

ФИЗИКА, ч. 1

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ № 2

Вариант № 1

1. В лабораторной системе отсчета (S -системе) π -мезон с момента рождения до момента распада пролетел расстояние $l = 75$ м. Скорость v π -мезона равна $0,995c$. Определите собственное время жизни τ_0 π -мезона. [$\tau_0 = \frac{l}{v} \sqrt{1 - v^2/c^2} = 25$ нс]
2. Найдите относительную скорость двух частиц, движущихся навстречу друг другу со скоростью $v = c/2$. [$0,8c$]
3. Определите релятивистский импульс и кинетическую энергию протона, движущегося со скоростью $v = 0,75c$. [$5,69 \cdot 10^{-19}$ кг·м/с; $7,69 \cdot 10^{-11}$ Дж]
4. В S -системе отсчета частица с массой покоя m_0 и кинетической энергией T налетает на покоящуюся частицу с такой же массой покоя. Найдите массу покоя M_0 и скорость v составной частицы, образовавшейся в результате столкновения. [$M_0 = \frac{1}{c} \sqrt{2m_0(T + 2m_0c^2)}$;
 $v = c \sqrt{T/(T + 2m_0c^2)}$]
5. Посередине откачанного и запаянного горизонтального капилляра находится столбик ртути длиной 20 см. Если капилляр поставить вертикально, столбик ртути переместится на 10 см. Длина капилляра 1 м. До какого давления был откачан капилляр? [375 мм рт.ст.]
6. Определите температуру газа, для которой функция распределения молекул кислорода по модулю скорости будет иметь максимум при скорости 420 м/с. [340 К]
7. Азот массой 200 г нагревается при постоянном давлении от 20 до 100 °С. Какое количество теплоты поглощается при этом? [16,62 кДж]
8. Чтобы изотермически уменьшить объем газа в цилиндре с поршнем в n раз, на поршень поместили груз массой m . Какой массы Δm груз следует добавить, чтобы объем газа изотермически уменьшился в k раз? [$\Delta m = m \frac{n(k-1)}{n-1}$]
9. Смешали воду массой $m_1=5$ кг при температуре $T_1=280$ К с водой массой $m_2=8$ кг при температуре $T_2=350$ К. Найти: 1) температуру θ смеси; 2) изменение ΔS энтропии, происходящее при смешивании. [323 К; 0,3 кДж/К]
10. Дом отапливается тепловым насосом, работающим по обратному циклу Карно. Температура в доме $t = 20$ °С, окружающего воздуха $t = -20$ °С. Во сколько раз количество теплоты, получаемой домом от сгорания угля в печке, меньше количества теплоты, переданной тепловым насосом с паровой машиной с КПД $\eta = 0,27$, потребляющей ту же массу угля? [2 раза]

Вариант № 2

1. Собственное время жизни мюона равно 2,2 мкс. От точки рождения, до точки распада в лабораторной системе отсчета мюон пролетел расстояние 6км. С какой скоростью двигался мюон? [0,994c]
2. Ускоритель сообщил радиоактивному ядру скорость 0,4c. В момент вылета из ускорителя ядро выбросило в направлении своего движения β -частицу со скоростью 0,75c относительно ускорителя. Найдите скорость частицы относительно ядра. [0,5c]
3. Найдите скорость, при которой релятивистский импульс частицы в 2 раза превышает ее ньютоновский импульс. [$2,6 \cdot 10^8$ м/с]
4. Протон и α -частица проходят одинаковую разность потенциалов, после чего масса протона составила треть массы α -частицы. Определите разность потенциалов. [
$$U = \frac{(m_{0\alpha} - nm_{0p})c^2}{(n-2)e} = 913 \text{ МВ}; n = 3$$
]
5. Определите плотность смеси водорода массой 4 г и кислорода массой 32 г при температуре 7 °С и давлении 700 мм рт.ст. [0,48 кг/м³]
6. Определите наиболее вероятную скорость молекул газа, плотность которого при давлении 40 кПа составляет 0,35 кг/м³. [478 м/с]
7. Сосуд, содержащий некоторое количество молекулярного азота при температуре 15 °С, движется со скоростью 100 м/с. Какова будет температура газа в сосуде, если он внезапно остановится? Передачей теплоты стенками можно пренебречь. [21,7 °С]
8. В длинном вертикальном сосуде находится газ, состоящий из двух сортов молекул с массой m_1 и m_2 , причем $m_2 > m_1$. Концентрация этих молекул у дна сосуда равна, соответственно, n_1 и n_2 , причем $n_2 > n_1$. Считая, что по всей высоте поддерживается одна и та же температура T и ускорение свободного падения равно g , найдите высоту h , на которой концентрация этих сортов молекул будет одинакова. [
$$h = \frac{kT \ln(n_2/n_1)}{(m_2 - m_1)g}$$
]
9. В результате изохорного нагревания водорода массой $m=1$ г давление p газа увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа. [7,2 Дж/К]
10. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, совершает за один цикл работу $A = 50$ кДж, при температурах холодильника $t_1 = -5$ °С и окружающего воздуха $t_2 = 27$ °С. Найти количество теплоты Q_1 , переданное машиной атмосфере. [$Q_1 = 456$ кДж.]

Вариант № 3

1. Стержень, собственная длина которого, 5,0 м, движется в продольном направлении со скоростью v относительно S -системы отсчета. При каком значении v длина стержня в S -системе будет 3,0 м? [0,8с]
2. Найдите относительную скорость двух частиц, движущихся навстречу друг другу со скоростью $2c/3$. [0,92с]
3. Найдите зависимость импульса частицы с массой покоя m_0 от ее кинетической энергии. Вычислите импульс протона с кинетической энергией $T = 500$ МэВ.

$$[p = \frac{1}{c} \sqrt{T(T + 2m_0c^2)} = 1,09 \text{ ГэВ}/c, \text{ где } c - \text{ скорость света}]$$

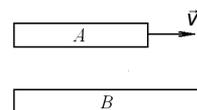
4. Пучок релятивистских частиц с кинетической энергией T падает на поглощающую мишень. Сила тока в пучке равна I , заряд и масса покоя каждой частицы e и m_0 . Найдите силу давления пучка на мишень. [$F = \frac{I}{ec} \sqrt{T(T + 2m_0c^2)}$]
5. В сосуде находится углекислый газ. При некоторой температуре степень диссоциации молекул углекислого газа на кислород и окись углерода $\alpha = 0,25$. Во сколько раз давление в сосуде при этих условиях больше того давления, которое установилось бы в случае, если бы молекулы углекислого газа не были диссоциированы?

$$[p'/p = 1 + \alpha = 1,25]$$

6. Зная функцию распределения молекул по скоростям, определите среднюю арифметическую скорость $\langle v \rangle$ молекул. [$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$]
7. Чему равна степень диссоциации азота, если известно, что отношение C_p/C_V для него равно 1,47? [23 %]
8. Газ состоит из молекул массой m и находится при температуре T . Найдите с помощью функции $F(v)$: а) функцию распределения молекул по кинетическим энергиям $f(E_k)$; б) наиболее вероятное значение кинетической энергии $E_{\text{вер}}$; соответствует ли $E_{\text{вер}}$ наиболее вероятной скорости? [а) $f(E_{\text{кин}}) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{1}{kT}\right)^{3/2} \cdot e^{-\frac{E_{\text{кин}}}{kT}} \cdot \sqrt{E_{\text{кин}}}$; б) $E_{\text{вер}} \neq E(v_{\text{вер}})$]
9. Найти изменение ΔS энтропии при изобарном расширении азота массой $m=4$ г от объема $V_1=5$ л до объема $V_2=9$ л. [2,44 Дж/К]
10. Найти коэффициент преобразования холодильника ε , работающего по обратному циклу Карно, если при работе по прямому циклу его КПД равен $\eta = 0,25$. [$\varepsilon = 3$]

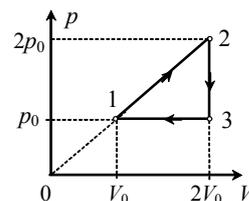
Вариант № 4

1. Стержень A движется мимо неподвижного в S -системе отсчета стержня B со скоростью v (см. рис.). Оба стержня имеют одинаковую длину l_0 . Найдите в S -системе отсчета промежуток времени между моментами совпадения левых и правых концов стержня.



$$[t = (1 - \sqrt{1 - v^2/c^2}) l_0 / v]$$

2. В двух точках S -системы отсчета произошли события, разделенные промежутком времени t . Покажите, что, если эти события причинно связаны в S -системе (например, выстрел и попадание в мишень), то они причинно связаны и в другой инерциальной системе отсчета, то есть $t' > 0$.
3. Кинетическая энергия частицы оказалась равной ее энергии покоя. Определите скорость частицы. [260 Мм/с]
4. Частицы с массой покоя m_0 движутся навстречу друг другу со скоростью v относительно лабораторной системы отсчета и испытывают неупругое столкновение. Чему будет равна масса покоя M_0 составной частицы? [$M_0 = \frac{2m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$]
5. В сосуде находится смесь 7,0 г азота и 11 г углекислого газа при температуре 290 К и давлении 1,0 атм. Найдите плотность такой смеси, считая газы идеальными. [$1,5 \cdot \text{кг/м}^3$]
6. На какой высоте плотность воздуха в e раз (e – основание натуральных логарифмов) меньше по сравнению с его плотностью на уровне моря? Температуру воздуха и ускорение свободного падения считать не зависящими от высоты. [7,98 км]
7. Тепловая машина, рабочим телом которой является 1 моль идеального одноатомного газа, совершает замкнутый цикл, изображенный на рис. Найдите КПД машины. [8 %]
8. В результате политропического процесса с известным значением теплоемкости объем идеального газа уменьшился в n раз. При этом работа, совершаемая над газом, $A = -2\Delta U$, где ΔU – приращение его внутренней энергии. Найдите приращение энтропии в этом процессе. [$\Delta S = -R (\ln n)/2$]
9. Кусок льда массой $m=200$ г, взятый при температуре $t_1=-10$ °С, был нагрет до температуры $t_2=0$ °С и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры $t=10$ °С. Определить изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов. [291 Дж/К]
10. В баллоне емкостью 0,05 м³ находятся 0,12 Кмоль газа при давлении $6 \cdot 10^6$ Па. Определить среднюю кинетическую энергию теплового движения молекулы газа. [$0,62 \cdot 10^{-20}$ Дж.]



Вариант № 5

1. Найдите расстояние, которое пролетела в S -системе отсчета нестабильная частица от момента ее рождения до распада, если ее время жизни в этой системе отсчета 3,0 мкс, а собственное время жизни 2,2 мкс. [0,61 км]
2. Может ли протон пересечь нашу галактику за 1 минуту? [Может]
3. Какую работу необходимо совершить, чтобы увеличить скорость частицы с массой покоя m_0 от 0,6 до 0,8 c ? Сравните с нерелятивистским случаем. [$A = 0,42m_0c^2$; $A = 0,14m_0c^2$]
4. Частица с массой покоя m_0 , движущаяся со скоростью $v = 0,8c$; испытывает неупругое соударение с покоящейся частицей такой же массы покоя. Чему равны масса покоя M_0 и скорость v образовавшейся частицы? [$M_0 = 4m_0/\sqrt{3}$; $v = c/2$]
5. Тонкостенный резиновый шар (масса оболочки шара равна 0,05 кг) наполнен азотом и погружен в озеро на глубину 100 м. Найдите массу азота, если шар находится в состоянии равновесия. Атмосферное давление 10^5 Па. Температура в глубине озера равна 4 °С. Натяжением резины пренебречь. [$6,66 \cdot 10^{-4}$ кг]
6. Ротор центрифуги, заполненный радоном, вращается с частотой 50 s^{-1} . Радиус ротора равен 0,5 м. Определите давление газа на стенки ротора, если в его центре давление равно нормальному атмосферному давлению. Температуру по всему объему считать постоянной и равной 300 К. [304 кПа]
7. Чему равны удельные теплоемкости c_V и c_p некоторого двухатомного газа, если плотность этого газа при нормальных условиях равна 1,43 $кг/м^3$? [650 Дж/кг·К; 906 Дж/кг·К]
8. Один моль идеального газа из жестких двухатомных молекул совершает цикл Карно. Температура нагревателя $T_1 = 400$ К. Найдите КПД цикла, если при адиабатическом сжатии совершается работа $A = 2,0$ кДж. [$\eta = \frac{2A}{iRT_1} = 0,24$]
9. Лед массой $m_1=2$ кг при температуре $t_1=0$ °С был превращен в воду той же температуры с помощью пара, имеющего температуру $t_2=100$ °С. Определить массу m_2 израсходованного пара. Каково изменение ΔS энтропии системы лед–пар? [251 г; 610 Дж/кг]
10. Кислород (O_2) нагревается при постоянном давлении 80 кПа. При этом объем газа увеличивается от 1 до 3 м³. Определить изменение внутренней энергии газа, совершенную им при расширении работу и количество сообщенной газу теплоты. [0,4 МДж; 160 кДж; 560 кДж]

Вариант № 6

1. Космический корабль движется со скоростью $0,6c$ по направлению к Земле. Определите расстояние, пройденное им в системе отсчета, связанной с Землей (система S), за время $0,5$ с, отсчитанное по часам в космическом корабле (система S'). [112,5 Мм]
2. Найдите относительную скорость двух частиц, движущихся навстречу друг другу со скоростью $v = c/4$. [0,47c]
3. Найдите изменение массы 1 л воды, при нагревании от 30° до 100°C . [$3,27 \cdot 10^{-12}$ кг]
4. Две релятивистские частицы движутся в S -системе отсчета под прямым углом друг к другу, причем первая со скоростью v_1 , а вторая со скоростью v_2 . Найдите скорость одной частицы относительно другой. [$v'_2 = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - (v_1 v_2 / c)^2}$]
5. В закрытом сосуде емкостью 2 м^3 содержится смесь азота N_2 массой $1,4$ кг и кислорода O_2 массой 2 кг. Найдите давление газовой смеси, если температура смеси 14°C . [$1,4 \cdot 10^5$ Па]
6. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода больше их наиболее вероятной скорости на 100 м/с ? [381 К]
7. Газ расширяется адиабатно так, что его давление уменьшается от 200 кПа до 100 кПа . Затем он нагревается при постоянном объеме до первоначальной температуры, причем его давление возрастает до 122 кПа . Определите отношение C_p/C_v для данного газа. [1,4]
8. Определите массу воздуха в цилиндре с основанием $S = 1 \text{ м}^2$ и высотой $h = 1 \text{ км}$. Считать, что воздух находится при нормальных условиях. [$m = \frac{p_0 S}{g} \left[1 - \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right) \right] = 99 \text{ кг}$]
9. Кислород массой $m=2$ кг увеличил свой объем в $n=5$ раз один раз изотермически, другой – адиабатно. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов. [836 Дж/кг; 0]
10. Определить наименьший объем газа V_1 , совершающего цикл Карно, если объем газа в процессах расширения и сжатия меняется следующим образом: $V_2 = 500 \text{ л}$; $V_3 = 850 \text{ л}$; $V_4 = 170 \text{ л}$. [$V_1 = 100 \text{ л}$]

Вариант № 7

1. В S -системе отсчета мюон, движущийся со скоростью $v = 0,99c$, пролетел от места своего рождения до точки распада расстояние $l = 1,55$ км. Определите: а) собственное время жизни этого мюона; б) расстояние, которое пролетел мюон в S -системе с «его точки зрения». [$\tau_0 = \sqrt{1 - (v/c)^2} \cdot \frac{l}{v} = 2,2$ мкс; $l' = l\sqrt{1 - (v/c)^2} = 0,22$ км]

2. Две частицы, двигавшиеся в S -системе отсчета по одной прямой с одинаковой скоростью $0,8c$, попали в неподвижную мишень с промежутком времени $5 \cdot 10^{-9}$ с (в данной системе отсчета). Каким было собственное расстояние между частицами до попадания в мишень? [2 м]

3. Исходя из уравнения $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, найдите ускорение частицы, если ускорение совпадает по направлению с действующей на частицу силой. [$a = \frac{F}{m_0} \sqrt{(1 - \beta^2)^3}$]

4. В S -системе вдоль оси x движется частица со скоростью \vec{V} и ускорением \vec{a} . Найдите проекции ускорения на оси x' и y' этой частицы в S' -системе отсчета, которая перемещается со скоростью \vec{V} в положительном направлении оси x S -системы. [$a'_x = \frac{(1 - \beta^2)^{3/2}}{(1 - \beta v_x/c)^3} \cdot a_x$; $a'_y = 0$, где $\beta = V/c$]

5. Горизонтально расположенный закрытый цилиндрический сосуд длиной 2,4 м с гладкими стенками, разделенный на две части легким теплонепроницаемым поршнем, заполнен идеальным газом. В начальный момент объем левой части сосуда вдвое больше объема правой, а температура газа в обеих частях одинакова. На какое расстояние переместится поршень, если температуру газа в правой части увеличить вдвое, а в левой – поддерживать постоянной? [0,40 м]

6. Зная функцию $f(p)$ распределения молекул по импульсам, определите среднее значение квадрата импульса p^2 . [3 $m k T$]

7. Идеальный одноатомный газ массой 1 кг с молярной массой 4 г/моль нагревают так, что его температура, пропорциональная квадрату давления, возрастает от 300 К до 600 К. Определите работу, совершённую газом. [312 кДж]

8. Балласт какой массы должен выбросить аэростат объемом $V = 300$ м³, чтобы подняться с высоты, на которой барометр показывает давление $p_1 = 84$ кПа при температуре $t_1 = -15$ °С, до высоты, при которой барометр показывает давление $p_2 = 66,7$ кПа при температуре $t_2 = -30$ °С? [$\Delta m = \frac{MV}{R} \left(\frac{p_1}{T_1} - \frac{p_2}{T_2} \right) = 50$ кг]

9. Водород массой $m = 100$ г был изобарно нагрет так, что объем его увеличился в $n = 3$ раза, затем водород был изохорно охлаждён так, что давление его уменьшилось в $n = 3$ раза. Найти изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов. [457 Дж/К]

10. Двухатомный газ при адиабатическом расширении в цикле Карно изменяет объем от $V_2 = 2$ л до $V_3 = 4$ л. Найти КПД цикла. [$\eta = 0,24$]

Вариант № 8

1. Квадратная рамка движется со скоростью $v \approx c$ относительно оси x некоторой системы отсчета. Определите угол между диагоналями в этой системе отсчета. $[\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \approx 1 + \frac{v^2}{2c^2}]$

2. Две ракеты движутся навстречу друг другу относительно неподвижного наблюдателя с одинаковой скоростью, равной $0,5c$. Определите скорость сближения ракет, исходя из закона сложения скоростей: а) в классической механике; б) в специальной теории относительности. [а) c ; б) c]

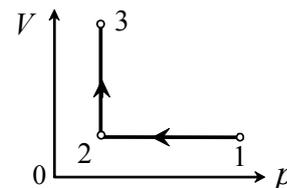
3. Импульс частицы равен m_0c . Под действием внешней силы импульс частицы увеличился в 2 раза. Во сколько раз возросла: а) полная энергия; б) кинетическая энергия? [а) 1,59; б) 2,98]

4. Частица с массой покоя m_0 начала двигаться под действием постоянной силы \vec{F} . Найдите зависимость скорости частицы от времени. $[v(t) = \frac{Ft/m_0}{\sqrt{1 + [Ft/(m_0c)]^2}}$]

5. В баллоне объемом 25 л находится водород при температуре 290 К. После того как часть водорода израсходовали, давление в сосуде понизилось на 0,4 МПа. Определите массу израсходованного водорода. [8,3 г]

6. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на 30 м/с? [370 К]

7. Один моль идеального одноатомного газа сначала охладил, а затем нагрели до первоначальной температуры 300 К, увеличив объем газа в 3 раза (см. рис.). Какое количество теплоты отдал газ на участке 1–2? [–2,5 кДж]



8. В вертикальном цилиндре объемом $V = 0,1 \text{ м}^3$ под невесомым поршнем находится $\nu = 1$ моль идеального одноатомного газа. Газ под поршнем теплоизолирован. На поршень положили груз массой $m = 100 \text{ кг}$, в результате чего поршень переместился на расстояние h . Определите конечную температуру газа T , установившуюся после перемещения поршня, если площадь поршня $S = 10^{-2} \text{ м}^2$. $[T = \frac{V}{\nu RS} \cdot \frac{(3p_0S + 2mg) \cdot (p_0S + mg)}{(3p_0S + 5mg)} = 1496 \text{ К}]$

9. Определите массу воздуха в цилиндре с основанием $S = 1 \text{ м}^2$ и высотой $h = 1 \text{ км}$. Считать, что воздух находится при нормальных условиях. $[m = \frac{p_0S}{g} \left[1 - \exp\left(-\frac{Mgh}{RT}\right) \right] = 99 \text{ кг}]$

10. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника $T_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, количество тепла, полученного от нагревателя, $Q_1 = 6000 \text{ Дж}$, давление при изотермическом и адиабатном расширении изменяется в четыре раза. $[\eta = 0,4]$

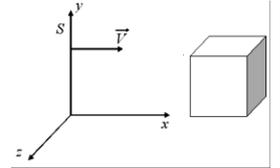
Вариант № 9

1. Покоящийся прямой конус имеет угол полураствора $\theta = 45^\circ$. Найдите в системе отсчета, движущейся со скоростью $V = 0,8c$ вдоль оси конуса, его угол полураствора. [$\operatorname{tg}\theta' = \operatorname{tg}\theta / \sqrt{1 - \beta^2}$, $\theta' = 59^\circ$; $\beta = V/c$]

2. Две частицы, двигавшиеся в лабораторной системе отсчета по одной прямой с одинаковой скоростью $v = 0,75c$, попали в неподвижную мишень с интервалом времени $\Delta t = 50$ нс. Найдите собственное расстояние между частицами до попадания в мишень.

$$[l'_0 = \frac{v\Delta t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = 17 \text{ м}]$$

3. Чему равна плотность стального кубика с точки зрения наблюдателя, движущегося вдоль одного из его ребер, совмещенного с осью x (см. рис.), со скоростью $V = c/2$ ($\rho_0 = 7,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$)?



$$[\rho = 2\rho_0 / \sqrt{3} = 9,0 \text{ т/м}^3]$$

4. Релятивистский протон с импульсом \vec{p}_0 влетел в момент времени $t = 0$ в область, где имеется поперечное однородное электрическое поле с напряженностью \vec{E} , причем $\vec{p}_0 \perp \vec{E}$. Найдите зависимость от времени угла θ , на который будет отклоняться протон от первоначального направления движения. [$\operatorname{tg}\theta = eEt/p_0$]

5. Баллон объемом 5 л содержит смесь гелия и молекулярного водорода при давлении 600 кПа. Масса смеси равна 4 г, массовая доля гелия равна 0,6. Определите температуру смеси. [259 К]

6. Во сколько раз изменится значение максимума функции $f(E_k)$ распределения молекул идеального газа по кинетическим энергиям, если температура газа изменяется в 2 раза? [2]

7. Некоторый газ массой 5 г расширяется изотермически от объема V_1 до объема $V_2 = 2V_1$. Работа расширения равна 1 кДж. Определите среднюю квадратичную скорость молекул газа. [930 м/с]

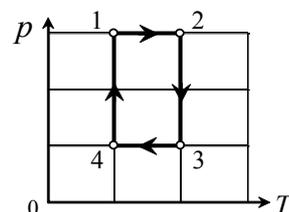
8. Высокий цилиндрический сосуд с азотом находится в однородном поле тяжести, ускорение свободного падения в котором равно g . Температура азота изменяется по высоте так, что его плотность всюду одинакова. Найдите градиент температуры dT/dh . [$dT/dh = -Mg/r = -33 \text{ мК/м}$]

9. Гелий массой 1,7 г адиабатически расширили в 3 раза и затем изобарически сжали до первоначального объема. Найдите приращение энтропии в этом процессе. [-10 Дж/К]

10. Найти КПД цикла Карно, если температура холодильника $T_2 = 0^\circ \text{C}$, количество тепла, полученного от нагревателя, $Q_1 = 5 \text{ кДж}$, степень изотермического и адиабатного расширения одного моля воздуха равна четырем. [$\eta = 0,28$]

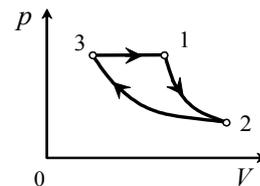
Вариант № 10

1. Частица движется в S -системе со скоростью v под углом θ к оси x . Найдите соответствующий угол θ' в S' -системе, движущейся со скоростью V вдоль оси x . [$\operatorname{tg}\theta' = \frac{\sin\theta\sqrt{1-\beta^2}}{\cos\theta - V/v}$, где $\beta = V/c$]
2. Ионизованный атом, вылетев из ускорителя со скоростью $0,8c$, испустил фотон в направлении своего движения. Определите скорость фотона относительно ускорителя. [c]
3. Определите кинетическую энергию электрона, если полная энергия движущегося электрона втрое больше его энергии покоя. [$1,02$ МэВ]
4. Определите время жизни мюона с энергией $E = 10^9$ эВ в лабораторной системе отсчета. Собственное время жизни мюона $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ с, масса покоя мюона $m_0 = 206,7m_{0e}$ (m_{0e} – масса электрона). [$\tau = \tau_0 E / (m_0 c^2) = 2,1 \cdot 10^{-5}$ с]
5. В сосуде объемом $0,1$ м³ при температуре 280 К содержится смесь газов – азота массой 7 г и водорода массой 1 г. Определите давление смеси газов. [175 кПа]
6. Найдите среднее значение квадрата проекции скорости молекул газа при температуре T . Масса каждой молекулы m . [kT/m]
7. На pT -диаграмме показан цикл тепловой машины, у которой рабочим телом является идеальный газ (см. рис.). На каком из участков цикла 1–2, 2–3, 3–4, 4–1 работа газа наибольшая по модулю? [$2-3$]
8. Идеальный газ с показателем адиабаты γ совершает процесс по закону $p = p_0 - \alpha V$, где p_0 и α – положительные постоянные, V – объем газа. При каком значении объема V_{\max} энтропия газа окажется максимальной? [$V_{\max} = \frac{\gamma p_0}{\alpha(\gamma + 1)}$]
9. Баллон вместимостью 5 л содержит смесь гелия и водорода при давлении 600 кПа. Масса смеси равна 4 г, массовая доля гелия равна $0,6$. Определите температуру смеси. [259 К]
10. При изохорическом нагревании 1 моля газа энтропия возросла на $22,85$ Дж/К, а температура в 3 раза. Найдите молярную теплоемкость этого газа при постоянном объеме. Сколько атомов имеет молекула этого газа? [$20,8$ Дж/К; 2]



Вариант № 11

1. Собственное время жизни мюона равно 2,2 мкс. От точки рождения до точки распада в лабораторной системе отсчета мюон пролетел расстояние 9 км. С какой скоростью двигался этот мюон? [0,9998c]
2. Космический корабль удаляется от Земли со скоростью 0,8c, а затем с него стартует ракета (в направлении от Земли) со скоростью 0,8c относительно корабля. Определите скорость ракеты относительно Земли. [0,976c]
3. Плотность покоящегося тела равна ρ_0 . Найдите скорость системы отсчета относительно данного тела, в которой его плотность будет на $\eta = 0,25$ больше. $v = c \sqrt{\eta(2+\eta)} / (1-\eta) = 0,6c$
4. В S -системе частица с массой покоя m_0 и кинетической энергией T налетает на другую, покоящуюся частицу с такой же массой покоя. Найдите массу покоя M_0 и скорость v составной частицы, образовавшейся в результате столкновения. $[M_0 = \sqrt{2m_0(T + 2m_0c^2)} / c ; v = c \sqrt{T / (T + 2m_0c^2)}]$
5. Во сколько раз увеличится подъемная сила воздушного шара, если наполнявший его гелий заменить водородом? Весом оболочки воздушного шара пренебречь. Газ внутри шара находится при нормальном атмосферном давлении. [1,1]
6. Зная функцию распределения молекул по скоростям, вывести формулу наиболее вероятной скорости $v_{\text{вер}}$. $[v_{\text{вер}} = \sqrt{2kT/m}]$
7. Один моль гелия совершает цикл, изображенный на pV -диаграмме (см. рис.). Участок 1–2 – адиабата, 2–3 – изотерма, 3–1 – изобара. Работа, совершённая газом за цикл, 4 кДж. Разность температур газа между состояниями 1 и 2 равна 120 К. Какая работа совершается в изотермическом процессе? [1,5 кДж]
8. Найдите число ходов n поршня, которое надо сделать, чтобы поршневым воздушным насосом откачать воздух из сосуда емкостью V от давления p_0 до давления p_n , если емкость камеры насоса v . Температура постоянна. $[n = \lg \left(\frac{p_n}{p_0} \right) / \lg \left(1 + \frac{v}{V} \right)]$
9. Два моля идеального газа сначала изотермически охладили, а затем изобарически расширили так, что температура газа стала равна первоначальной. Найдите приращение энтропии газа, если давление его в данном процессе изменилось в 3,3 раза. [20 Дж/К]
10. В баллоне находится смесь 3 идеальных газов, молярная масса которой равна 40 г/моль. В смеси $\nu_1 = 0,1$ моля азота; $\nu_2 = 0,3$ моля кислорода и некоторое количество угарного газа. Найти количество угарного газа [$\nu_{\text{CO}} = 0,053$]

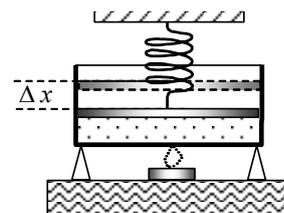


Вариант № 12

1. Какую ускоряющую разность потенциалов должна пройти α -частица, чтобы ее продольный размер оказался в 2 раза меньше поперечного? [1,86 ГВ]
2. Две частицы летят в противоположные стороны с относительной скоростью, равной $0,5c$. Одна из них испускает фотон в направлении своего движения. Вычислите скорость фотона по отношению ко второй частице. [c]
3. Какая кинетическая энергия должна быть сообщена межзвездному кораблю с массой покоя $m_0 = 10^4$ кг, чтобы его часы по возвращению на Землю показывали вдвое меньшее время, чем часы на Земле? Сколько тонн урана должно прореагировать, чтобы выделилось такое же количество энергии? [$T = m_0c^2 = 9 \cdot 10^{20}$ Дж; $m = 1,3 \cdot 10^4$ т]
4. Найдите максимальное число π -мезонов, которое может образоваться при столкновении протона с энергией $E = 17$ ГэВ с покоящимся протоном. Реакция происходит по схеме $p + p \rightarrow p + p + n(\pi^+ + \pi^-)$. [$n = \left(\sqrt{4E_{p0}^2 E_{\pi 0}^2 + 2(E - E_{p0})E_{\pi 0}^2 E_{p0}} - 2E_{p0} E_{\pi 0} \right) / E_{\pi 0}^2 = 28$]
5. Найдите плотность газовой смеси водорода и кислорода, если их массовые доли равны, соответственно, $1/9$ и $8/9$. Давление смеси 100 кПа, температура равна 300 К. [0,48 кг/м³]
6. Вычислите среднюю проекцию скорости $\langle v_x \rangle$ и среднее значение модуля проекции $\langle |v_x| \rangle$, если масса каждой молекулы m и температура газа T . [$\langle v_x \rangle = 0$; $\langle |v_x| \rangle = \sqrt{2kT/\pi m}$]
7. Работа расширения некоторого двухатомного газа равна 2 кДж. Определите количество теплоты, если процесс протекал: 1) изотермически; 2) изобарически. [2 кДж; 7 кДж]
8. В колбе вместимостью $V = 240$ см³ находится газ при температуре $T = 290$ К и давлении $p = 50$ кПа. Определить количество вещества ν газа и число N его молекул. [4,97 ммоль; $2,99 \cdot 10^{21}$ моль]
9. В вертикальном закрытом с обоих концов цилиндре находится массивный поршень, по обе стороны которого находятся по одному молу воздуха. При $T = 300$ К отношение верхнего объема к нижнему $n = 4,0$. При какой температуре это отношение станет $n_1 = 3,0$? Трение не учитывать. [$T_x = T(n - 1/n)(n_1 - 1/n_1) = 420$ К]
10. Определить работу, совершенную над 1 молем воздуха в цикле Карно, если степень изотермического и адиабатического сжатия равна двум, температура холодильника $T_2 = 300$ К. [$Q_2 + A_{41} = 3216$ Дж]

Вариант № 13

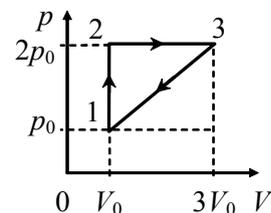
1. Космический корабль движется со скоростью $0,8c$ по направлению к Земле. Определите расстояние, пройденное им в системе отсчета, связанной с Землей (S -система), за время $0,5$ с, отсчитанное по часам в космическом корабле. [$2 \cdot 10^5$ км]
2. Определите интервал Δs , разделяющий два события с координатами: 1) $(5;4)$ и $(2;1)$; 2) $(5;4)$ и $(1;2)$; 3) $(4,5)$ и $(2;1)$. Какие это интервалы? [1) $\Delta s = 0$, светоподобный; 2) $\Delta s = \sqrt{-12}$, пространственноподобный; 3) $\Delta s = \sqrt{12}$, времениподобный]
3. Космонавт в состоянии невесомости «плывет» со скоростью $5,0$ км/ч внутри ракеты перпендикулярно ее движению. Чему равна эта составляющая скорости космонавта для наблюдателя, находящегося на Земле, если скорость ракеты равна $1,8 \cdot 10^8$ м/с («фотонная» ракета)? [$4,0$ км/ч]
4. Пучок релятивистских частиц с кинетической энергией T падает на поглощающую мишень. Сила тока в пучке равна I , заряд частицы e . Найдите выделяющуюся в мишени мощность. [$P = IT/e$]
5. В сосуде вместимостью 15 л находится смесь азота и водорода при температуре 23 °С и давлении 200 кПа. Определите массу смеси, если массовая доля азота в смеси равна $0,7$. [$6,87$ г]
6. В сосуде содержится газ, количество вещества которого равно $1,2$ моль. Рассматривая этот газ как идеальный, определите число молекул, скорости которых меньше на $0,001$ наиболее вероятной скорости. [$5,44 \cdot 10^{14}$]
7. Цилиндр с поршнем содержит газ. Сверху поршень прижат идеальной пружиной. Цилиндр начинают нагревать (см. рис.). Объем газа изменяется от V_1 до V_2 , а давление – от p_1 до p_2 . Определите совершаемую при этом работу газа. Вычисления провести при следующих параметрах: $p_1 = 1 \cdot 10^5$ Па; $p_2 = 2 \cdot 10^5$ Па; $V_1 = 1$ л; $V_2 = 3$ л. [300 Дж]



8. Газ состоит из молекул массой m и находится при температуре T . Найдите с помощью функции $F(v)$: а) функцию распределения молекул по импульсам $F(p)$; б) наиболее вероятное значение импульса $p_{\text{вер}}$. Соответствует ли $p_{\text{вер}}$ наиболее вероятной скорости? [а) $f(p) = 4\pi \left(\frac{1}{2\pi m k T} \right)^{3/2} p^2 \exp\left(-\frac{p^2}{2 m k T} \right)$; б) $p_{\text{вер}} = \sqrt{2mkT}$; $p_{\text{вер}} = p(v_{\text{вер}})$]
9. Лед массой 1 кг, находящийся при температуре -30 °С, нагревают до температуры плавления и затем плавят. Найдите изменение энтропии. [$1,46$ Дж/К]
10. КПД цикла Карно $\eta = 0,6$, работа, совершаемая при изотермическом расширении, $A_{12} = 10$ Дж. Найдите работу, совершаемую при изотермическом сжатии. [$A_{34} = 4$ Дж]

Вариант № 14

1. Определите периметр квадрата со стороной a , движущегося со скоростью $v = c/2$ вдоль одной из его сторон. [3,73a]
2. С какой скоростью двигались в S -системе отсчета часы, если за время $t = 5,0$ с (в S -системе) они отстали от часов этой системы на $\Delta t = 0,10$ с? [$v = c\sqrt{(2 - \Delta t/t) \cdot \Delta t/t} = 6 \cdot 10^7$ м/с]
3. Определите собственную длину стержня, если в лабораторной системе отсчета его скорость $0,6c$, длина $1,5$ м и угол между ним и направлением движения 30° . [1,79 м]
4. При столкновении протонов высоких энергий могут образоваться антипротоны согласно реакции $p + p = p + p + p + \bar{p}$. Какой минимальной (пороговой) кинетической энергией должен обладать протон, чтобы при его столкновении с покоящимся протоном была возможна такая реакция? [$T_{\text{кин}} = 6E_{0p}$]
5. Резиновая камера содержит воздух при температуре 27°C и нормальном атмосферном давлении $1 \cdot 10^5$ Па. Какова температура воды, если на глубине $8,5$ м ее объем уменьшился в два раза? [4°C]
6. При какой температуре газа, состоящего из смеси азота и кислорода, наиболее вероятные скорости молекул азота и кислорода будут отличаться друг от друга на 30 м/с? [330 К]
7. Состояние одноатомного идеального газа изменяется по циклу, представленному на pV -диаграмме (см. рис.). Чему равен КПД теплового двигателя, основанного на использовании этого цикла? [8,7 %]
8. Найдите максимально возможную температуру идеального газа в процессе $p = p_0 - \alpha V^2$. [$T_{\text{max}} = (2p_0/(3R))\sqrt{p_0/(3\alpha)}$]
9. Найдите изменение энтропии при превращении куска льда массой 10 г, находящегося при температуре -20°C , в пар при температуре 100°C . [87 Дж/К]
10. При изобарном сжатии азота (N_2) была совершена работа, равная 12 кДж. Определить подведенное к газу количество теплоты и изменение внутренней энергии газа. [18 кДж; 30 кДж]

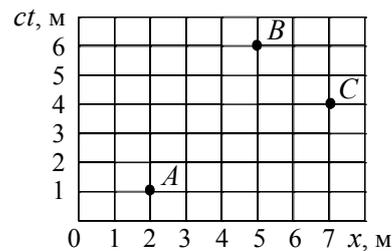


Вариант № 15

1. В лабораторной системе отсчета π^+ -мезон с момента рождения до момента распада пролетел расстояние 75 м. Скорость π^+ -мезона равна $0,995c$. Определите собственное время жизни π^+ -мезона. [25 нс]
2. Найдите относительную скорость двух частиц, движущихся навстречу друг другу со скоростью $2/3 c$. [0,92c]
3. Найдите скорость частицы, кинетическая энергия которой $T = 500$ МэВ и импульс $p = 865$ МэВ/с, где c – скорость света в вакууме. [$v = 2pT / (p^2 + T^2/c^2) = 0,87c$]
4. Нейтральный π -мезон распался на лету на два γ -кванта с одинаковой энергией. Угол между направлениями разлета γ -квантов $\theta = 60^\circ$. Найдите кинетическую энергию T π -мезона и энергию E_γ каждого γ -кванта. [$T = E_{0\pi} = 135$ МэВ; $E_\gamma = E_{0\pi} = 135$ МэВ]
5. Атмосфера Венеры почти полностью состоит из углекислого газа CO_2 . Температура его у поверхности планеты 500°C , а давление – примерно 100 атм. Какова масса исследовательского зонда, плавающего в нижних слоях атмосферы Венеры, если его объем 15 м^3 ? [1 т]
6. Полная кинетическая энергия молекул многоатомного газа, масса которого 20 г, равна 3,2 кДж. Найдите среднюю квадратичную скорость молекул этого газа. [0,4 км/с]
7. В цилиндре под поршнем в замкнутом пространстве находится воздух. Какую работу нужно совершить, чтобы поднять поршень на высоту 10 см, если начальная высота столба воздуха 15 см и наружное давление 760 мм рт.ст.? Массой поршня пренебречь. Температура во время подъема поршня остается неизменной. [2,37 Дж]
8. Потенциальная энергия молекул газа в некотором центральном поле зависит от расстояния r до центра поля как $U(r) = ar^2$, где a – положительная постоянная. Температура газа T , концентрация молекул в центре поля n_0 . Найдите: а) число молекул с потенциальной энергией U , $U + dU$; б) наиболее вероятное значение потенциальной энергии.
[а) $dN = (2\pi n_0 a^{-3/2}) \exp\left(-\frac{U}{kT}\right) \sqrt{U} dU$; б) $U_{\text{вер}} = kT/2$]
9. Изменение энтропии куска льда, нагретого от температуры -30°C до температуры плавления и последующего плавления составило 1,46 Дж/К. Найдите массу куска льда. [1 кг]
10. Найти теплоемкость идеального газа, совершающего цикл Карно, если работа за цикл равна 9 кДж, степень изотермического расширения $V_2/V_1 = 3$, работа адиабатического сжатия равна $-20,5$ кДж. [$C_V = 20,8$ Дж/(моль · К)]

Вариант № 16

1. На диаграмме пространства – времени (см. рис.) показаны три события A , B и C , которые произошли на оси x некоторой инерциальной системы отсчета. Найдите:



- а) промежуток времени между событиями A и B в той системе отсчета, где оба события произошли в одной точке;
 б) расстояние между точками, где произошли события A и C в той системе отсчета, где они одновременны. [а) 13 нс; б) 4,0 м]

2. Найдите относительное изменение продольного размера протона после прохождения им разности потенциалов 10 МВ? [1 %]
 3. Определите работу, которую необходимо совершить, чтобы увеличить скорость частицы с массой покоя m_0 от $0,5c$ до $0,7c$. [$0,245m_0c^2$]

4. Покоящееся тело с массой покоя M_0 распалось на две части с массами покоя m_{10} и m_{20} . Вычислите кинетические энергии T_1 и T_2 продуктов распада. [$T_1 = \frac{c^2[(M_0 - m_{10})^2 - m_{20}^2]}{2M_0}$];

$$T_2 = \frac{c^2[(M_0 - m_{20})^2 - m_{10}^2]}{2M_0}$$

5. В вертикальном закрытом сосуде, площадь основания которого 10^{-3} м^2 , разделенном поршнем массой 1 кг на два отсека, находится газ. Масса газа под поршнем в 9 раз больше, чем над ним. В положении равновесия поршень находится посередине сосуда, а температура газа в обоих отсеках одинакова. Найдите давление газа в отсеках. [1,25 кПа; 11,25 кПа]

6. Зная функцию распределения молекул по скоростям, найдите среднюю квадратичную скорость молекул. [$v_{\text{кв}} = \sqrt{3kT/m}$]

7. Изобразите цикл Карно в координатах S , T . Определите с помощью графика КПД цикла.

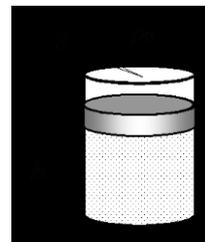
8. В очень высоком вертикальном цилиндрическом сосуде находится углекислый газ при некоторой температуре T . Считая поле тяжести однородным, найдите, как изменится давление газа на дно сосуда, если температуру газа увеличить в η раз. [Не изменится]

9. Определите изменение энтропии при нагревании до кипения 100 г воды, взятой при температуре 300 К, и превращении ее в пар. [697 Дж/К]

10. Один моль идеального одноатомного газа и один моль идеального двухатомного газа по отдельности адиабатно сжимают до уменьшения их объемов в два раза. Найти отношение температур и внутренних энергий газов после их сжатия. [$(T_{\text{одноат}}/T_{\text{двухат}}) = (V_1/V_2)^{0,267} = 0,83$; 0,5]

Вариант № 17

1. Космический корабль летит со скоростью $v = 0,6c$ от одного космического маяка к другому. В тот момент, когда он находится посередине между маяками, каждый из них испускает в направлении корабля световой импульс. Найдите, какой промежуток времени пройдет на корабле между моментами регистрации этих импульсов. Расстояние между маяками свет проходит за $t = 2$ месяца. $[\tau'_0 = \frac{vL}{c\sqrt{c^2 - v^2}} = 1,5 \text{ мес}]$
2. Две частицы движутся навстречу друг другу со скоростями $0,5c$ и $0,75c$ по отношению к лабораторной системе отсчета. Найдите относительную скорость частиц. $[0,91c]$
3. Найдите скорость, при которой релятивистский импульс частицы в $\eta = 2$ раза превышает ее ньютоновский импульс. $[v = \frac{c}{\eta} \sqrt{\eta^2 - 1} = \frac{c\sqrt{3}}{2}]$
4. При взрыве сверхновой 23 февраля 1987 г. в Большом Магеллановом облаке, находящемся от Земли на расстоянии $L = 180$ тыс. световых лет, были зарегистрированы две группы нейтрино с интервалом в $\Delta t = 1$ час. Согласно одной из гипотез, эти две группы нейтрино родились одновременно, но обусловлены разными процессами и соответственно имеют нулевую и ненулевую (около 20 эВ) энергию покоя. Оцените энергию второй группы, при которой это объяснение возможно. $[E \approx m_0 c^2 \sqrt{L/(2c\Delta t)} \approx 560 \text{ кэВ}]$
5. В вертикальном открытом сверху цилиндрическом сосуде, имеющем площадь поперечного сечения 10^{-3} м^2 , на высоте 0,1 м от дна находится поршень массой 1 кг, поддерживаемый сжатым газом с молярной массой $32 \cdot 10^3 \text{ кг/моль}$ (см. рис.). Температура газа 300 К. Определите массу газа в сосуде под поршнем. $[141 \text{ мг}]$
6. Функция распределения вероятностей значений некоторой величины x имеет вид $f(x) = Ax$ при $0 \leq x \leq a$. Вне этого интервала $f = 0$. Здесь A и a – постоянные. Считая, что a задано, найдите: а) значение функции f при $x = a$; б) средние значения x и x^2 . [а) $A = 2/a^2$; $f(a) = 2/a$; б) $\langle x \rangle = 2a/3$; $\langle x^2 \rangle = 3a^2/10$]
7. Покажите, что энтропия системы увеличивается, если горячая вода отдает теплоту холодной воде такой же массы и температуры их уравниваются.
8. В вертикальном закрытом с обоих концов цилиндре находится массивный поршень, по обе стороны которого находятся по одному молю воздуха. При $T = 300 \text{ К}$ отношение верхнего объема к нижнему $n = 4,0$. При какой температуре это отношение станет $n_1 = 3,0$? Трение не учитывать. $[T_x = T(n - 1/n)(n_1 - 1/n_1) = 420 \text{ К}]$
9. Идеальный одноатомный 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. Определите термический к.п.д. цикла. $[0,11]$
10. Воздух (молярная масса 29 г/моль), первоначально находившийся при температуре 260 К и давлении 0,15 МПа, был адиабатно сжат. При этом объем воздуха уменьшился в 12 раз. Масса воздуха 1 кг. Найти конечное давление, температуру газа и совершенную при сжатии работу. $[4,93 \text{ МПа}; 702 \text{ К}; 316 \text{ кДж}]$

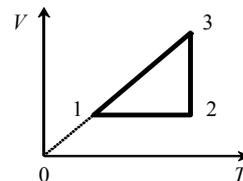


Вариант № 18

1. Два события произошли в S -системе отсчета в мировых точках с координатами $x_1 = 5,0$ м, $x_2 = 3,0$ м; $y_1 = 4,0$ м, $y_2 = 2,0$ м; $z_1 = z_2 = 0$; $t_1 = 10,0$ нс, $t_2 = 20,0$ нс. Можно ли найти систему отсчета, в которой оба события происходят в один момент времени? [Нельзя]
2. С помощью релятивистского закона сложения скоростей получите формулу для нахождения скорости u распространения света в оптической среде с показателем преломления n , движущейся со скоростью V в направлении распространения света. [$u = c(c + Vn)/(nc + V)$]
3. Два протона движутся навстречу друг другу с одинаковыми кинетическими энергиями T (в S -системе отсчета). Найдите кинетическую энергию T' одного протона в S' -системе отсчета, где другой протон покоится. [$T' = 2T(T + 2m_0c^2)/(m_0c^2)$]
4. Релятивистская частица с импульсом p и полной энергией E движется вдоль оси x S -системы отсчета. Покажите, что в S' -системе, движущейся с постоянной скоростью V относительно S -системы в положительном направлении ее оси x , импульс частицы определяется формулой $p'_x = (p_x - EV/c^2)/\sqrt{1-\beta^2}$, где $\beta = V/c$.
5. Плотность углекислотной (CO_2) атмосферы Венеры примерно в 50 раз выше плотности земной атмосферы при нормальных условиях. Считая, что температура у поверхности Венеры равна 4770 К, найдите венерианское атмосферное давление. [$9 \cdot 10^6$ Па]
6. В сосуде объемом 30 л находится 100 г кислорода под давлением $3 \cdot 10^5$ Па. Используя распределение молекул по кинетическим энергиям, найдите наиболее вероятное значение кинетической энергии молекул кислорода. [$2,4 \cdot 10^{-21}$ Дж]
7. Два сосуда, объемы которых 1,6 л и 3,4 л, содержат, соответственно, оксид углерода массой 14 г и кислород массой 16 г. Температуры газов одинаковы. Сосуды соединяют и газы перемешиваются. Определите приращение энтропии в этом процессе. [6,33 Дж/К]
8. Водород совершает цикл Карно. Найдите КПД цикла, если при адиабатическом расширении объем газа увеличивается в $n = 2,0$ раза. [$\eta = 1 - n^{1-\gamma} = 0,25$]
9. Два сосуда наполнены одним и тем же газом. В первом сосуде содержится $m_1 = 0,2$ кг газа под давлением $p_1 = 4 \cdot 10^5$ Па, во втором - $m_2 = 0,3$ кг под давлением $p_2 = 9 \cdot 10^5$ Па. Сосуды соединяют трубкой, объемом которой можно пренебречь по сравнению с объемами сосудов. Найдите установившееся давление p в сосудах, если температура газа в них была одинакова и после установления равновесия увеличилась на $\delta = 20$ %. Ответ представьте в атмосферах и округлите до десятых. [$p = \left(1 + \frac{\delta}{100\%}\right) \frac{p_1 p_2 (m_1 + m_2)}{m_1 p_2 + m_2 p_1} = 7,2 \cdot 10^5$ Па = 7,2 атм]
10. В цилиндре под поршнем массой 100 кг находится азот (N_2) при температуре 293 К. Нижняя поверхность поршня находится на высоте 0,5 м от основания цилиндра. Найдите работу, которую совершит газ при его изобарном нагревании на 40 К. Площадь основания цилиндра 100 см^2 , атмосферное давление $1,01 \cdot 10^5$ Па, трением поршня о стенки цилиндра пренебречь. [130 Дж]

Вариант № 19

1. Два события произошли в S -системе отсчета в мировых точках с координатами $x_1 = 5,0$ м, $x_2 = 3,0$ м; $y_1 = 4,0$ м, $y_2 = 2,0$ м; $z_1 = z_2 = 0$; $t_1 = 10,0$ нс, $t_2 = 20,0$ нс. Можно ли найти систему отсчета, в которой оба события происходят в одной точке пространства? [Можно]
2. С какой скоростью двигались в S -системе отсчета часы, если за время $5,0$ с (в S -системе) они показали время, большее на $0,10$ с собственного времени часов этой системы? [$2,999 \cdot 10^8$ м/с]
3. Полная энергия движущегося протона в $1,5$ раза больше его энергии покоя. Определите полную и кинетическую энергию этого протона. [1410 МэВ; 470 МэВ]
4. Электрон начинает двигаться в однородном электрическом поле с напряженностью $E = 10$ кВ/м. Через какое время после начала движения кинетическая энергия электрона станет равной его энергии покоя? [$\Delta t = cm_0/(eE) = 3 \cdot 10^{-7}$ с]
5. На V - T -диаграмме представлен круговой процесс, проведенный с идеальным газом (см. рис.). Изобразите этот процесс в координатах p - V .
6. Найдите температуру газообразного азота, при которой скоростям молекул $v_1 = 300$ м/с и $v_2 = 600$ м/с соответствуют одинаковые значения функции распределения $F(v)$. [300 К]
7. В каком случае КПД цикла Карно повысится больше: при увеличении температуры нагревателя на ΔT или при уменьшении температуры холодильника на ту же величину? [При уменьшении температуры]
8. Распределение молекул по скоростям в пучке, выходящем из небольшого отверстия в сосуде, описывается функцией $f(v) = Av^3 \exp\left(-\frac{mv^2}{2kT}\right)$, где T – температура газа внутри сосуда. Найдите наиболее вероятные значения: а) скорости молекулы в пучке; сравните полученную величину с наиболее вероятной скоростью молекул в самом сосуде; б) кинетической энергии в пучке. [а) $v_{\text{вер}} = \sqrt{3kT/m}$, $v_{\text{н}} \neq v_{\text{вер}}$; б) $E_{\text{кин}} = kT$]
9. Найдите изменение энтропии 30 г льда при превращении его в пар, если начальная температура льда равна -40 °С, а температура пара 100 °С. [269 Дж/К]
10. В цилиндре под поршнем находится 22 г водорода при температуре 273 К и давлении 0,25 МПа. Площадь поршня $0,25$ м². Газ изобарно нагревают, сообщая ему 17,2 кДж теплоты. Найти совершенную газом работу, изменение температуры в цилиндре и перемещение поршня. [5 кДж; 55 К; 0,08 м]



Вариант № 20

1. Относительно оси x S -системы отсчета летит куб со скоростью \vec{v} . Ребро куба равно a . Ось x параллельна одному из ребер куба. Чему равен его объём в S -системе. Годится ли полученный ответ для тела произвольной формы? [$V = a^3 \sqrt{1 - v^2/c^2}$. Ответ не зависит от формы тела]
2. Найдите расстояние, которое пролетела в лабораторной системе отсчета нестабильная частица от момента ее рождения до распада, если ее время жизни в этой системе отсчета 3,0 мкс, а собственное время жизни 2,2 мкс. [0,6 км]
3. Найдите скорость частицы, если ее полная энергия в пять раз больше энергии покоя. [$2,94 \cdot 10^8$ м/с]
4. С космического корабля, приближающегося к Земле со скоростью $V = 0,6c$, ведется прямая телевизионная передача, позволяющая видеть на экране телевизора циферблат корабельных часов. Сколько оборотов сделает на экране секундная стрелка за 1 минуту по земным часам? [Два]
5. В баллоне объемом $0,03 \text{ м}^3$ находится газ при температуре 250 К. При этом манометр показывает давление газа 831 кПа. После того как часть газа из баллона вытекла, его нагрели, и при температуре 300 К манометр показал то же самое давление. Определите, какая масса газа вытекла? Молярная масса газа равна 0,002 кг/моль. [4 г]
6. Барометр в кабине летящего самолета все время показывает одинаковое давление 80 кПа, благодаря чему летчик считает высоту полета неизменной. Однако температура воздуха изменилась на 1 К. Какую ошибку в определении высоты допустил летчик? Считать, что температура не зависит от высоты и что у поверхности Земли давление 100 кПа. [−28,5 м]
7. Двухатомный идеальный газ ($\nu = 2$ моль) нагревают при постоянной температуре 289 К. Определите количество теплоты, которое необходимо сообщить газу, чтобы увеличить его давление в 3 раза. [5,3 кДж]
8. В законе ошибок Гаусса $f(x) = A e^{-\alpha x^2}$ выразите постоянную A через постоянную α . [$A = \sqrt{\alpha/\pi}$]
9. Лед массой 1 кг с начальной температурой 0°C в результате нагревания превратили сначала в воду, а затем в пар при температуре 100°C . Найдите изменение энтропии. [8,6 кДж/К]
10. Температура холодильника в цикле Карно $T_2 = 300$ К. Определить, во сколько раз увеличится КПД цикла, если температура нагревателя увеличилась в 2 раза и стала больше температуры холодильника на 500 К. [2,5 раза]

Вариант № 21

1. Снаряду массой m_0 на экваторе сообщена горизонтальная скорость v в направлении вращения Земли. Какова должна быть разность между скоростью света и скоростью снаряда, чтобы остановить вращение Земли вокруг собственной оси? Момент инерции Земли относительно оси вращения с большой точностью представляется приближенной формулой $I = MR^3/3$. [$c - v \approx \frac{9c}{2} [m_0 c^2 / (M \omega R)]^2 = 1,56 \cdot 10^{-19} \text{ м/с}$]
2. Какую разность потенциалов должен пройти электрон, чтобы его собственное время стало в 10 раз меньше лабораторного? [4,61 МВ]
3. Из астрономических наблюдений известно, что количество энергии, которое приносит на Землю солнечное излучение за 1 с на площадку 1 м^2 , перпендикулярную солнечным лучам, составляет $1,4 \text{ кДж/с} \cdot \text{м}^2$. Найдите массу, на которую уменьшится масса Солнца за 1 с. [$4,4 \cdot 10^3 \text{ кг/с}$]
4. Найдите зависимость скорости частицы с массой покоя m_0 от времени в постоянном поле $\vec{F} = \text{const}$ при условии, что начальная скорость частицы равнялась нулю. [$v = cFt / \sqrt{F^2 t^2 + m_0^2 c^2}$]
5. Цилиндрический сосуд длиной 84 см, расположенный горизонтально, разделен на две равные части теплонепроницаемым поршнем. В обеих половинах сосуда находятся одинаковые массы газа при температуре $27 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении 10^5 Па . На какое расстояние от середины сосуда сместится поршень, если газ в одной половине сосуда нагреть до температуры $57 \text{ }^\circ\text{C}$? Считать, что в другой половине сосуда температура не изменяется. [0,02 м]
6. Используя идею установки Перрена для определения числа Авогадро и применив к частицам краски, взвешенных в воде, больцмановское распределение, найдите объем частиц, если при расстоянии между двумя слоями 80 мкм число взвешенных частиц в одном слое вдвое больше, чем в другом. Плотность растворенной краски 1700 кг/м^3 , а температура окружающей среды – 300 К . [$5,22 \cdot 10^{-21} \text{ м}^3$]
7. Определите количество теплоты, сообщенное газу, если в процессе изохорного нагревания молекулярного кислорода объемом 20 л его давление изменилось на 100 кПа. [5 кДж]
8. Найдите максимально возможную температуру идеального газа в процессе $p = p_0 e^{-\beta V}$. [$T_{\text{max}} = p_0 / (e\beta R)$]
9. Найдите изменение энтропии при превращении куска льда массой 10 г, находящегося при температуре $-20 \text{ }^\circ\text{C}$, в пар при температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$. [87 Дж/К]
10. Холодильная машина, работающая по обратному циклу Карно, использует воду при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ в качестве холодильника и воду при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ в качестве нагревателя. Сколько воды замерзнет в холодильнике, если в пар превратился 1 л воды в кипятыльнике? [$m = 4,94 \text{ кг}$]

Вариант № 22

1. Космический корабль с постоянной скоростью $0,96c$ движется по направлению к центру Земли. Какое расстояние в системе отсчета, связанной с Землей, пройдет корабль за промежуток времени 7 с, отсчитанный по корабельным часам? Вращение Земли и ее орбитальное движение не учитывать. [$7,2 \cdot 10^9$ м]
2. Стекланный стержень длиной 50 см движется со скоростью 30 м/с. Свет проходит через него в направлении движения и в противоположном направлении. Определите разность во времени распространения света ($n = 1,5$). [$4,7 \cdot 10^{-16}$ с]
3. Кинетическая энергия релятивистской частицы равна ее энергии покоя. Во сколько раз возрастет импульс частицы, если ее кинетическая энергия увеличится в 4 раза? [$2,82$]
4. Частица с массой покоя m_0 при $t = 0$ начинает двигаться под действием постоянной силы \vec{F} . Найдите зависимость от времени пройденного частицей пути. [$s = \frac{m_0 c^2}{F} \left(\sqrt{1 + [Ft/(m_0 c)]^2} - 1 \right)$]
5. В сосуде объемом 5 л находится азот массой $1,4$ г при температуре 1800 К. Какая доля молекул диссоциировала на атомы, если давление газа при этой температуре $1,9 \cdot 10^5$ Па? [$0,3$]
6. Пылинки массой 10^{-18} г взвешены в воздухе. Определите толщину слоя воздуха, в пределах которого концентрация пылинок различается не более чем на 1 %. Температура воздуха во всем объеме одинакова и равна 300 К. [$4,23$ мм]
7. Многоатомный газ совершает цикл Карно, при этом в процессе адиабатического расширения объем газа увеличивается в 4 раза. Определите термический КПД цикла. [37 %]
8. Газовый термометр представляет собой измерительный баллон объемом $V_1 = 100$ м³, соединенный тонкой трубкой с манометром, объем рабочего пространства которого $V_2 = 10$ см³. Термометр заполнен изотопом гелия ³He. При температуре $T_0 = 300$ К манометр показывает давление $p_0 = 300$ мм рт.ст. Измерительный баллон погружают в жидкий гелий. Найдите температуру жидкого гелия, если манометр показывает давление $p = 3,3$ мм рт.ст. Манометр остается при комнатной температуре. [$T = \frac{pT_0V_1}{p_0(V_1 + V_2) - pV_2} = 3$ К]
9. Воду массой $1,0$ кг нагрели от некоторой температуры до 100 °С, при которой она вся превратилась в пар. Приращение энтропии системы в этом процессе равно $7,2$ кДж/кг. Найдите начальную температуру воды [10 °С]
10. В цилиндре под поршнем находится 2 кг кислорода (O). Поршень закреплен. Газ нагревают на 5 К. Найти подведенное к кислороду количество теплоты, увеличение внутренней энергии газа, совершенную газом работу и удельную теплоемкость кислорода для этого случая. [$6,57$ кДж; $6,57$ кДж; 0 Дж; 657 Дж/(кг·К)]

Вариант № 23

1. Какова должна быть кинетическая энергия частицы, чтобы ее продольный размер стал в k раз меньше поперечного? [$E_{\text{кин}} = (k-1)m_0c^2$]
2. Концентрация электронов в неподвижном металлическом стержне равна n_0 . Как изменяется ее значение в системе отсчета, движущейся относительно стержня со скоростью v ? [$n = n_0 / \sqrt{1 - (v/c)^2}$]
3. Импульс релятивистской частицы равен m_0c . Под действием внешней силы импульс частицы увеличился в 2 раза. Во сколько раз при этом возрастет кинетическая энергия частицы? [2,98]
4. Два протона движутся с одинаковыми кинетическими энергиями T навстречу друг другу в системе центра масс. Найдите кинетическую энергию T' одного протона в системе отсчета, где другой протон покоится. [$T' = 2T(T + 2m_0c^2) / (m_0c^2)$]
5. На дне цилиндра, заполненном воздухом при температуре 27°C , лежит металлический шар радиусом 2 см. Какова масса шара, если при неизменной температуре при сжатии воздуха до давления 12,8 МПа шар отрывается от дна цилиндра? [5 г]
6. У поверхности Земли молекул водорода почти в $1,0 \cdot 10^6$ раз меньше, чем молекул азота. На какой высоте число молекул водорода будет равно числу молекул азота? Среднюю температуру атмосферы принять равной 0°C . [123 км]
7. Идеальный газ совершает цикл Карно, термический КПД которого равен 0,4. Определите работу термического сжатия газа, если работа изотермического расширения равна 400 Дж. [-240 Дж]
8. Вычислите с помощью функции $f(v_x)$ число Δn молекул газа, падающих в единицу времени на единичную площадку, если n – концентрация молекул, T – температура газа и m – масса каждой молекулы. [$\Delta n = n\langle v \rangle / 4$, где $\langle v \rangle = \sqrt{8kT / (\pi m)}$]
9. Определите изменение энтропии при нагревании до плавления 100 г олова, взятого при температуре 32°C и превращении его в жидкость при температуре плавления [24 Дж/К]
10. В цилиндре под легко подвижным невесомым поршнем площадью 15 см^2 находится 0,2 г воздуха при температуре 293 К. Молярная масса воздуха 29 г/моль. Найти работу, необходимую для равномерного медленного (изотермического) подъема поршня с высоты 10 см до высоты 20 см. Атмосферное давление равно $1,01 \cdot 10^5$ Па. [3,5 Дж]

Вариант № 24

1. Через какое время фотон пролетит галактику диаметром 10^5 световых лет по наблюдениям с космического корабля, движущегося вслед за фотоном со скоростью, равной $0,6c$? [$5 \cdot 10^4$ лет]
2. Два ускорителя выбрасывают навстречу друг другу частицы со скоростями $0,9c$. Определите относительную скорость частиц в системе отсчета, движущейся вместе с одной из частиц. [$0,994c$]
3. Импульс релятивистской частицы равен m_0c . Под действием внешней силы импульс частицы увеличился в 2 раза. Во сколько раз при этом возрастет полная энергия частицы? [$1,58$]
4. Исходя из уравнения $\vec{F} = d\vec{p}/dt$, найдите коэффициент пропорциональности между силой \vec{F} и ускорением \vec{a} , когда $\vec{F} \parallel \vec{v}$, где \vec{v} – скорость частицы. [$m_0 - m / \sqrt{(1 - v^2/c^2)^3}$]
5. Из баллона со сжатым молекулярным водородом объемом 10 л вследствие неисправности вентиля вытекает газ. При температуре 7°C манометр показывал $4,9 \cdot 10^5$ Па. Через некоторое время при температуре 17°C манометр показал такое же давление. Какая масса газа вытекла? [$1,68 \cdot 10^{-4}$ кг]
6. На какой высоте над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на ее поверхности? Считать, что температура воздуха равна 290 К и не изменяется с высотой. [$5,88$ км]
7. Идеальный газ совершает цикл Карно. Температура нагревателя -500 К, температура холодильника -300 К. Работа изотермического расширения газа равна 2 кДж. Найдите количество теплоты, отданное холодильнику при изотермическом сжатии. [$0,6$ кДж]
8. В вертикальном цилиндре вместимостью $V = 0,1$ м³ под невесомым поршнем находится $\nu = 2$ моль идеального одноатомного газа. Газ под поршнем теплоизолирован. На поршень положили груз массой $m = 100$ кг, в результате чего поршень переместился на расстояние h . Определите конечную температуру газа T , установившуюся после перемещения поршня, если площадь S поршня 10^{-2} м². [$T = \frac{V}{\nu RS} \cdot \frac{(3p_0S + 2mg) \cdot (p_0S + mg)}{(3p_0S + 5mg)} = 748$ К]
9. Изменение энтропии при превращении куска льда, находящегося при температуре -20°C , в пар при температуре 100°C составило 87 Дж/К. Найдите массу льда. [10 г]
10. Смесь объемом $V = 20$ л содержит смесь водорода и гелия при температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и давлении $P = 2 \cdot 10^5$ Па. Масса смеси $m = 50$ г. Найти отношение массы водорода к массе гелия в данной смеси. [$0,5$]

Вариант № 25

1. Мюоны, экспериментально обнаруженные на дне глубоких шахт, образуются в земной атмосфере и успевают до распада пролететь расстояние $6 \cdot 10^3$ м при скорости $0,995c$. Найдите собственное время жизни мюона. [$2 \cdot 10^{-6}$ с]
2. Две релятивистские частицы движутся в лабораторной системе со скоростями $0,6c$ и $0,9c$ вдоль одной прямой в одном направлении. Определите их относительную скорость. [$0,195c$]
3. Определите кинетическую энергию частицы, если ее импульс $p = m_0c$. [$0,414m_0c^2$]
4. Релятивистская, частица с импульсом p и полной энергией E движется вдоль оси x в S' -системе, движущейся с постоянной скоростью V относительно S -системы в положительном направлении ее оси x . Покажите, что полная энергия E' частицы определяется формулой $E' = \frac{E - p_x V}{\sqrt{1 - \beta^2}}$, где $\beta = V/c$.
5. В сосуде объемом 30 л содержится идеальный газ при температуре 0°C . После того как часть газа без изменения температуры была выпущена наружу, давление в сосуде понизилось на $0,78$ атм. Найдите массу выпущенного газа. Плотность данного газа при нормальных условиях – $1,3$ г/дм³, давление при нормальных условиях – 1 атм. [$0,03$ кг]
6. В центрифуге с ротором, радиус которого равен $0,5$ м, при температуре 300 К находится в газообразном состоянии вещество с относительной молекулярной массой 10^{-3} . Определите отношение концентраций молекул у стенок ротора и в его центре, если ротор вращается с частотой 30 с⁻¹. [$5,91$]
7. Во сколько раз необходимо увеличить объем 5 моль идеального газа при постоянной температуре, чтобы его энтропия увеличилась на $57,6$ кДж/К? [4]
8. В открытой пробирке, вращающейся в горизонтальной плоскости с частотой $\omega = 10$ рад/с вокруг вертикальной оси, проходящей через открытый край пробирки, находится столбик ртути длиной $l = 1$ см. Передний край столбика отстоит от края пробирки на $L = 20$ см. До какой температуры T_2 надо нагреть пробирку, чтобы при возросшей в $n = 2$ раза частоте вращения столбик не сместился? Внешнее давление $p_0 = 10^5$ Па, начальная температура $T_0 = 273$ К. [$T_2 = T_0 \cdot \frac{p_0 + n^2 \rho \omega^2 (L + l/2) l}{p_0 + \rho \omega^2 (L + l/2) l} = 296$ К]
9. Азот нагревался при постоянном давлении, причем ему было сообщено количество теплоты $Q = 21$ кДж. Определить работу A , которую совершил при этом газ, и изменение ΔU его внутренней энергии. [6 кДж; 15 кДж]
10. В сосуде находится смесь $m_1 = 7,0$ г азота и $m_2 = 11$ г углекислого газа при температуре $T = 290$ К и давлении $P_0 = 1 \cdot 10^5$ Па. Найти плотность этой смеси. [$1,5$ кг/м³]