

Индивидуальное задание № 9-а
«Физика природной среды»
для групп Ф-21, ИП-21

Темы задач

1. Вероятность состояния. Термодинамическая вероятность (статистический вес) и энтропия.
2. Энтропия как термодинамический потенциал. Изменение энтропии.
3. Неравновесные процессы (явления переноса)
 - 1.1. В сосуде содержатся пять молекул. а) Каким числом способов могут быть распределены эти молекулы между левой и правой половинами сосуда? б) Чему равно $\Omega(0,5)$ – число способов осуществления такого распределения, при котором все пять молекул оказываются в правой половине сосуда? Какова вероятность $P(0,5)$ такого состояния?
 - 1.2. Найти изменение энтропии ΔS при превращении массы $m=10$ г льда ($T_1=253$ К) в пар ($T_2=373$ К).
 - 1.3. Какое количество теплоты Q теряет помещение за время $t=1$ час через окно за счет теплопроводности воздуха, заключенного между рамами? Площадь каждой рамы $S=4$ м², расстояние между ними $d=30$ см, температура помещения $t_1=18^\circ$ С, температура наружного воздуха $t_2=-20^\circ$ С. Диаметр молекул воздуха $d_0=0,3$ нм. Температуру воздуха между рамами считать равной среднему арифметическому температур помещения и наружного воздуха Давление $p=101,3$ кПа.
- 2.1. В сосуде содержатся пять молекул. а) Каким числом способов могут быть распределены эти молекулы между левой и правой половинами сосуда? б) Чему равно $\Omega(1,4)$ – число способов осуществления такого распределения, при котором в левой половине сосуда оказывается одна молекула, а в правой – четыре? Какова вероятность $P(1,4)$ такого состояния?
- 2.2. Найти изменение энтропии ΔS при превращении массы $m=1$ кг воды ($T_1=273$ К) в пар ($T_2=373$ К).
- 2.3. Для расчета отопительной системы необходимо найти потерю теплоты 1 м² стены здания в течение суток. Толщина стены $d=50$ см, температура стены внутри и снаружи здания соответственно равна $t_1=18^\circ$ С и $t_2=-30^\circ$ С, коэффициент теплопроводности стены $K=0,20$ Вт/(м · К).
- 3.1. В сосуде содержатся пять молекул. а) Каким числом способов могут быть распределены эти молекулы между левой и правой половинами сосуда? Чему равно $\Omega(2,3)$ – число способов осуществления такого состояния, при котором в левой половине

- сосуда оказывается две молекулы, а в правой - 4? Какова вероятность P (2,3) такого состояния?
- 3.2. Найти изменение энтропии ΔS при плавлении массы $m=1$ кг льда ($T=273$ К).
- 3.3. Потолочное перекрытие парового котла состоит из двух слоев тепловой изоляции. Определить температуру t_2 на границе между слоями, если температура наружных поверхностей перекрытия $t_1=800^\circ$ С и $t_3=60^\circ$ С, а толщина и теплопроводность каждого слоя соответственно равны: $d_1=500$ мм, $K_1=1,3$ Вт/(м · К); $d_2=200$ мм, $K_2=0,16$ Вт/(м · К).
- 4.1. Некоторая термодинамическая система перешла из состояния 1 в состояние 2. Статистический вес второго состояния превосходит статистический вес первого состояния в $\eta=2$ раза. Чему равно приращение энтропии системы ΔS_{12} ?
- 4.2. Найти изменение энтропии ΔS при переходе массы $m=8$ г кислорода от объема $V_1=10$ л при температуре $T_1=373$ К к объему $V_2=40$ л при температуре $T_2=573$ К.
- 4.3. Стена нагревательной печи толщиной $d=0,75$ м выполнена целиком из огнеупорного шамотного кирпича с коэффициентом теплопроводности $K_1=1$ Вт/(м · К). Какова будет толщина стены, если ее выполнить двухслойной, сохранив первый слой из того же материала толщиной $d_1=0,25$ м, а второй слой из неогнеупорного, но малотеплопроводного материала, у которого коэффициент теплопроводности $K_2=0,1$ Вт/(м·К). Тепловой поток и температуры наружных поверхностей у двухслойной стены те же, что и у однослойной.
- 5.1. Статистический вес Ω состояния некоторой массы газа равен Ω_1 . Определить статистический вес Ω_2 состояния в η раз большей массы того же газа. Температура и давление газа в обоих случаях одинаковы.
- 5.2. Масса $m=6,6$ г водорода изобарически расширяется от объема V_1 до объема $V_2=2V_1$. Найти изменение энтропии ΔS при этом расширении.
- 5.3. В топке парового котла сжигается $m=200$ кг топлива в час с теплотой сгорания $q=41$ МДж/кг. Определить потерю теплоты стенами топки в окружающую среду в процентах от общего количества выделяемого тепла, если поверхность стен топки $S=60$ м², толщина стен $D=750$ мм, теплопроводность кладки $K=0,6$ Вт/(м К), а температура с внутренней и наружной сторон стен соответственно равны $t_1=750^\circ$ С и $t_2=50^\circ$ С.
- 6.1. Статистический вес Ω некоторого состояния термодинамической системы равен: а) $1,00 \cdot 10^{10^{20}}$, б) $5,00 \cdot 10^{10^{20}}$. Чему равна энтропия S системы в этом состоянии? Чему равна по порядку величины относительная разность энтропий $\Delta S/S$ для случаев а) и б).

- 6.2. Масса $m=10$ г кислорода нагревается от температуры $T_1=323$ К до температуры $T_2=423$ К. Найти изменение энтропии ΔS , если нагревание происходит: а) изохорически; б) изобарически.
- 6.3. Стальная стенка котла толщиной $d_1=1,5$ мм покрыта с внутренней стороны слоем котельной накипи толщиной $d_2=1$ мм. Определить тепловой поток, проходящий через 1 м² стенки котла и температуру стального листа под накипью, если температура наружной поверхности стенки $t_1=250^\circ$ С и внутренней $t_2=200^\circ$ С. Коэффициент теплопроводности накипи $K=0,6$ Вт/(м · К).
- 7.1. Энтропия моля водорода (H_2) при температуре 25° С и давлении $1,023 \cdot 10^5$ Па (1 атм) равна $S_m=130$ Дж/(моль К). Определить статистический вес Ω : а) одного моля, б) двух моль водорода при указанных условиях.
- 7.2. Изменение энтропии на участке между двумя адиабатами в цикле Карно $\Delta S=4,19$ кДж/К. Разность температур между двумя изотермами $\Delta T=100$ К. Какое количество теплоты Q превращается в работу в этом цикле?
- 7.3. Акватория Азовского моря составляет $38 \cdot 10^3$ км². Найти, во сколько раз мощность теплового потока, передаваемого водой в атмосферу, превышает мощность электростанции в 10^6 кВт, если море покрыто слоем льда толщиной 200 мм, а температура на нижней и верхней поверхностях льда $t_1=0^\circ$ С и $t_2=-15^\circ$ С.
- 8.1. Определить, во сколько раз увеличивается статистический вес Ω моля воды при переходе ее из жидкого в газообразное состояние при температуре 100° С.
- 8.2. Изобразить для идеального газа графики изотермического, изобарического, изохорического и адиабатического процессов на диаграмме: а) T,S ; б) V,S ; в) p,S . Энтропию откладывать по оси абсцисс. Графики проходят через общую для них точку.
- 8.3. Антикатод рентгеновской трубки выполнен в виде медного стержня длиной 250 мм и диаметром 15 мм. Определить разность температур между горячим и холодным концом стержня, если через боковую поверхность стержня тепло не проходит, а холодный конец омывается проточной водой. Вода нагревается на 3 градуса при расходе 1 кг/мин.
- 9.1. Разделим сосуд вместимости V на две одинаковые части 1 и 2. Пусть в этом сосуде движется одна молекула. Будем наблюдать за ней в течение времени τ . В среднем половину этого времени молекула будет находиться в части 1 сосуда, в половину – в части 2. В течение какого времени в части 1 вместе с первой будет находиться вторая молекула, если в сосуде движутся две молекулы?
- 9.2. Энтропия системы изменяется с температурой по закону: $S=a+bT$, где a и b – константы. Какое количество тепла Q получает система при обратимом нагревании от T_1 до T_2 ?

- 9.3. Определить тепловой поток через огнеупорную обмуровку теплового агрегата, если толщина обмуровки равна 400 мм, температуры поверхностей обмуровки $t_1=900^\circ\text{C}$ и $t_2=60^\circ\text{C}$, а коэффициент теплопроводности огнеупора изменяется по закону $K=K_0(1+bt)$, где $K_0=0,35\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, $b=1,5\cdot 10^{-3}\text{ К}^{-1}$.
- 10.1. Долю времени, в течение которого частицы находятся в каком-либо состоянии, часто называют вероятностью этого состояния. а) В сосуде находятся две молекулы. Чему равна вероятность того, что обе молекулы будут находиться в левой половине сосуда? В любой из половин? б) Чему равна вероятность того, что молекулы будут находиться в разных половинах сосуда? в) В сосуде находятся три молекулы. Чему равна вероятность того, что две молекулы будут находиться в левой половине сосуда и что в левой половине сосуда не будут ни одной молекулы?
- 10.2. Моль одноатомного идеального газа нагревается обратимо от T_1 до T_2 . В процессе нагревания газа его давление изменяется с температурой по закону $p=p_0\exp(\alpha T)$, где α - константа. Определить количество тепла, получаемое газом при нагревании. $T_1=300\text{ К}$, $T_2=400\text{ К}$, $\alpha=10^{-3}\text{ К}^{-1}$.
- 10.3. Определить силу сопротивления воздуха при движении автомобиля со скоростью $v=45\text{ км/ч}$. Площадь среднего сечения автомобиля $S=3,5\text{ м}^2$, плотность воздуха $\rho=1,2\text{ кг/м}^3$, коэффициент сопротивления $c_x=0,5$. В качестве определяющего размера при установлении режима движения принять высоту автомобиля $h=1,5\text{ м}$, $Re_{кр}=2300$.
- 11.1. В сосуде вместимостью V_0 находится N молекул. а) Определите вероятность того, что в объеме V , который представляет собой часть объема V_0 , не будет ни одной молекулы. б) Чему должен быть равен этот объем, чтобы вероятность такого события была близка к 10^{-2} ?
- 11.2. Идеальный газ, расширившись изотермически ($T=400\text{ К}$), совершает работу $A=800\text{ Дж}$. Что происходит при этом с энтропией газа?
- 11.3. В высокий цилиндрический сосуд, наполненный глицерином, бросают алюминиевый шарик диаметром $d=6\text{ мм}$. Определить, при какой скорости падения движение шарика станет равномерным. Ламинарным или турбулентным будет при этом движение жидкости? Критическое число Рейнольдса $Re_{кр}=2300$.
- 12.1. Макроскопическая система состоит из трех макроскопических подсистем со статистическим весами Ω_1 , Ω_2 и Ω_3 . Чему равен статистический вес Ω и энтропия S всей системы? Какие свойства Ω и S определяют ответ на поставленный выше вопрос?
- 12.2. В ходе обратимого изотермического процесса ($T=350\text{ К}$) тело совершает работу $A=80\text{ Дж}$, а внутренняя энергия тела получает приращение $\Delta U=7,5\text{ Дж}$. Что происходит с энтропией газа?

- 12.3. Определить время подъема движущихся с постоянной скоростью пузырьков воздуха со дна водоема глубиной 1 м, если диаметры пузырьков соответственно равны 2 и 1 мм. Расширением пузырьков пренебречь.
- 13.1. Некоторая система при постоянной температуре T квазистатически получила от внешних тел количество теплоты $\Delta'Q$. Определить, как изменился статистический вес системы. Сделать оценку для испарения 1 кг воды при $T=100^\circ\text{C}$, скрытая теплота испарения воды $q=2,25$ МДж/кг.
- 13.2. Давление газа изменяется пропорционально его объему. Найти зависимость энтропии S одного моля идеального газа от объема V при таком процессе. Считать известным показатель адиабаты χ .
- 13.3. На вертикальном участке длиной $(1,500\pm 0,005)$ м стальной шарик диаметром $(3\pm 0,01)$ мм движется в глицерине вниз с постоянной скоростью в течение $(65,5\pm 0,2)$ с. Определить коэффициент вязкости глицерина и вычислить относительную его погрешность.
- 14.1 Число частиц N , объем V , внутренняя энергия U и энтропия S аддитивны; давление p и температура T в равновесном состоянии постоянны «вдоль системы», т.е. одинаковы у любой подсистемы. Определить, как изменится статистический вес Ω произвольной равновесной системы, если при постоянном давлении p и температуре T увеличить число частиц в ней N в η раз.
- 14.2. Азот массой $m=1$ кг находится в сосуде объемом $V_1=0,2$ м³ под давлением $p=1 \cdot 10^5$ Па. Азот расширяется до объема $V_2=0,54$ м³, при этом его давление падает в 2,7 раза. Определить приращение энтропии газа ΔS и его внутренней энергии ΔU .
- 14.3 Между пластинами, находящимися на расстоянии 1 мм друг от друга, находится воздух и поддерживается разность температур $\Delta T=1\text{K}$. Площадь каждой пластины $S=0,01$ м². Какое количество теплоты Q передается за счет теплопроводности от одной пластины к другой за время 10 мин? Считать, что воздух находится при нормальных условиях. Диаметр молекулы воздуха 0,3 нм.
- 15.1. Как изменится статистический вес одноатомного идеального газа при изотермическом увеличении его объема в 2 раза. Число молекул в газе N .
- 15.2. Определить изменение энтропии 14 г азота при изобарном нагревании его от 27°C до 127°C .
- 15.3. Два тела с постоянными температурами T_1 и T_2 ($T_2>T_1$) соединены теплопроводящим стержнем длины l с поперечным сечением S . Пренебрегая потерями теплоты через боковую поверхность стержня, определить зависимость температуры стержня T от координаты x .

Найти поток теплоты q через поперечное сечение стержня. Теплопроводность материал стержня k .

- 16.1. Как изменится статистический вес одноатомного идеального газа при изохорическом увеличении его температуры в 2 раза. Число молекул в газа N .
- 16.2. Как изменится энтропия 2 молей углекислого газа при изотермическом расширении, если объем газа увеличивается в четыре раза?
- 16.3. Между двумя плоскими параллельными пластинами, расположенными на расстоянии d друг от друга, находится разреженный одноатомный газ. Оценить плотность потока тепла, если температура пластин поддерживается равной T и $T+\Delta T$ соответственно, а концентрация атомов n . Масса атома m .
- 17.1. Как изменится статистический вес одноатомного идеального газа при политропическом $TV^{3/4}=\text{const}$ увеличении объема в 2 раза? Число молекул в газе N .
- 17.2. Найти изменение энтропии при нагревании 2 кг воды от 0 до 100° С и последующем превращении ее в пар при той же температуре.
- 17.3. Какое количество теплоты ΔQ теряется ежедневно через двойную парниковую раму за счет теплопроводности воздуха, заключенного между ее полиамидными пленками? Площадь каждой пленки $S=4 \text{ м}^2$, расстояние между ними $D=30 \text{ см}$. Температура в парнике $t_1=5^\circ \text{ С}$, температура наружного воздуха $t_2= -10^\circ \text{ С}$; температуру t воздуха между пленками считать равной средней арифметической этих температур. Радиус молекулы воздуха $r=1,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$, молярная масса воздуха $M=0,029 \text{ кг/моль}$.
- 18.1. В сосуде находится N молекул. Найти вероятность попадания всех N молекул в одну из половин сосуда, провести расчеты для четырех значений $N=2,5,10,100$.
- 18.2. Найти изменение энтропии при плавлении 2 кг свинца в дальнейшем его охлаждении от 327 до 0° С.
- 18.3. Найти количество азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 10 см^2 за 5 с, если градиент плотности азота в направлении, перпендикулярном площадке, $1,26 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^4$. Коэффициент диффузии $1,42 \text{ см}^2/\text{с}$.
- 19.1. В сосуде объемом V_0 находится N молекул. Определить вероятность попадания в объем V ($V<V_0$) всех N молекул. Провести расчеты для $V/V_0=0,1$ и трех значений $N=2,5,10$.
- 19.2. Найти изменение энтропии при нагревании 2 кг воды от 0 до 100° С и последующем превращении ее в пар при той же температуре.

- 19.3. За сколько времени 720 мг углекислого газа продиффундируют из чернозема в атмосферу через 1 м^2 его поверхности при градиенте плотности $0,5 \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^4$? Коэффициент диффузии принять равным $0,04 \text{ см}^4/\text{с}$.
- 20.1. Получить выражение, связывающее энтропию системы S в каждом состоянии с вероятностью P реализации того же состояния (формула Больцмана).
- 20.2. Лед массой 1 кг, находящийся при температуре 0° С , нагревают до температуры 57° С . Определить изменение энтропии.
- 20.3. За сутки через 1 м^2 поверхности почвы продиффундировало 145 г углекислого газа. Определить коэффициент диффузии углекислого газа, если градиент плотности в нем $1,4 \cdot 10^{-5} \text{ г/см}^4$.
- 21.1. Энтропия моля водорода при температуре $T=298 \text{ К}$ и давлении $p=1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ равна $S=130 \text{ Дж/моль К}$. Определить статистический вес G : а) одного моля; б) двух молей водорода при данных условиях.
- 21.2. В некоторой температурной области энтропия термодинамической системы изменяется с температурой по закону: $S=a+bT$, где a – константа, $b=5,00 \text{ Дж/К}^2$. Какое количество теплоты Q получает система при обратимом нагревании в этой области от $T_1=290 \text{ К}$ до $T_2=310 \text{ К}$?
- 21.3. Наружная поверхность стены имеет температуру $t_1=-20^\circ \text{ С}$, внутренняя – температуру $t_2=20^\circ \text{ С}$. Толщина стены $d=40 \text{ см}$. Найти теплопроводность λ материала стены, если через единицу ее поверхности за время $\tau=1 \text{ ч}$ проходит количество теплоты $Q=460,5 \text{ кДж/м}^2$.
- 22.1. Два стрелка одновременно и независимо стреляют в одну цель. Найти вероятность поражения цели, если вероятности попадания в цель первым и вторым стрелками равны соответственно 0,8 и 0,7. Цель считать пораженной, если в нее попадает хотя бы один стрелок.
- 22.2. Моль одноатомного идеального газа нагревается обратимо от $T_1=300 \text{ К}$ до $T_2=400 \text{ К}$. В процессе нагревания давление газа изменяется с температурой по закону $p=p_0 \exp(\alpha T)$, где $\alpha=1,00 \cdot 10^{-3} \text{ К}^{-1}$. Определить количество теплоты Q , полученное газом при нагревании.
- 22.3. Какое количество теплоты Q теряет за время $\tau=1 \text{ мин}$ комната с площадью пола $S=20 \text{ м}^2$ и высотой $h=3 \text{ м}$ через четыре кирпичные стены? Температура в комнате $t_1=15^\circ \text{ С}$, температура наружного воздуха $t_2=-20^\circ \text{ С}$. Теплопроводность кирпича $\lambda=0,84 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$. Толщина стен $d=50 \text{ см}$. Потерями тепла через пол и потолок пренебречь.
- 23.1. При игре в Спортлото из $N=49$ номеров наудачу выбирается $n_0=6$. Вычислить вероятность $\omega_{N,n_0}(k)$ того, что вы угадаете k «счастливых»

- номеров – те, которые определяются в дальнейшем при тираже. Сделать расчет для $k=0,1,2,\dots,6$.
- 23.2. Энтропия 1 г азота при температуре 25°C и давлении $1,00 \cdot 10^5$ Па равна $S_1=6,84$ Дж/(г К). Определить энтропию 2 г азота при температуре 100°C и давлении $2,00 \cdot 10^5$ Па.
- 23.3. Один конец железного стержня поддерживается при температуре $t_1=100^\circ\text{C}$, другой упирается в лед. Длина стержня $l=14$ см, площадь поперечного сечения $S=2$ см². Найти количество теплоты Q_τ , протекающее в единицу времени вдоль стержня. Какая масса m льда растает за время $\tau=40$ мин? Потерями тепла через стенки пренебречь.
- 24.1. В сосуде находится N молекул. Найти вероятность ω того, что в процессе хаотического движения все молекулы соберутся в одной половине сосуда. Вычислить ω для $N=2,10$, $N_A=6 \cdot 10^{23}$.
- 24.2. Энтропия моля кислорода при температуре 25°C и давлении $1,00 \cdot 10^5$ Па равна $S_1=204,8$ Дж/(моль К). В результате изотермического расширения объем, занимаемый газом, увеличился в два раза. Определить энтропию S_2 кислорода в конечном состоянии.
- 24.3. Площадь поперечного сечения медного стержня $S=10$ см², длина стержня $l=50$ см. Разность температур на концах стержня $\Delta T=15$ К. Какое количество теплоты Q_τ проходит в единицу времени через стержень? Потерями тепла пренебречь.
- 25.1. Статистический вес G некоторого состояния термодинамической системы равен: а) 10^{10} ; б) $5 \cdot 10^{10}$. Чему равна энтропия S системы в этом состоянии? Чему равна по порядку величины относительная разность энтропии $\Delta S/S$ для случаев а) и б).
- 25.2. 1,000 г кислорода первоначально заключен в объеме $V_1=0,200$ л под давлением $p_1=500$ Па. Затем газ расширился, в результате чего объем газа стал равным $V_2=0,500$ л, а давление – равным $p_2=200$ Па. Считая газ идеальным, определить: а) приращение энтропии газа ΔS , б) приращение внутренней энергии газа ΔU .
- 25.3. Между двумя плоскими параллельными пластинками, расположенными на расстоянии D друг от друга, находится разреженный одноатомный газ. Оценить плотность потока тепла, если температура пластин поддерживается равной T и $T+\Delta T$ соответственно, а концентрацию атомов n . Масса атома m .
- 26.1. Некоторая система при постоянной температуре T квазистатически получила от внешних сил количество теплоты $\Delta'Q$. Определить, как изменился статистический вес системы. Сделать оценку для испарения 1 кг воды при $t=100^\circ\text{C}$, скрытая теплота испарения воды $q=2,25$ МДж/кг.

- 26.2. Давление газа изменяется пропорционально его объему. Найти зависимость энтропии S одного моля идеального газа от объема V при таком процессе. Считать известным показатель адиабаты χ .
- 26.3. На вертикальном участке длиной $(1,500 \pm 0,005)$ м стальной шарик диаметром $(3 \pm 0,01)$ мм движется в глицерине вниз с постоянной скоростью в течение $(65,5 \pm 0,2)$ с. Определить коэффициент вязкости глицерина и вычислить относительную его погрешность.
- 27.1. Число частиц N , объем V , внутренняя энергия U и энтропия S аддитивны; давление p и температура T в равновесном состоянии постоянны «вдоль системы», т.е. одинаковы у любой подсистемы. Определить, как изменится статистический вес Ω произвольной равновесной системы, если при постоянном давлении p и температуре T увеличить число частиц в ней N в η раз.
- 27.2. Азот массой $m=1$ кг находится в сосуде объемом $V_1=0,2$ м³ под давлением $p=1 \cdot 10^5$ Па. Азот расширяется до объема $V_2=0,54$ м³, при этом его давление падает в 2,7 раза. Определить приращение энтропии газа ΔS и его внутренней энергии ΔU .
- 27.3. Два тела с постоянными температурами T_1 и T_2 ($T_2 > T_1$) соединены теплопроводящим стержнем длины l с поперечным сечением S . Пренебрегая потерями теплоты через боковую поверхность стержня, определить зависимость температуры стержня T от координаты x . Найти поток теплоты q через поперечное сечение стержня. Теплопроводность материал стержня k .
- 28.1. Как изменится статистический вес одноатомного идеального газа при изотермическом увеличении его объема в 2 раза. Число молекул в газе N .
- 28.2. В ходе обратимого изотермического процесса ($T=350$ К) тело совершает работу $A=80$ Дж, а внутренняя энергия тела получает приращение $\Delta U=7,5$ Дж. Что происходит с энтропией газа?
- 28.3. Между пластинами, находящимися на расстоянии 1 мм друг от друга, находится воздух и поддерживается разность температур $\Delta T=1$ К. Площадь каждой пластины $S=0,01$ м². Какое количество теплоты Q передается за счет теплопроводности от одной пластины к другой за время 10 мин? Считать, что воздух находится при нормальных условиях. Диаметр молекулы воздуха 0,3 нм.