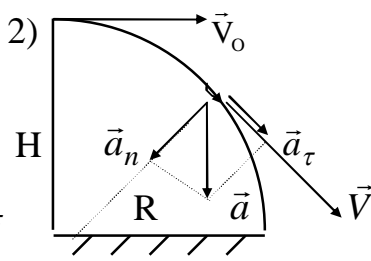
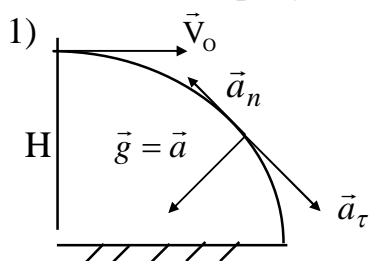
8. Правильно указаны все векторы для равнозамедленного вращательного движения материальной точки на рисунке...



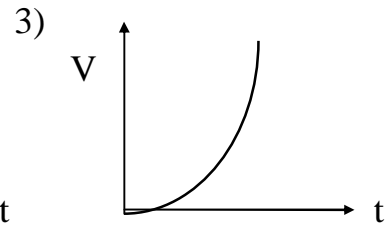
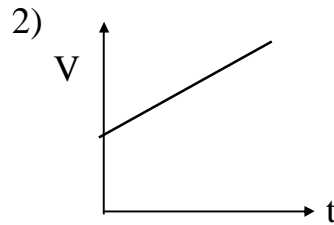
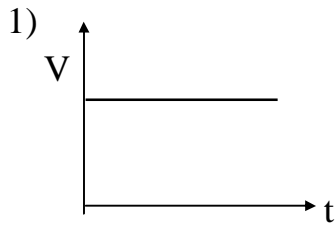
9. Чему равно мгновенное угловое ускорение в момент времени $t = 5$ с, если временная зависимость углового перемещения задана уравнением $\varphi = Bt^3$, где $B = 1$ рад/с³?

- 1) 30 м/с²;
- 2) 30 рад/с²;
- 3) 75 рад/с²;
- 4) 80 м/с².

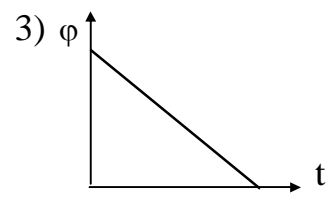
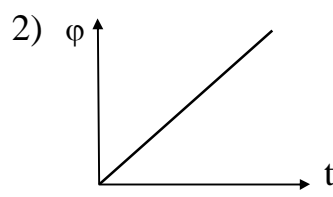
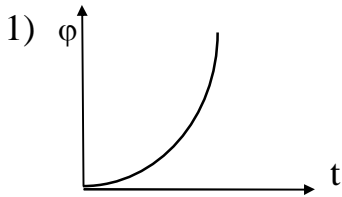
10. Правильно указаны векторы \vec{a}_τ , \vec{a}_n , \vec{a} для тела, брошенного горизонтально с высоты H на рисунке...



11. Ускорение зависит от времени по формуле $a = A \cdot t$, где $A = \text{const}$. Правильно показана зависимость скорости от времени на рисунке...



12. Угловая скорость $\omega = A \cdot t$, где $A = \text{const}$. Правильно нарисована зависимость $\varphi = \varphi(t)$ на рисунке...



13. Чему равна скорость V , если $V_0 = 10 \text{ м/с}$ и ускорение $a = 10 \cdot t \text{ м/с}^2$?

1) $V = 10 - 5 \cdot t^2$;

2) $V = 10 + 5 \cdot t^2$;

3) $V = 10 + 10 \cdot t$;

4) $V = 5 \cdot t^2$.

Занятие 2

ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ

Основные формулы

Поступательное движение	Вращательное движение
<p>Второй закон Ньютона:</p> $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}; \quad \frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}; \quad d\vec{p} = \vec{F} \cdot dt,$ <p>a – ускорение; m – масса тела; F – сила; p – импульс.</p>	<p>Закон динамики вращательного движения:</p> $\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I}; \quad \frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}; \quad d\vec{L} = \vec{M} \cdot dt,$ <p>ε – угловое ускорение; M – момент силы; L – момент импульса.</p>
<p>Гравитационная сила:</p> $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2},$ <p>$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$ – гравитационная постоянная.</p>	<p>Момент инерции относительно оси, проходящей через центр тяжести:</p> <ul style="list-style-type: none"> • материальной точки: $I = mR^2$; • сплошного цилиндра: $I = mR^2/2$; • шара: $I = 2mR^2/5$; • кольца: $I = mR^2$; • стержня: $I = mL^2/12$.
<p>Упругая сила: $F_{\text{упр}} = kx$.</p> <p>Сила трения: $F_{\text{тр}} = ?N$,</p> <p>k – коэффициент жёсткости; $?$ – коэффициент трения.</p>	<p>Момент импульса:</p> $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}; \quad L = I\omega; \quad L = mVr \cdot \sin\alpha,$ <p>ω – угловая скорость; V – линейная скорость; p – импульс.</p>
<p>Вес тела:</p> $P = m(g + a).$	<p>Момент силы:</p> $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}; \quad M = Fr \cdot \sin\alpha.$
<p>Ускорение свободного падения:</p> $g = \frac{GM}{(R + h)^2},$ <p>M и R – масса и радиус планеты, h – высота тела над поверхностью планеты.</p>	<p>Теорема Штейнера:</p> $I = I_0 + ma^2,$ <p>где I_0 – момент инерции тела относительно оси, проходящей через центр тяжести тела параллельно данной оси, a – расстояние между осями.</p>

Задачи для аудиторных занятий

1. Стальной шарик падает на горизонтальную поверхность стола с высоты 25,6 см и, отскочив, поднимается на высоту 19,6 см. Масса шарика 10 г. Какова средняя сила, с которой шарик действовал на стол при ударе, если соприкосновение шарика со столом длилось 10^{-4} с? $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 420 Н)

2. Автодрезина везет равноускоренно 2 платформы. Сила тяги 1,78 кН. Масса первой платформы 12 т, второй – 8 т. С какой силой натянута сцепка между платформами?

(Ответ: 0,712 кН)

3. Через блок в виде диска, имеющего массу 0,08 кг, перекинута тонкая нить, к концам которой подвешены грузы массами 0,1 кг и 0,2 кг. С каким ускорением будут двигаться грузы, если их предоставить самим себе? Трением пренебречь. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 2,88 м/с²)

4. Автомашина движется с постоянным тангенциальным ускорением $0,62 \text{ м/с}^2$ по горизонтальной поверхности, описывая окружность радиусом 40 м. Коэффициент трения скольжения между колесами машины с поверхностью 0,2. Какой путь пройдет машина без скольжения, если в начальный момент ее скорость равна нулю? $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 63 м)

5. Шар массой 10 кг и радиусом 0,2 м вращается вокруг оси, проходящей через его центр тяжести перпендикулярно его плоскости. Уравнение вращения шара имеет вид $\varphi(t) = A + Bt^2 + Ct^3$, где $B = 4 \text{ рад/с}$, $C = -1 \text{ рад/с}^3$. По какому закону меняется момент действующих на шар сил? Найти величину момента сил в момент времени 2 с?

(Ответ: $-0,64 \text{ Н} \cdot \text{м}$)

6. Определить момент инерции стержня длиной 0,3 м и массой 100 г относительно оси, перпендикулярной стержню и проходящей через точку, отстоящей от конца стержня на $1/3$ его длины.

(Ответ: $0,001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$)

Задачи для самостоятельного решения

1. Лестница длиной 4 м приставлена к гладкой стене под углом 60° к горизонту. Коэффициент трения между лестницей и полом 0,33. На какое расстояние вдоль лестницы может подняться человек прежде, чем лестница начнет скользить? Массой лестницы пренебречь.

(Ответ: 2,286 м)

2. Автомобиль массой 10 т движется по выпуклому мосту с радиусом кривизны 100 м. С какой силой давит автомобиль на мост в верхней точке моста при скорости движения 15 м/с. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 75,5 кН)

3. Материальная точка массой 2 кг движется под действием некоторой силы согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1 \text{ м/с}^2$, $D = -0,2 \text{ м/с}^3$. Найти величину этой силы в моменты времени 2 с и 5 с. В какой момент времени сила равна нулю?

(Ответ: $-0,8 \text{ Н}$; -8 Н ; $1,67 \text{ с}$)

4. Велосипедист едет по круглой горизонтальной площадке, радиус которой 50 м, а коэффициент трения зависит от расстояния r от центра площадки и меняется по закону $k = k_0 \cdot (1 - r/R)$, где $k_0 = 0,3$. Найти радиус окружности, по которой велосипедист может ехать с максимальной скоростью.

(Ответ: 7,5 м)

5. Определить момент инерции шара массой 2 кг и радиусом 50 см относительно оси, соприкасающейся с поверхностью шара.

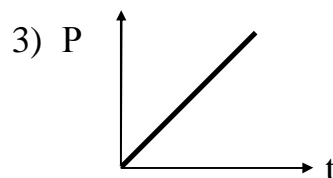
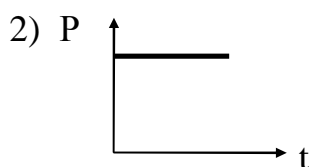
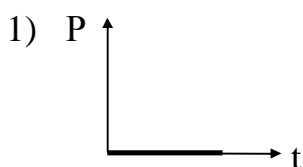
(Ответ: $0,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$)

Вопросы программированного контроля

1. Второй закон Ньютона в форме $m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i$, где \vec{F}_i – силы, действующие на тело со стороны других тел...

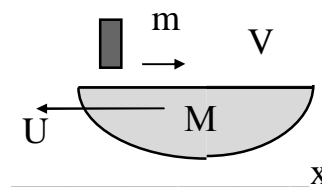
- 1) справедлив только для тел с постоянной массой и малых скоростей;
- 2) справедлив при любых скоростях движения;
- 3) справедлив в любой системе отсчёта;
- 4) справедлив как для тел с постоянной, так и с переменной массой.

2. На тело действует постоянная сила. Как со временем изменяется импульс тела?

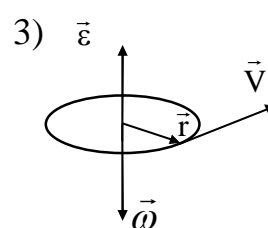
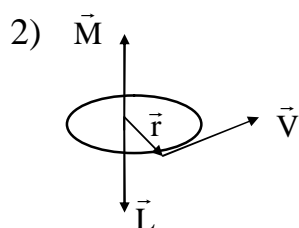
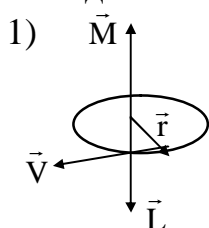


3. Человек идет по лодке со скоростью V относительно лодки. Чему равен модуль результирующего импульса системы?

- 1) $P = mV - MU - mU$;
- 2) $P = mV - MU$;
- 3) $P = mV + MU + mU$;
- 4) $P = mV + MU$.



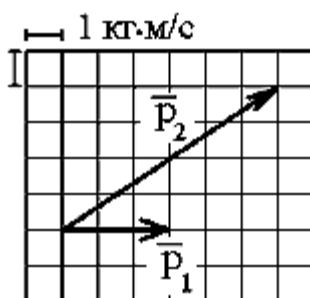
4. На каком рисунке правильно нарисованы все указанные векторы для замедленного движения?



5. При движении материальной точки по окружности угловая скорость изменяется по закону $\omega \sim t^4$. Как изменяется со временем касательная сила, действующая на материальную точку?

- 1) $F \sim t^3$; 2) $F \sim t^2$; 3) $F \sim t^5$; 4) $F \sim t$.

6. Теннисный мяч летел с импульсом p_1 в горизонтальном направлении, когда теннисист произвел по мячу резкий удар длительностью $\Delta t = 0,1$ с. Изменившийся импульс мяча стал равным p_2 (масштаб указан на рисунке).



Средняя сила удара равна ... 1) 50 Н; 2) 30 Н; 3) 0,5 Н; 4) 5 Н.

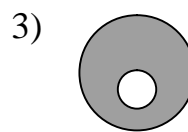
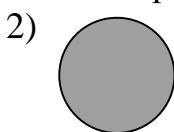
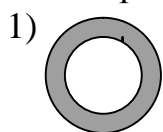
7. При расчёте моментов инерции тела относительно осей, не проходящих через центр масс, используют теорему Штейнера. Если ось вращения тонкостенной трубки перенести из центра масс на образующую, то момент инерции относительно новой оси увеличится в...

- 1) 2 раза; 2) 1,5 раза; 3) 3 раза; 4) 4 раза.

8. Момент инерции тонкого обруча массой m и радиусом R относительно оси, проходящей через центр обруча перпендикулярно его плоскости, равен $I = mR^2$. Если ось вращения перенести параллельно в точку на обруче, то момент инерции обруча...

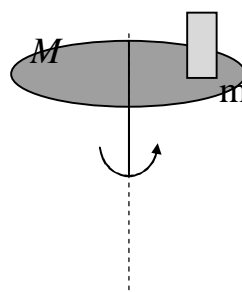
- 1) уменьшится в 2 раза; 2) увеличится в 2 раза;
3) не изменится; 4) увеличится в 1,5 раза.

9. Укажите номер рисунка, на котором изображен цилиндр с наименьшим моментом инерции? Масса и внешние радиусы одинаковы.

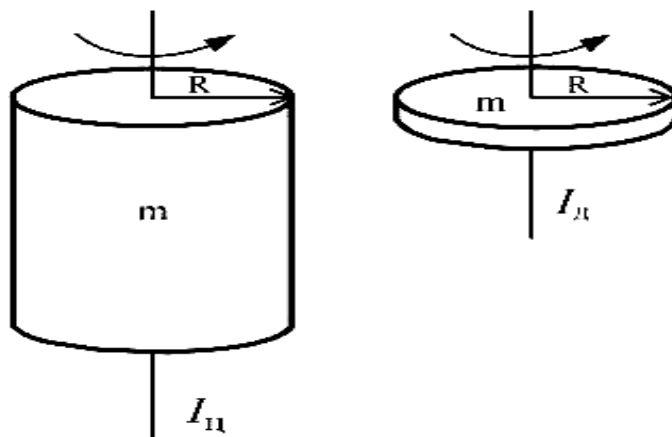


10. Человек массой m стоит на краю платформы массой M и радиусом R , вращающейся с угловой скоростью ω . Правильно записан момент инерции системы человек-платформа в пункте...

- 1) $J = \left(\frac{m}{2} + M \right) \cdot R^2$;
2) $J = \left(m + \frac{M}{2} \right) \cdot R^2$;
3) $J = (m + M) \cdot R^2$.



11. Сплошные диск и цилиндр имеют одинаковые массы и радиусы. Для их моментов инерции справедливо соотношение...

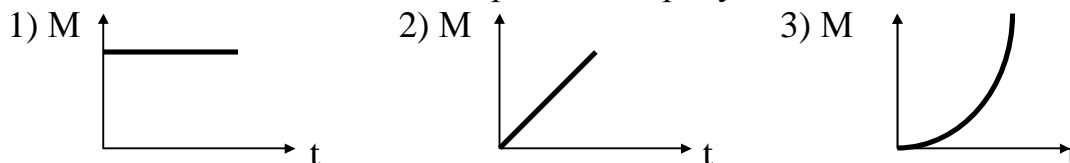


- 1) $I_{\text{ц}} \gg I_{\text{д}}$; 2) $I_{\text{ц}} \ll I_{\text{д}}$; 3) $I_{\text{ц}} = I_{\text{д}}$; 4) $I_{\text{ц}} = 2I_{\text{д}}$.

12. Момент импульса тела изменяется со временем по закону $L = t^2 - 6t + 8$. Момент действующих на тело сил станет равным нулю через...

- 1) 4 с; 2) 3 с; 3) 2 с; 4) 1 с.

13. Момент импульса зависит от времени по закону $L = At^3$. Правильно отражена зависимость момента силы от времени на рисунке...



Занятие 3

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Основные формулы

Поступательное движение	Вращательное движение
<p>Элементарная работа силы:</p> $dA = \vec{F} \cdot d\vec{r}; \quad dA = FS \cos \alpha.$ <p>Полная работа: $A = \int \vec{F} \cdot d\vec{r}.$</p>	<p>Элементарная работа: $dA = \vec{M} \cdot d\vec{\phi}.$</p> <p>Полная работа: $A = \int \vec{M} \cdot d\vec{\phi}.$</p>
<p>Мощность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • средняя $\langle N \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t};$ • мгновенная $N = \frac{dA}{dt};$ • при равномерном движении $N = FV \cos \alpha.$ 	<p>Мощность:</p> <ul style="list-style-type: none"> • средняя $\langle N \rangle = \frac{\Delta A}{\Delta t};$ • мгновенная $N = \frac{dA}{dt};$ • при равномерном движении $N = M \cdot \omega.$
<p>Кинетическая энергия:</p> $E_K = \frac{mV^2}{2}.$	<p>Кинетическая энергия:</p> $E_K = \frac{I\omega^2}{2}.$

1. Работа постоянной силы: $A = F|\Delta \vec{r}| \cdot \cos \alpha.$
2. Работа силы тяжести: $A = mg(h_1 - h_2).$
3. Работа упругой силы: $A = (kx_1^2 - kx_2^2)/2.$
4. Работа гравитационной силы: $A = GMm\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$
5. Потенциальная энергия деформированного тела: $E_{\Pi} = kx^2/2.$
6. Потенциальная энергия поднятого над землей тела: $E_{\Pi} = mgh,$
где h – высота относительно нулевого уровня отсчёта потенциальной энергии.
7. Полная механическая энергия: $E = E_{\Pi} + E_K^{BP} + E_K^{ПОСТ}.$
8. Закон сохранения энергии: $E = \text{const}; \Delta E = 0$ (консервативная система),
 $\Delta E = A_{HK}$ (неконсервативная система).
9. Закон сохранения импульса: $\vec{P} = \text{const}; \Delta \vec{P} = 0$ (замкнутая система),
 $\frac{\Delta \vec{P}}{\Delta t} = \vec{F}_p$ (незамкнутая система).

10. Абсолютно неупругий удар: $m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{U}$;

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) U^2}{2} + \Delta E_{\text{ДЕФ}}.$$

11. Абсолютно упругий удар: $m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 = m_1 \vec{U}_1 + m_2 \vec{U}_2$;

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{m_1 U_1^2}{2} + \frac{m_2 U_2^2}{2}.$$

Задачи для аудиторных занятий

1. С какой наименьшей высоты должен съехать велосипедист, чтобы по инерции (без трения) проехать дорожку, имеющую форму «мертвой петли» радиусом 3 м, и не оторваться от дорожки в верхней части петли. Масса велосипедиста вместе с велосипедом 75 кг, причем на массу колес приходится 3 кг. Колеса велосипеда считать оброчами.

(Ответ: 7,56 м)

2. Маховое колесо начинает вращаться с постоянным угловым ускорением 0,5 рад/с² и через 15 с после начала движения приобретает момент импульса 73,5 кг · м²/с. Найти кинетическую энергию колеса через 20 с после начала движения.

(Ответ: 490 Дж)

3. Снаряд массой 10 кг, двигаясь в верхней точке траектории со скоростью 200 м/с, разорвался на две части. Меньшая часть массой 3 кг полетела вперед под углом 60° к горизонту со скоростью 400 м/с. С какой скоростью полетит большая часть снаряда?

(Ответ: 249 м/с)

4. Два шара подвешены на параллельных нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Масса первого шара 0,2 кг, масса второго составляет 0,1 кг. Первый шар отклоняют так, что его центр поднимается на высоту 4,5 см, и отпускают. На какую высоту поднимутся шары после соударения, если удар абсолютно неупругий?

(Ответ: 2 см)

5. Шар массой 2 кг движется навстречу второму шару массой 1,5 кг и неупруго сталкивается с ним. Скорости тел непосредственно перед столкновением были 1 м/с и 2 м/с. Сколько времени будут двигаться эти тела после столкновения, если коэффициент трения 0,015?

(Ответ: 1,94 с)

6. Человек массой 60 кг находится на неподвижной платформе массой 100 кг. Платформа имеет форму диска радиусом 10 м и может вращаться вокруг вертикальной оси, которая проходит через ее центр. Сколько оборотов в минуту будет делать платформа, если человек будет двигаться по окружности радиусом 5 м вокруг оси вращения? Линейная скорость человека относительно платформы 4 км/ч.

(Ответ: 0,49 об/мин)

7. Какую работу надо совершить, чтобы по плоскости с углом наклона 30° равномерно втащить груз массой 400 кг на высоту 2 м при коэффициенте трения 0,1, прикладывая горизонтально направленную силу?

(Ответ: 9,2 кДж)

Задачи для самостоятельного решения

1. Два тела массами 1 кг и 2 кг, летящие навстречу друг другу со скоростями $V_0 = 5$ м/с каждое, после абсолютно неупругого удара стали двигаться как единое целое со скоростью 1 м/с. Какое количество теплоты выделилось при ударе?

(Ответ: 33,3 Дж)

2. Два шара подвешены на параллельных нитях одинаковой длины так, что они соприкасаются. Масса первого шара 0,2 кг, масса второго 0,1 кг. Первый шар отклоняют так, что его центр тяжести поднимается на высоту 4,5 см, и отпускают. На какую высоту поднимутся шары после соударения, если удар абсолютно упругий?

(Ответ: 0,5 см, 8 см)

3. Человек стоит в центре скамьи Жуковского и вместе с ней вращается по инерции. Частота обращения 0,5 об/с. Момент инерции человека со скамьей относительно оси вращения $1,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. В вытянутых в сторону руках человек держит 2 гири массой 2 кг каждая. Расстояние между гирями 1,6 м. Сколько оборотов в секунду будет делать скамья с человеком, если человек опустит руки и расстояние между гирями станет равным 0,4 м?

(Ответ: 1,18 об/с)

4. Пуля, летящая горизонтально, попадает в шар, подвешенный на очень легком жестком стержне, и застревает в нем. Масса пули в 1000 раз меньше массы шара. Расстояние от точки подвеса стержня до центра шара равно 1 м. Найти скорость пули, если известно, что стержень с шаром отклонился от удара пули на угол 10° .

(Ответ: 546 м/с)

5. Найти КПД двигателя механизма, потребляющего мощность 400 кВт идвигающегося со скоростью 8 м/с при силе сопротивления движению 20 кН.

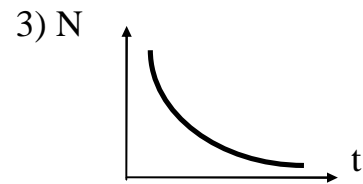
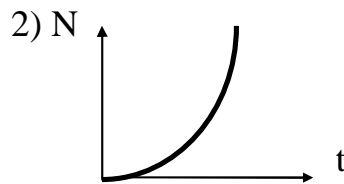
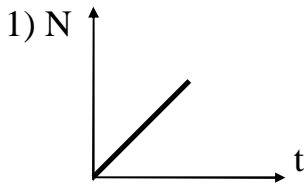
(Ответ: 40 %)

6. На горизонтальной поверхности лежит брусок массой 0,9 кг. В него попадает пуля массой 12 г, летящая горизонтально со скоростью 800 м/с, и застревает в нём. Найти коэффициент трения, если до полной остановки брусок прошёл путь 11 м.

(Ответ: 0,5)

Вопросы программированного контроля

1. Работа силы F зависит от времени по закону $A = at^3$, где a – некоторая постоянная величина. Как зависит мгновенная мощность от времени?

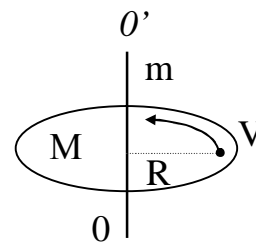


2. Человек идет по платформе со скоростью V . Масса человека m , масса платформы M . Указать правильную запись закона сохранения момента импульса.

1) $0 = m \cdot V \cdot R - \frac{M \cdot r^2}{2} \cdot \omega$;

2) $0 = m \cdot R \cdot V - \frac{M \cdot R^2}{2} \cdot \omega - m \cdot R^2 \cdot \omega$;

3) $0 = m \cdot R^2 \cdot \left(\frac{V}{R} - \omega \right) - \frac{M \cdot R^2}{2} \cdot \omega$.



3. Два человека массами 75 и 50 кг держатся за канат, стоя на коньках. Каковы будут скорости конькобежцев, если они будут натягивать и перебирать канат со скоростью 5 м/с.

1) 3 и 2 м/с;

2) 2 и 1 м/с;

3) 5 и 6 м/с.

4. Человек, стоя на тренажерном диске с поднятыми вверх руками, вращается со скоростью 5 об/с. С какой скоростью он будет вращаться, если опустит руки. Момент инерции при этом изменился с 100 до 75 кг · м².

1) 6,66 об/с;

2) 7,01 об/с;

3) 8,5 об/с.

5. Консервативная сила в некотором силовом поле зависит от координаты x как $F = -kx^2$, где $k = \text{const}$. Укажите правильную формулу зависимости потенциальной энергии от x .

1) $E_p = \frac{kx^3}{3}$;

2) $E_p = -\frac{kx^3}{3}$;

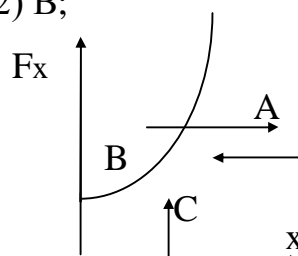
3) $E_p = -kx$.

6. Консервативная сила зависит от координаты x , как показано на рисунке. С каким вектором совпадает вектор градиента потенциальной энергии?

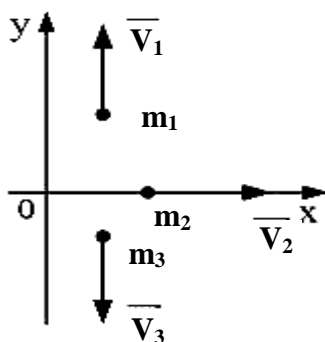
1) A;

2) B;

3) C.



7. Система состоит из трех шаров с массами $m_1 = 1$ кг, $m_2 = 2$ кг, $m_3 = 3$ кг, которые движутся так, как показано на рисунке.



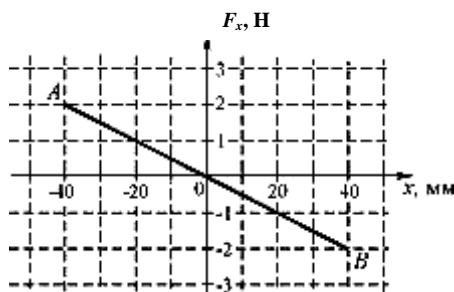
Если скорости шаров равны $v_1 = 3$ м/с, $v_2 = 2$ м/с, $v_3 = 1$ м/с, то величина скорости центра масс этой системы в м/с равна...

- 1) $5/3$; 2) 4; 3) 10; 4) $2/3$.

8. Сплошной и полый цилиндры, имеющие одинаковые массы и радиусы, вкатываются без проскальзывания на горку. Если начальные скорости тел одинаковы, то...

- 1) выше поднимется полый цилиндр;
2) выше поднимется сплошной цилиндр;
3) оба поднимутся на одинаковую высоту.

9. На графике представлена зависимость проекции силы упругости пружины на положительное направление оси X от координаты шарика.



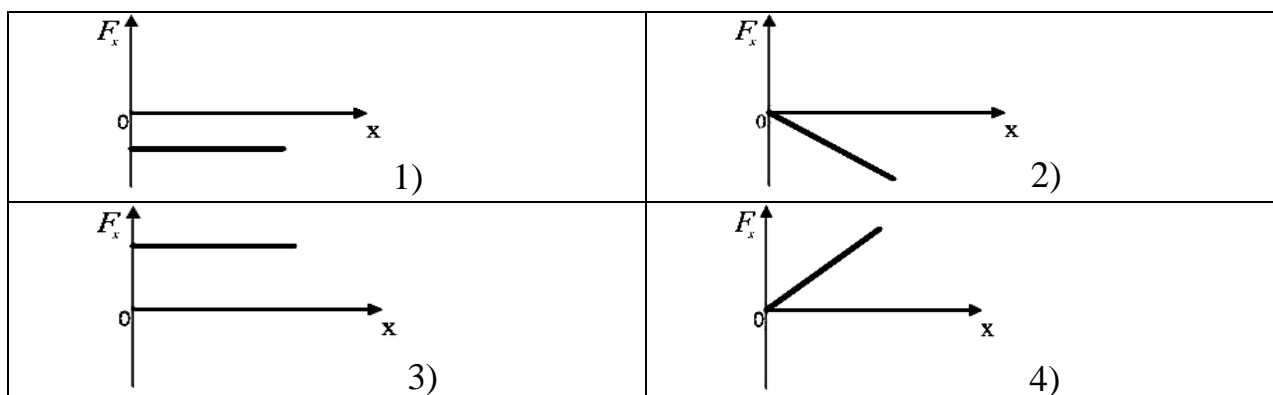
Работа силы упругости при смещении шарика из положения 0 в положение B составляет ...

- 1) $-0,04$ Дж; 2) $0,08$ Дж; 3) $0,04$ Дж; 4) 0 Дж.

10. В потенциальном поле сила \vec{F} пропорциональна градиенту потенциальной энергии W_p . Если график зависимости потенциальной энергии W_p от координаты x имеет вид, представленный на рисунке,



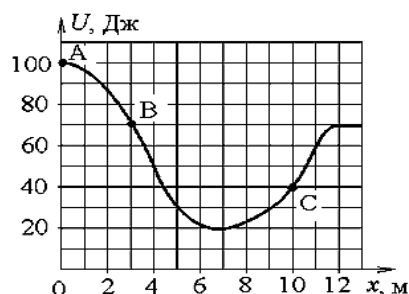
то зависимость проекции силы F_x на ось X будет...



11. Для того, чтобы раскрутить диск радиуса R_1 вокруг своей оси до угловой скорости ω , необходимо совершить работу A_1 . Под прессом диск становится тоньше и радиус его возрастает до $R_2 = 2R_1$. Для того, чтобы диск раскрутить до той же угловой скорости, необходимо совершить работу...

- 1) $A_2 = A_1/2$; 2) $A_2 = 2A_1$; 3) $A_2 = A_1/4$; 4) $A_2 = 4A_1$.

12. Шайба начинает движение без начальной скорости по гладкой ледяной горке из точки А. Сопротивление воздуха пренебрежимо мало. Зависимость потенциальной энергии $U(x)$ шайбы от координаты x изображена на графике.



1. Скорость шайбы в точке С...

- 1) в $\sqrt{2}$ больше, чем в точке В; 2) в 4 раза больше, чем в точке В;
3) в 2 раза больше, чем в точке В; 4) в $\sqrt{7}/2$ раза больше, чем в точке В.

2. Кинетическая энергия шайбы в точке С...

- 1) в 1,33 раза больше, чем в точке В; 2) в 1,33 раза меньше, чем в точке В;
3) в 2 раза больше, чем в точке В; 4) в 2 раза меньше, чем в точке В.

13. На неподвижный бильярдный шар налетел такой же с импульсом $P = 0,5$ кгм/с. После удара шары разлетелись под углом 90° так, что импульс первого шара стал $P_1 = 0,3$ кгм/с. Импульс второго шара после удара...

- 1) 0,2 кгм/с; 2) 0,4 кгм/с; 3) 0,5 кгм/с; 4) 0,3 кгм/с.

14. Два маленьких массивных шарика закреплены на концах невесомого стержня длины d . Стержень может вращаться в горизонтальной плоскости вокруг вертикальной оси, проходящей через середину стержня. Стержень раскрутили до угловой скорости ω_1 . Под действием трения стержень остановился, при этом выделилось тепло Q_1 . Если стержень раскручен до угловой скорости $\omega_2 = 3\omega_1$, то при остановке стержня выделится тепло...

- 1) $Q_2 = Q_1/9$; 2) $Q_2 = Q_1/3$; 3) $Q_2 = 9Q_1$; 4) $Q_2 = 3Q_1$.

Занятие 4

ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Основные формулы

Релятивистский закон сложения скоростей: $U = \frac{U' + V}{1 + U'V/C^2}.$	Относительность промежутков времени: $\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - V^2/C^2}}.$
Зависимость массы от скорости: $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - V^2/C^2}}.$	Энергия покоя частицы: $E_0 = m_0 C^2$. Полная энергия частицы: $E = m C^2$.
Релятивистский импульс: $p = \frac{m_0 V}{\sqrt{1 - V^2/C^2}}.$	Кинетическая энергия: $E_K = E - E_0.$ $E_K = m \cdot C^2 - m_0 \cdot C^2.$
Зависимость плотности тела от скорости: $\rho = \frac{\rho_0}{1 - V^2/C^2}.$	Закон взаимосвязи массы с энергией: $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$
Относительность длины: $L = L_0 \sqrt{1 - V^2/C^2}.$	Связь между полной энергией и импульсом: $E^2 = E_0^2 + (pC)^2.$

Задачи для аудиторных занятий

1. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями $0,5 \cdot C$ и $0,75 \cdot C$. Найти их относительную скорость.

(Ответ: $0,91 \cdot C$)

2. Определить скорость электронов, достигающих анода в двухэлектродной лампе с разностью потенциалов между анодом и катодом 300 В , а также скорость электронов, получивших в ускорителе энергию 30 МэВ .

(Ответ: $0,034 \cdot C$; $0,992 \cdot C$)

3. Найти собственную длину стержня, если в неподвижной системе отсчета его скорость $V = 0,5 \text{ с}$, длина $l = 1 \text{ м}$ и угол между ним и направлением движения $\alpha = 45^\circ$.

(Ответ: $1,08 \text{ м}$.)

4. Мю-мезон, движущийся со скоростью $0,99 \cdot C$, пролетел от места своего рождения до точки распада 3 км. Определить собственное время жизни этого мезона и расстояние, которое пролетел мю-мезон с «его точки зрения».

(Ответ: 1,425 мкс)

5. Вычислить импульс протона в МэВ/С, где C – скорость света, если известно, что его кинетическая энергия 500 МэВ.

(Ответ: 848 МэВ/С)

6. Какую скорость необходимо сообщить телу, чтобы его плотность возросла на 10 %?

(Ответ: $0,3 \cdot C$)

7. Чему равно релятивистское сокращение размеров протона в процентах, кинетическая энергия которого равна 10^4 МэВ?

(Ответ: 91,4 %)

Задачи для самостоятельного решения

1. С какой скоростью должна двигаться частица, чтобы ее масса была в 3 раза больше массы покоя?

(Ответ: 245 Мм/с)

2. Кинетическая энергия электрона 10^3 МэВ. Во сколько раз его масса больше массы покоя?

(Ответ: в 2,065 раза)

3. При какой скорости кинетическая энергия любой частицы равна ее энергии покоя?

(Ответ: $2,6 \cdot 10^8$ м/с)

4. Найти скорость мезона, если его полная энергия в 10 раз больше энергии покоя.

(Ответ: $0,995 \cdot C$)

5. Какому изменению массы соответствует изменение энергии на 1 калорию? (1 кал = 4,18 Дж)

(Ответ: $4,6 \cdot 10^{-17}$ Дж)

Вопросы программированного контроля

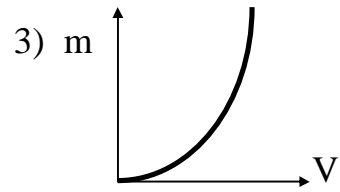
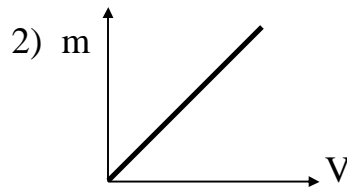
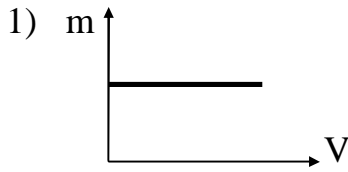
1. Инвариантными величинами в классической механике являются:

- 1) скорость, длина, время;
- 2) координата, масса, длина;
- 3) ускорение, масса, время.

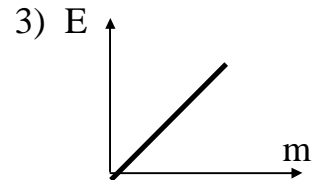
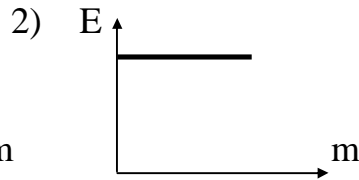
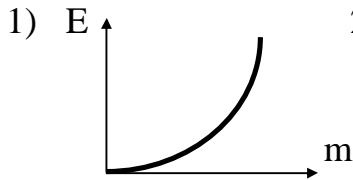
2. Инвариантными в теории относительности являются величины:

- 1) масса, импульс, время;
- 2) масса покоя, время, сила;
- 3) масса покоя, пространственно-временной интервал, скорость света.

3. Масса тела в классической механике зависит от скорости тела согласно графику



4. Полная энергия тела зависит от его массы согласно графику



5. Пространственно-временной интервал – это:

- 1) расстояние между двумя событиями в четырехмерном пространстве;
- 2) расстояние между двумя точками в четырехмерном пространстве;
- 3) расстояние между двумя точками в четырехмерном пространстве, в которых произошли события в одно и то же время.

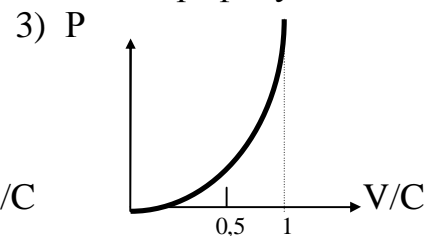
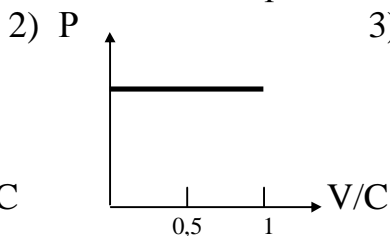
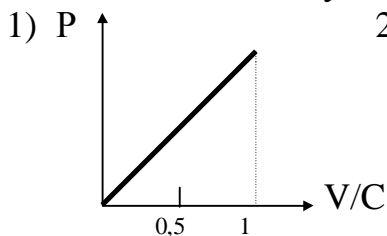
6. В неподвижной системе координат ускорение тела равно a . Чему равно ускорение a' этого тела в движущейся системе координат, если сама система движется со скоростью 10 м/с относительно неподвижной?

- 1) $a = a'$;
- 2) $a' > a_0$;
- 3) $a' < a_0$;

7. Принцип относительности Эйнштейна формулируется:

- 1) никакими механическими опытами, проведенными в инерциальной системе отсчета, нельзя определить, движется ли она равномерно и прямолинейно или находится в покое;
- 2) никакими физическими опытами, проведенными в ИСО, нельзя определить, движется ли она равномерно и прямолинейно или находится в покое;
- 3) механическими опытами нельзя, но оптическими можно определить равномерное и прямолинейное движение ИСО или её покой.

8. Релятивистский импульс зависит от скорости согласно графику



9. Могут ли быть движения со скоростями, большими скорости света?

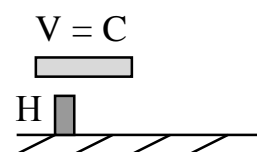
- 1) Да, если движение происходит в веществе.
- 2) Да, если движение тела происходит в вакууме.
- 3) Оба утверждения неверны.

10. Одинаковый ли промежуток времени показывают часы на руке наблюдателя, находящегося на земле, и часы, находящиеся в космическом корабле, который вращается вокруг Земли по орбите $r = 2R_3$ с периодом обращения $T = 1,5$ часа?

- 1) Одинаковый.
- 2) Первый больше второго.
- 3) Второй больше первого.

11. Мимо наблюдателя на Земле проносится «фонарик» со скоростью $V = C$, испускающий световой луч. Какую скорость света зафиксирует наблюдатель?

- 1) $2C$;
- 2) C ;
- 3) $0,5C$.



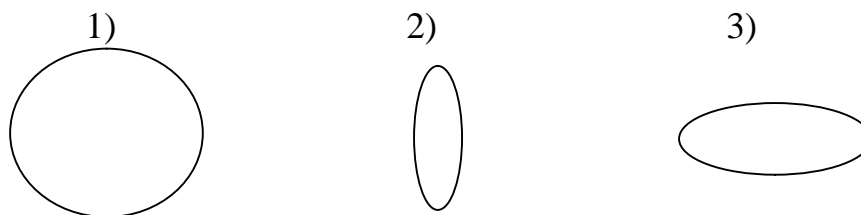
12. Космический корабль с двумя космонавтами летит со скоростью $V = 0,8c$ (c – скорость света в вакууме). Один из космонавтов медленно поворачивает метровый стержень из положения 1, параллельного направлению движения, в положение 2, перпендикулярное этому направлению. Тогда длина стержня с точки зрения другого космонавта ...

- 1) изменится от 0,6 м в положении 1 до 1 м в положении 2;
- 2) равна 1 м при любой его ориентации;
- 3) изменится от 1 м в положении 1 до 1,67 м в положении 2;
- 4) изменится от 1 м в положении 1 до 0,6 м в положении 2.

13. Относительной величиной является:

- 1) электрический заряд;
- 2) длительность события;
- 3) барионный заряд;
- 4) скорость света в вакууме.

14. На борту космического корабля нанесена эмблема в виде окружности. Если корабль движется со скоростью света в направлении оси X , то в неподвижной системе отсчёта эмблема примет форму, указанную на рисунке...



Занятие 5

МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Основные формулы

Масса одной молекулы: $m_0 = \frac{M}{N_A}$.	Основное уравнение МКТ: $P = nkT$.
Концентрация молекул: $n = \frac{N}{V}$.	Уравнение Менделеева–Клапейрона: $PV = \nu RT$.
Плотность вещества: $\rho = \frac{m}{V}$.	Объединённый газовый закон: $\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$.
Количество вещества: $\nu = \frac{m}{M}$; $\nu = \frac{N}{N_A}$.	Изотермический процесс: $T = \text{const}; \quad P_1 V_1 = P_2 V_2$.
Закон Дальтона: $P = P_1 + P_2 + \dots$ P_i – парциальные давления.	Изохорный процесс: $V = \text{const}; \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$.
Масса 1 моля смеси газов: $M = \frac{m_1 + m_2 + \dots}{\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots}$.	Изобарный процесс: $P = \text{const}; \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$.
Универсальная газовая постоянная: $R = 8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)}$. Число Авогадро: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$. Постоянная Больцмана: $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.	Адиабатный процесс. Уравнения Пуассона: $PV^\gamma = \text{const};$ $TV^{\gamma-1} = \text{const};$ $TP^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \text{const}.$

Задачи для аудиторных занятий

1. В баллоне объемом 10 л находится гелий под давлением 10 МПа при температуре 27 °С. После того, как из баллона было взято 10 г гелия, температура в баллоне понизилась до 17 °С. Определить давление гелия, оставшегося в баллоне.

(Ответ: 0,36 МПа)

2. В сосуде находится количество 10^{-7} моль кислорода и 10^{-6} г азота. Температура смеси 100 °С, давление в сосуде 133 мПа. Найти объем сосуда, парциальные давления кислорода и азота и число молекул в единице объема сосуда.

(Ответ: 3,2 л; 98 мПа; 35 мПа; $2,6 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$)

3. Три одинаковых сосуда, соединенные трубками, заполнены некоторым газом при температуре 4 К. Затем второй сосуд нагрели до 20 К, третий до 80 К, а в первом сосуде температура не изменилась. Во сколько раз изменилось давление в первом сосуде?

(Ответ: 2,4 раза)

4. Закрытый с обеих сторон цилиндр разделен на 2 равные части по 42 см поршнем. В обеих половинах находятся одинаковые массы газа при температуре 27 °С. На сколько надо нагреть газ в одной части цилиндра, чтобы поршень сместился на 2 см.

(Ответ: 30 К)

5. Газ сжат изотермически от объема 8 л до объема 6 л. Давление при этом возросло на 4 кПа. Каким было первоначальное давление?

(Ответ: 12 кПа)

6. Определить температуру газа, находящегося в закрытом сосуде, если давление увеличить на 0,4 % от первоначального давления при нагревании на 10 К.

(Ответ: 2500 К)

Задачи для самостоятельного решения

1. При некоторой температуре и некотором давлении газ А имеет плотность 0,4, а газ В – 0,6 кг/м³. Какую плотность будет иметь смесь газов при прежних значениях давления и температуры, если массы газов одинаковы?

(Ответ: 0,48 кг/м³)

2. Два баллона с объемами V_1 и $V_2 = 4V_1$ соединены трубкой с краном. Баллоны заполнены воздухом при давлении $P_1 = 0,4$ МПа и $P_2 = 0,6$ МПа соответственно. Температура воздуха в баллонах одинакова. Какое установится давление, если кран открыть?

(Ответ: 0,56 МПа)

3. В горизонтально расположенной трубке между запаянным концом и столбиком ртути, высота которого равна 10 см, находится столбик воздуха длиной 30 см. На сколько изменится длина столбика воздуха, если трубку поставить открытым концом вверх и вниз? Атмосферное давление 0,1 МПа. Плотность ртути равна 13 546 кг/м³.

(Ответ: 3,6 см; 4,6 см)

4. При нагревании газа на 10 К объем увеличился в 3 раза при постоянном давлении. В каком интервале температур происходило нагревание?

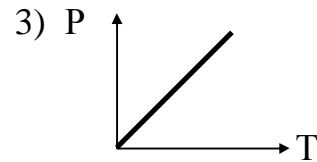
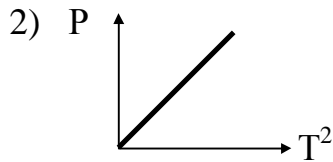
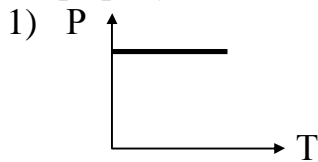
(Ответ: от 5 до 15 К)

5. Найти плотность газовой смеси, состоящей из одного моля водорода и 8 моль азота при давлении 100 кПа и температуре 300 К.

(Ответ: 1,007 кг/м³)

Вопросы программированного контроля

1. Давление газа по основному уравнению МКТ зависит от температуры согласно графику...

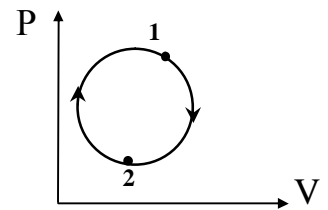


2. Температура по молекулярно-кинетической теории равна

- 1) $T = (3/2) E_K$; 2) $T = (2/3) E_K$; 3) $T = E_K$; 4) $T = (3/2) E_{\text{П}}$.

3. Как изменяется температура газа при совершении цикла, изображенного на рисунке?

- 1) Уменьшается при переходе от 2 к 1 и увеличивается – от 1 к 2.
 2) Увеличивается при переходе от 2 к 1 и уменьшается – от 1 к 2.
 3) Остается величиной постоянной.



4. При совершении некоторого процесса объем уменьшился в 2 раза, а давление увеличилось в 5 раз. Во сколько раз изменилась температура газа?

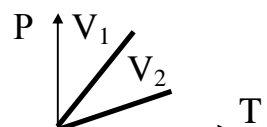
- 1) уменьшилась в 10 раз;
 2) увеличилась в 10 раз;
 3) увеличилась в 2,5 раза.

5. При изотермическом расширении объем увеличился в 3 раза. Как изменилось давление?

- 1) возросло в 3 раза;
 2) уменьшилось в 3 раза;
 3) не изменилось.

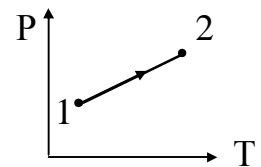
6. Изображен на рисунке график P от T для двух объемов. Как соотносятся эти объемы?

- 1) $V_1 < V_2$; 2) $V_1 > V_2$; 3) $V_1 = V_2$.

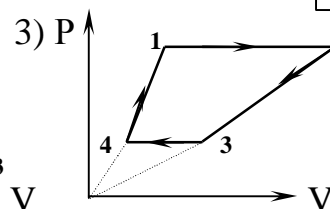
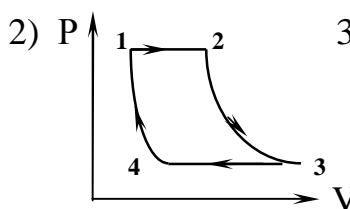
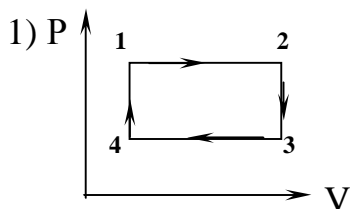
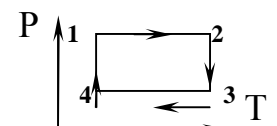


7. Газ совершил процесс, изображенный на рисунке. Как при этом изменился объем газа?

- 1) увеличился;
 2) уменьшился;
 3) остался неизменным.



8. Заданный круговой цикл перерисован в координатах P, V. Верным является рисунок...



Занятие 6

КЛАССИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА

Основные формулы

<p>Распределение Максвелла:</p> <ul style="list-style-type: none"> по скоростям $f(V) = 4\pi \left(\frac{M}{2\pi RT} \right)^{3/2} e^{-\frac{MV^2}{2RT}} V^2;$ <ul style="list-style-type: none"> по кинетическим энергиям $f(E_K) = A e^{-\frac{E_K}{kT}} \sqrt{E_K}.$	<p>Распределение Больцмана:</p> <ul style="list-style-type: none"> по концентрации частиц $n = n_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right); \quad n = n_0 \exp\left(-\frac{m_0 gh}{kT}\right);$ <ul style="list-style-type: none"> по потенциальным энергиям $n = n_0 \exp\left(-\frac{E_{\Pi}}{kT}\right).$
<p>Скорости молекул:</p> <ul style="list-style-type: none"> средняя арифметическая $\langle V \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}};$ среднеквадратичная $V_{\text{ср.кв.}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}};$ наиболее вероятная $V_B = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$ 	<p>Барометрическая формула:</p> $P = P_0 \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right).$
<p>Длина свободного пробега молекул:</p> $\langle \lambda \rangle = \frac{\langle V \rangle}{\langle Z \rangle}; \quad \langle \lambda \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2_{\text{эфф}} P}.$	<p>Среднее число соударений за 1 секунду:</p> $\langle Z \rangle = \sqrt{2} \pi d^2_{\text{эфф}} \cdot n.$
<p>Перенесённая масса вещества при диффузии:</p> $dM = -D \left \frac{dp}{dr} \right \cdot dS \cdot dt.$	<p>Коэффициент диффузии:</p> $D = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle V \rangle.$
<p>Перенесённое количество тепла при теплопроводности:</p> $dQ = -\kappa \left \frac{dT}{dr} \right \cdot dS \cdot dt.$	<p>Коэффициент теплопроводности:</p> $\kappa = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle V \rangle C_v \rho.$
<p>Перенесённый импульс направленного движения при вязкости:</p> $dP = -\eta \left \frac{dU}{dr} \right \cdot dS \cdot dt.$	<p>Коэффициент вязкости:</p> $\eta = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle V \rangle \rho.$

Задачи для аудиторных занятий

1. Найти для газообразного азота температуру, при которой скоростям молекул 300 и 600 м/с будут соответствовать одинаковые значения функции распределения Максвелла.

(Ответ: 303 К)

2. В сосуде объемом 30 л находится 100 г кислорода под давлением $3 \cdot 10^5$ Па. Определить наиболее вероятное значение кинетической энергии молекул кислорода.

(Ответ: $4,8 \cdot 10^{-21}$ Дж)

3. Какая часть молекул азота при 150 °С обладает скоростями от 300 м/с до 325 м/с?

(Ответ: 2,84 %)

4. На какой высоте плотность воздуха составляет 0,5 от плотности его на уровне моря? Температуру считать равной 0 °С.

(Ответ: 5,5 км)

5. Найти среднюю длину свободного пробега атомов гелия, плотность которого $0,021 \text{ кг/м}^3$. $d_{\text{эфф}} = 0,19 \text{ нм}$.

(Ответ: 1,97 мкм.)

6. Какое количество тепла теряется за 1 час через окно за счет теплопроводности воздуха, заключенного между рамами? Площадь каждой рамы 4 м^2 , расстояние между ними 30 см. Температура помещения 18 °С, наружного воздуха – минус 20 °С. Диаметр молекул воздуха 0,3 нм, давление 100 кПа. Температуру между рамами считать 272 К.

(Ответ: 23 кДж)

Задачи для самостоятельного решения

1. Сколько молекул ударяется за 1 с об 1 м^2 стенки сосуда, в котором находится азот под давлением 1013 ГПа и при температуре 20 °С? $d_{\text{эфф}} = 0,30 \text{ нм}$.

(Ответ: $1 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1} \text{ м}^{-2}$)

2. Какая часть молекул водорода при комнатной температуре 22 °С имеет скорость от 900 м/с до 1000 м/с?

(Ответ: 1,57 %)

3. Баллон вместимостью 10 л содержит водород массой 10 г. Определить среднюю длину свободного пробега молекул. Эффективный диаметр молекул водорода равен 0,23 нм.

(Ответ: 18,7 нм)

4. Коэффициент диффузии водорода при нормальных условиях равен $0,91 \text{ см}^2/\text{с}$. Определить коэффициент теплопроводности водорода.

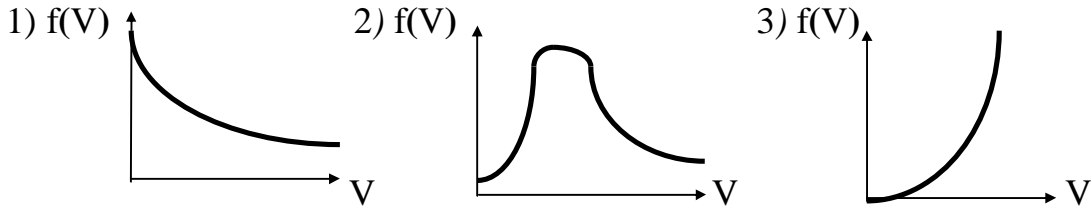
(Ответ: 0,17 мВт/(м · К))

5. Найти среднюю арифметическую скорость молекул газа, если средняя квадратичная скорость равна 1 км/с.

(Ответ: 0,92 км/с)

Вопросы программированного контроля

1. График функции Максвелла изображен на рисунке...



2. Наиболее вероятная скорость находится из выражения...

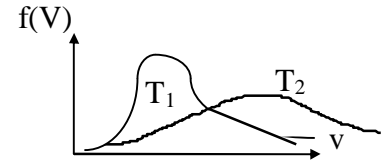
1) $\int_0^{\infty} V \cdot f(V) dV = 1$; 2) $\frac{df(V)}{dV} = 0$; 3) $\int_0^{\infty} f(V) dV = 1$.

3. Функция распределения Максвелла – это величина, равная...

1) $f(V) = \frac{dN}{N \cdot dV}$; 2) $f(V) = \frac{dN}{N}$; 3) $f(V) = \frac{dN \cdot N}{dV}$.

4. На рисунке нарисованы две кривые распределения Максвелла при двух температурах. Как соотносятся температуры?

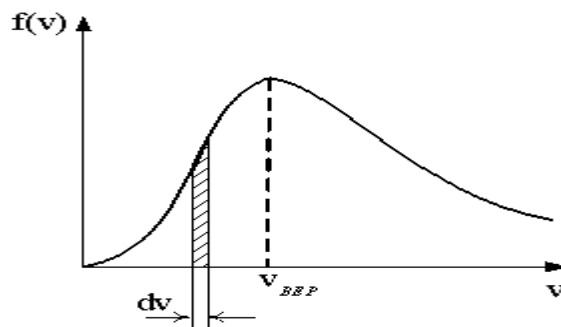
1) $T_1 > T_2$; 2) $T_1 < T_2$; 3) $T_1 = T_2$.



5. Условие нормировки функции распределения Максвелла записывается как...

1) $\int_0^{\infty} f(V) dV = 0$; 2) $\int_0^{\infty} f(V) dV = 1$; 3) $\int_0^{\infty} f(V) dV = N$.

6. На рисунке представлен график функции распределения молекул идеального газа по скоростям (распределение Максвелла), где $f(V) = dN/(NdV)$ – доля молекул, скорости которых заключены в интервале скоростей от V до $V + dV$ в расчете на единицу этого интервала.



1. Для этой функции верным утверждением является...

- 1) с ростом температуры максимум кривой смещается вправо;
- 2) с ростом температуры величина максимума растёт;
- 3) с ростом температуры площадь под кривой растёт;
- 4) с ростом температуры площадь заштрихованной полоски будет уменьшаться.

2. Если, не меняя температуры, взять другой газ с меньшей молярной массой и таким же числом молекул, то...

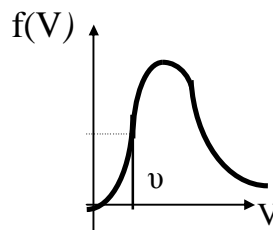
- 1) площадь под кривой уменьшится;
- 2) величина максимума увеличится;
- 3) максимум кривой сместится вправо в сторону больших скоростей.

7. В трёх одинаковых сосудах при равных условиях находится одинаковое количество водорода, гелия и азота. У какого газа наивероятнейшая скорость молекул будет больше?

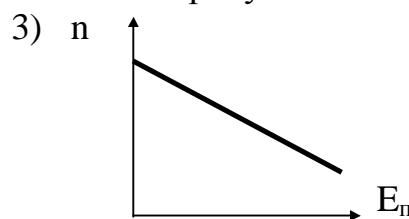
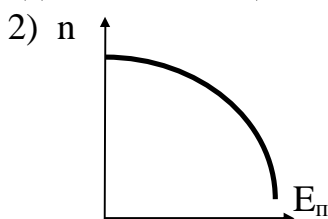
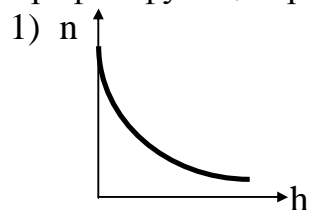
- 1) у водорода; 2) у гелия; 3) у азота; 4) у всех будет одинаковой.

8. На указанном графике ордината $f(V)$ определяет

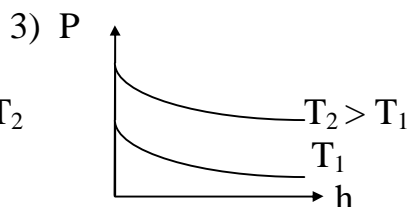
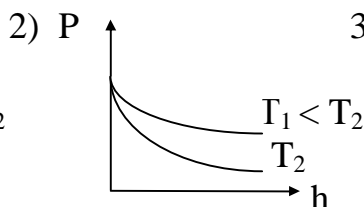
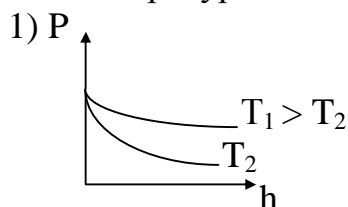
- 1) абсолютное число молекул, скорости которых равны V ;
- 2) относительное число молекул, скорости которых равны V ;
- 3) относительное число молекул, скорости которых лежат в единичном интервале скоростей в области скорости V .



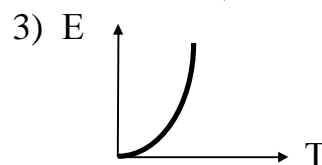
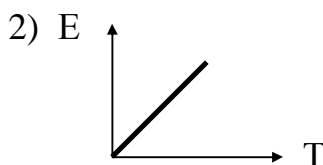
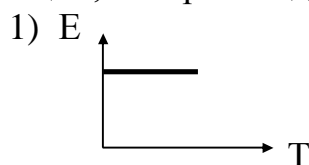
9. График функции распределения Больцмана показан на рисунке...



10. На каком графике правильно нарисованы зависимости $P(h)$ для двух различных температур?



11. Какая зависимость полной энергии частиц от температуры соответствует частицам, которые подчиняются статистике Максвелла-Больцмана?



Занятие 7

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Основные формулы

<p>Внутренняя энергия идеального газа:</p> $U = \frac{i}{2} \nu RT.$	<p>Первое начало термодинамики:</p> $Q = \Delta U + A.$
<p>Работа газа при изопроцессах:</p> <ul style="list-style-type: none"> • изотермический $A = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$; • изохорный $A = 0$; • изобарный $A = P \Delta V$; • адиабатный $A = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \cdot \frac{m}{M} \cdot \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma - 1} \right]$. 	<p>Молярная теплоёмкость при изопроцессах:</p> <ul style="list-style-type: none"> • изохорный $C_V = \frac{i}{2} R$; • изобарный $C_P = \frac{i + 2}{2} R$; $C_P = C_V + R.$
<p>Коэффициент Пуассона (показатель адиабаты):</p> $\gamma = \frac{i + 2}{i}; \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V}.$	<p>Число степеней свободы:</p> <p>$i = 3$ – одноатомный газ;</p> <p>$i = 5$ – двухатомный газ;</p> <p>$i = 6$ – многоатомный газ.</p>
<p>Теплоёмкость смеси газов:</p> $C = n_1 C_1 + n_2 C_2 + \dots,$ <p>где n_1, n_2 – весовые (или массовые) доли газов.</p> $n_1 = \frac{m_1}{m_1 + m_2 + \dots}; \quad n_2 = \frac{m_2}{m_1 + m_2 + \dots}.$	<p>Связь удельной и молярной теплоёмкостей:</p> $C_{уд} = \frac{C_M}{M}.$

Задачи для аудиторных занятий

1. Газ, занимавший объем 2 л при давлении 0,1 МПа, расширился изотермически до 4 л. После этого, охлаждая газ изохорно, уменьшили давление в 2 раза. Далее газ изобарно расширился до 8 л. Найти работу, совершенную газом. Начертить график зависимости давления от объема. Ответ округлить до десятков.

(Ответ: 240 Дж)

2. Вычислить коэффициент Пуассона для смеси, состоящей из 3 молей аргона и 5 молей кислорода.

(Ответ: 1,47)

3. Азот массой 14 г адиабатически расширяют так, что давление уменьшается в 5 раз, и затем изотермически сжимают до первоначального давления. Начальная температура азота 420 К. Изобразить процесс на диаграмме PV . Найти: а) температуру газа T_2 в конце процесса; б) количество тепла Q , отданное газом; в) приращение внутренней энергии газа ΔU ; г) совершенную газом работу A .

(Ответ: 264 К; 1,76 кДж; – 1,62 кДж; – 0,14 кДж)

4. Азот массой 20 г нагревают при постоянном давлении от 20 °С до 100 °С. Найти количество теплоты, поглощённое газом, изменение его внутренней энергии и совершённую при этом процессе работу.

(Ответ: 1,662 кДж; 1,187 кДж; 0,475 кДж)

5. В вертикально расположенном цилиндре с площадью основания 1 дм² под поршнем массой 10 кг, скользящем без трения, находится воздух. При нагревании воздуха поршень поднялся на 10 см. Найти работу, совершённую воздухом, если атмосферное давление равно 0,1 МПа. $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

(Ответ: 19,8 Дж)

6. Водород при нормальных условиях имел объём $V_1 = 100 \text{ м}^3$. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа при его адиабатическом расширении до объёма $V_2 = 150 \text{ м}^3$.

(Ответ: –10,24 МДж)

Задачи для самостоятельного решения

1. Воздух массой 1 кг, находящийся при температуре 30 °С и давлении 1,5 МПа, расширяется адиабатически так, что давление при этом падает до 1 атм. Найти: конечную температуру и работу, совершённую газом при расширении.

(Ответ: – 3 °С; – 23,64 кДж)

2. Коэффициент Пуассона для некоторого газа равен 1,4. Вычислить число степеней свободы для этого газа.

(Ответ: 5)

3. Определить молярную теплоёмкость C_V смеси (50 % по массе водорода и гелия), заключённой в объёме 1 л, при температуре 27 °С и давлении 106,4 кПа.

(Ответ: 16,62 Дж / (моль · К))

4. Некоторая масса газа, занимающего объём $V_1 = 0,01 \text{ м}^3$, находится при давлении $P_1 = 0,1 \text{ МПа}$ и температуре $T_1 = 300 \text{ К}$. Газ нагревается вначале при постоянном объёме до температуры $T_2 = 320 \text{ К}$, а затем при постоянном давлении до температуры $T_3 = 350 \text{ К}$. Найти работу, совершаемую газом при переходе из состояния 1 в состояние 3.

(Ответ: 100 Дж)

5. Вычислить удельную теплоёмкость при постоянном объёме для кислорода.

(Ответ: 649 Дж/(кг·К))

Вопросы программированного контроля

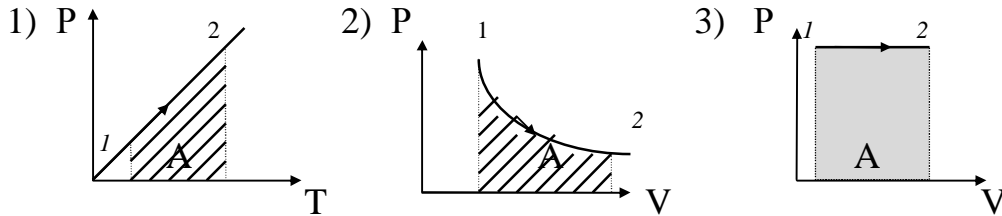
1. Изменение внутренней энергии...

- 1) зависит от вида процесса, совершаемого газом;
- 2) не зависит от вида процесса, совершаемого газом;
- 3) зависит от изменения объёма газа.

2. Универсальная газовая постоянная равна...

- 1) работе 1 моля газа при изобарном его нагревании на 1 К;
- 2) работе 1 килограмма газа при изобарном его нагревании на 1 К;
- 3) работе 1 моля газа при изотермическом нагревании на 1°C.

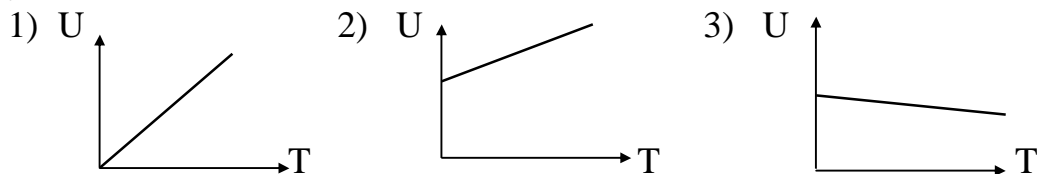
3. Работа изобарного процесса правильно изображена на графике...



4. При адиабатическом расширении газа его температура...

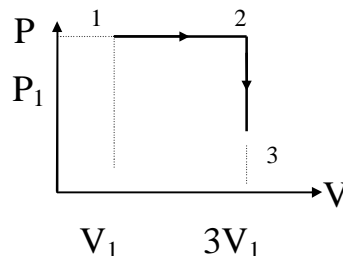
- 1) понижается;
- 2) повышается;
- 3) не изменяется.

5. Внутренняя энергия идеального газа зависит от температуры согласно графику...



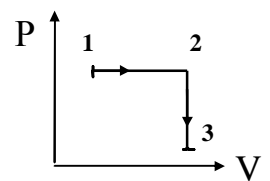
6. Газ совершает процессы, показанные на рисунке. Работа A_{1-3} равна...

- 1) $A = p_1 \cdot V_1$;
- 2) $A = 2 \cdot p_1 \cdot V_1$;
- 3) $A = 3 \cdot p_1 \cdot V_1$;



7. При изобарном и изохорном процессах температура изменилась на 100 К. Чему равно изменение внутренней энергии 5 молей водорода?

- 1) 2 кДж;
- 2) 3 кДж;
- 3) 5 кДж.



8. При изотермическом расширении газа его внутренняя энергия...

- 1) увеличивается;
- 2) уменьшается;
- 3) не изменяется.

9. При изохорном процессе количество тепла идет...

- 1) на совершение работы;
- 2) на изменение внутренней энергии;
- 3) на совершение работы и изменение внутренней энергии.

10. Средняя кинетическая энергия молекул газа при температуре T зависит от их структуры, что связано с возможностью различных видов движения атомов в молекуле. Средняя кинетическая энергия молекул гелия (He) равна

- 1) $(5/2) kT$;
- 2) $(1,2) kT$;
- 3) $(7/2) kT$;
- 4) $(3/2) kT$.

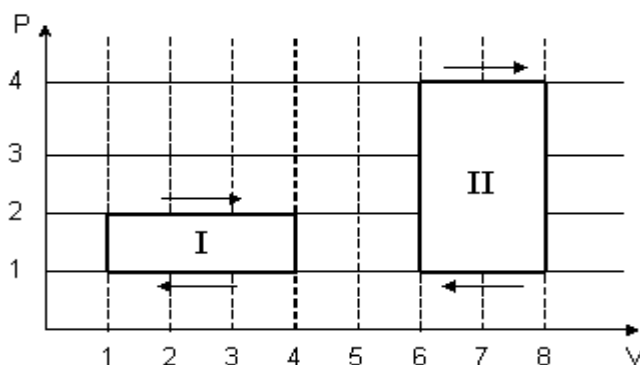
11. Средняя кинетическая энергия молекулы идеального газа при температуре T равна $\varepsilon = (i/2)kT$. Здесь $i = i_{\text{п}} + i_{\text{вр}} + i_{\text{к}}$ – число степеней свободы поступательного, вращательного и колебательного движений молекулы. Для атомарного водорода число i равно...

- 1) 7; 2) 1; 3) 3; 4) 5.

12. Одноатомному идеальному газу в результате изобарного процесса подведено количество тепла ΔQ . На увеличение внутренней энергии газа расходуется часть теплоты $\Delta U / \Delta Q$, равная...

- 1) 0,25; 2) 0,75; 3) 0,6; 4) 0,4.

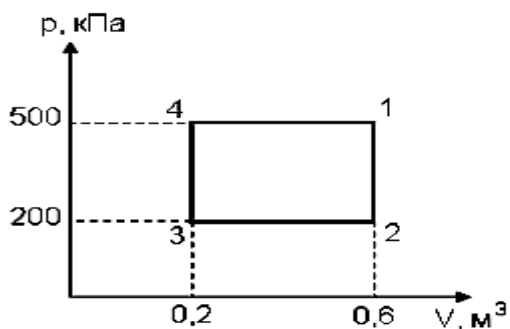
13. На (P, V) -диаграмме изображены два циклических процесса.



Отношение работ A_I / A_{II} , совершенных в этих циклах, равно...

- 1) – 2; 2) 0,5; 3) 2; 4) – 0,5.

14. Диаграмма циклического процесса идеального одноатомного газа представлена на рисунке. Отношение работы при нагревании газа к работе при охлаждении равно...



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

Занятие 8

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

Основные формулы

КПД идеальной тепловой машины: $\eta = \frac{A}{Q_1}; \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}; \quad \eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$	Изменение энтропии: $\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}.$
Холодильный коэффициент: $\eta_x = \frac{Q_2}{A}.$	Связь энтропии с термодинамической вероятностью: $S = k \cdot \ln W.$
Количество тепла при тепловых явлениях: • нагревание $Q = C_{уд} \cdot m \cdot \Delta t$; • плавление $Q = \lambda \cdot m$; • парообразование $Q = r \cdot m$. Термодинамическая вероятность состояния: $W = \frac{N!}{N_1! N_2! N_3! \dots}$	Изменение энтропии при изопроцессах: • изотермический $\Delta S = \nu R \cdot \ln \frac{V_2}{V_1};$ • изохорный $\Delta S = \nu \cdot C_v \cdot \ln \frac{T_2}{T_1};$ • изобарный $\Delta S = \nu \cdot C_p \cdot \ln \frac{T_2}{T_1};$ • адиабатный $\Delta S = 0.$

Задачи для аудиторных занятий

1. Цикл, совершаемый двумя киломолями одноатомного идеального газа, состоит из изотермы, изобары и изохоры. Изотермический процесс происходит при максимальной температуре цикла, равной 400 К. Известно также, что в пределах цикла объем газа изменяется в 2 раза. Вычислить работу газа за цикл и КПД цикла. Сравнить его полученное значение с КПД цикла Карно, проводимого в интервале температур от T_{\min} до T_{\max} данного цикла.

(Ответ: 1,28 МДж; 13 %; 50 %)

2. Идеальная тепловая машина Карно, цикл которой совершается в обратном направлении (холодильная машина), использует воду при 0 °С в качестве холодильника и воду при 100 °С – в качестве нагревателя. Сколько воды нужно заморозить в холодильнике, чтобы превратить в пар 500 г воды в кипяльнике?

(Ответ: 2,47 кг)

3. Температуры холодильника и нагревателя идеальной тепловой машины соответственно равны 400 и 300 К. Газ забирает за один цикл от нагревателя 60 кДж тепла. Найти КПД тепловой машины и количество тепла, отданное холодильнику.

(Ответ: 25 %; 45 кДж)

4. В процессе одного цикла работы идеальная тепловая машина отдает холодильнику 80 % тепла, полученного от нагревателя. Найти температуру нагревателя, если температура холодильника 200 К.

(Ответ: 250 К)

5. Азот массой 56 г адиабатно расширили в 3 раза, затем изобарно сжали до первоначального объема. Определить изменение энтропии.

(Ответ: – 63,9 Дж/К)

6. Найти изменение энтропии при нагревании 5 кг воды от 20 °С до кипения с ее последующим превращением в пар при 105 °С.

(Ответ: 11,5 МДж)

Задачи для самостоятельного решения

1. Газ совершает цикл Карно. Температура холодильника 290 К. Во сколько раз увеличится КПД цикла, если температуру нагревателя повысить от 400 до 600 К?

(Ответ: 1,879)

2. Во сколько раз необходимо увеличить объем 10 моль газа при изотермическом расширении, если его энтропия увеличилась на 57,6 Дж/К?

(Ответ: 2)

3. При нагревании двухатомного газа в количестве 5 моль его температура увеличилась в 4 раза. Определить изменение энтропии, если нагревание происходит: а) изохорно; б) изобарно.

(Ответ: 144 Дж/К; 201,6 Дж/К)

4. Идеальный многоатомный газ совершает цикл, состоящий из двух изохор и двух изобар, причем наибольшее давление газа в два раза больше наименьшего, а наибольший объем в четыре раза больше наименьшего. Определить КПД цикла.

(Ответ: 10 %)

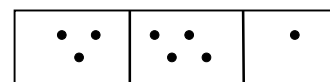
Вопросы программированного контроля

1. Сумма приведенных количеств теплоты при совершении замкнутой термодинамической системы обратимого замкнутого цикла...

- 1) остается величиной постоянной;
- 2) является отрицательной величиной;
- 3) является положительной величиной.

2. Термодинамическая вероятность указанного состояния системы, состоящей из 8 молекул, равна...

- 1) 35;
- 2) 140;
- 3) 280.



3. Формулировка второго начала термодинамики звучит...

- 1) невозможен вечный двигатель I рода;
- 2) невозможен вечный двигатель II рода;
- 3) нельзя создать вечный двигатель ни I, ни II рода.

4. Цикл Карно состоит из...

- 1) двух изохор и двух адиабат;
- 2) двух изотерм и двух адиабат;
- 3) двух изотерм и двух изобар.

5. Вечный двигатель имеет...

- 1) один тепловой резервуар, из которого рабочее тело забирает количество тепла;
- 2) один тепловой резервуар, которому рабочее тело отдает количество тепла;
- 3) два тепловых резервуара, одному из которых отдается рабочим телом тепло, а из другого – забирается.

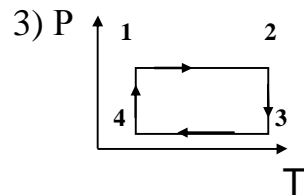
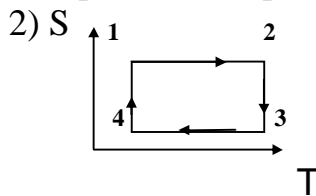
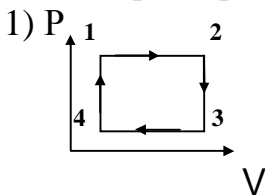
6. Полезная работа, совершаемая тепловой машиной, равна...

- 1) $A = p \cdot \Delta V$;
- 2) $A = Q_1 - Q_2$;
- 3) $A = F \cdot S$.

7. Неравенство Клаузиуса записывается...

- 1) $\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$;
- 2) $\int \frac{\delta Q}{T} \geq 0$;
- 3) $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$.

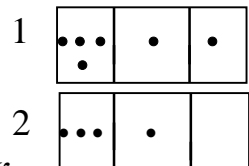
8. Цикл Карно правильно нарисован на рисунке...



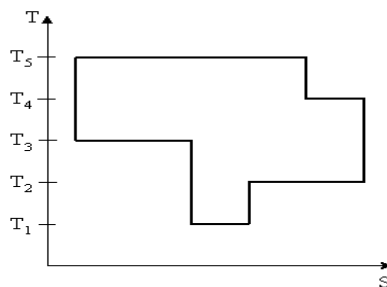
9. Система из термодинамического состояния 1 перешла в новое термодинамическое состояние 2.

Чему равно изменение энтропии?

- 1) $3,17 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;
- 2) $11,47 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;
- 3) $2,35 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$.



10. На рисунке представлен цикл тепловой машины в координатах T, S , где T – термодинамическая температура, S – энтропия. Укажите температуры нагревателей (теплоисточников) и холодильников (телоприемников), которые осуществляли теплообмен с рабочим телом в этом циклическом процессе.



- 1) нагреватели – T_3, T_5 ; холодильники – T_1, T_2, T_4 ;
- 2) нагреватели – T_4, T_5 ; холодильники – T_1, T_2, T_3 ;
- 3) нагреватели – T_3, T_4, T_5 ; холодильники – T_1, T_2 ;
- 4) нагреватели – T_2, T_4, T_5 ; холодильники – T_1, T_3 .

11. Энтропия изолированной термодинамической системы в ходе обратимого процесса ...

- 1) только убывает; 2) только возрастает; 3) остаётся постоянной.

12. В процессе изотермического сообщения тепла постоянной массе идеального газа его энтропия...

- 1) не меняется; 2) увеличивается; 3) уменьшается.

13. В процессе изохорного нагревания постоянной массы идеального газа его энтропия...

- 1) не меняется; 2) увеличивается; 3) уменьшается.

14. Энтропия неизолированной термодинамической системы в процессе плавления в ней вещества...

- 1) увеличивается;
2) остаётся постоянной;
3) убывает;
4) может как убывать, так и оставаться постоянной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Куценко А.Н. Сборник задач по общему курсу физики / А.Н. Куценко, Ю.В. Рублева. – М.: Высш. шк., 1972. – 431 с.
2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие для втузов / В.С. Волькенштейн. – М.: Высш. шк., 1873. – 283 с.
3. Фиргант Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики: учеб. пособие для втузов / Е.В. Фиргант. – М.: Высш. шк. 1977. – 351 с.
4. Чертов А.Г. Задачник по физике: учеб. пособие для втузов / А.Г. Чертов, А.А. Воробьев, М.В. Федоров. – М.: Высш. шк. 1973. – 510 с.
5. Беликов Б.С. Решение задач по физике. Общие методы: учеб. пособие для студентов вузов / Б.С. Беликов. – М.: Высш. шк., 1986. – 256 с.
6. Сахаров Д.И. Сборник задач по физике: учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / Д.И. Сахаров. – М.: Просвещение, 1973. – 288 с.
7. Иродов И.Е. Задачи по общей физике: учеб. пособие для студентов вузов / И.Е. Иродов. – М.: Наука, 1979. – 368 с.
8. Иродов И.Е. Сборник задач по общей физике: учеб. пособие для студентов вузов / И.Е. Иродов, И.В. Савельев, О.И. Замша. – М.: Наука, 1972. – 256 с.
9. Новодворская Е.М. Методика проведения упражнений по физике во втузе: учеб. пособие / Е.М. Новодворская, Э.М. Дмитриев. – М.: Высш. шк., 1981. – 318 с.
10. Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики / Т.И. Трофимова. – М.: Высш. шк.. 1996. – 303 с.
11. Калистратова Л.Ф. Кинематика поступательного и вращательного движений. Тестовые задания / Л.Ф. Калистратова, Н.П. Калистратова, Н.А. Прокудина. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 32 с.
12. Данилов С.В. Динамика поступательного и вращательного движений. Элементы специальной теории относительности. Тестовые задания / С.В. Данилов, В.А. Егорова, Г.П. Иванова. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 38 с.
13. Павловская О.Ю. Законы сохранения. Тестовые задания / О.Ю. Павловская [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 34 с.
14. Лиссон В.Н. Молекулярно-кинетическая теория. Тестовые задания / В.Н. Лиссон, В.И. Суриков, Э.М. Ярош. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 28 с.
15. Волкова В.К. Термодинамика и реальные газы. Тестовые задания / В.К. Волкова, А.Н. Гапеев, Т.Н. Кондратьева. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. – 27 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Занятие 1. КИНЕМАТИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ	3
Занятие 2. ДИНАМИКА ПОСТУПАТЕЛЬНОГО И ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЙ	8
Занятие 3. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ.....	13
Занятие 4. ЭЛЕМЕНТЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ	19
Занятие 5. МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ	23
Занятие 6. КЛАССИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ. ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА	26
Занятие 7. ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	30
Занятие 8. ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	38

Редактор Ю. Ю. Аптрашева
Компьютерная верстка – Е. В. Беспалова

ИД № 06039 от 12.10.2001 г.

Сводный темплан 2010 г.
Подписано в печать 25.03.10. Формат 60?84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Отпечатано на дупликаторе. Усл. печ. л. 2,5. Уч.-изд. л. 2,5.
Тираж 200 экз. Заказ 216.

Издательство ОмГТУ. 644050, г. Омск, пр. Мира, 11; т. 23-02-12
Типография ОмГТУ