

Задачи для подготовки к экзамену в 5 семестре по курсу “ Модели и концепции физики ”

Термодинамика и молекулярная физика.

1. Оцените, где больше содержится воздуха: в слое у поверхности Земли толщиной 10 см или в слое толщиной 1 км на высоте 100 км. Атмосферу считать изотермической с температурой $T = 300$ К. Изменением ускорения свободного падения с высотой пренебречь.
2. В сосуд с 1 кг воды при температуре 80°C вливают 1 кг воды при температуре 20°C . Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг·К). Определите изменение энтропии системы после установления теплового равновесия. Теплоёмкостью сосуда и потерями теплоты пренебречь.
3. При каком давлении вода будет кипеть при 101°C . Удельную теплоту испарения воды считайте равной $r = 2260$ Дж/г. Как изменится температура кипения при увеличении давления воздуха на 1 атм?
4. Как следует изменить давление, чтобы температура плавления льда изменилась на один градус? Теплота плавления льда $q = 335$ Дж/г; плотность льда $\rho_{\text{л}} = 0,917$ г/см³; плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1$ г/см³? Оцените, на сколько градусов изменяется температура плавления льда под коньками хоккеиста.
5. Вязкость воздуха при температуре 20°C и атмосферном давлении равна $\eta = 1,81 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с). Оценить значение средней длины свободного пробега молекул воздуха при этих условиях. Как изменится вязкость воздуха при увеличении давления в 10 раз?
6. В микроскоп с разрешающей способностью $\delta = 1$ мкм рассматривается тонкий слой крови при температуре $t = 27^\circ\text{C}$. Через какое время можно зафиксировать броуновское смещение эритроцита, если вязкость крови $\eta = 4,5 \cdot 10^{-3}$ Па·с, а эритроцит представляет собой шарик с радиусом $r = 3$ мкм.
7. При комнатной температуре $t_2 = 22^\circ\text{C}$ внутри холодильника поддерживается температура $t_1 = 2^\circ\text{C}$. В холодильнике сломался выключатель, и внутренняя лампочка продолжала гореть при закрытой дверце. Нарисуйте цикл работы холодильника в координатах (S, T) до и после поломки, считая, что вся мощность лампочки ($N_{\text{л}} = 25$ Вт) переходит в тепло. Определите, насколько изменилась потребляемая холодильником мощность. Холодильник считайте идеальным.
8. Оцените массу земной атмосферы.
9. Найти КПД цикла, состоящего из двух изохор и двух изобар и проходящего последовательно через состояния 1) $[P, V]$; 2) $[2P, V]$; 3) $[2P, 2V]$; 4) $[P, 2V]$. Газ идеальный одноатомный.
10. Тепловой насос используется для поддержания температуры 20°C внутри дома, когда температура снаружи 3°C . Найти минимальную работу, которую необходимо затратить, чтобы передать внутрь дома 100 Дж теплоты.
11. Найти приращение энтропии при расширении 2 г водорода от объёма 1,5 л до объёма 4,5 л, если процесс расширения происходит при постоянном давлении.
12. Считая, что температура $t = 0^\circ\text{C}$ и молярная масса воздуха не зависят от высоты, рассчитайте, на какой высоте над поверхностью Земли давление уменьшается: а) в e раз; б) на $\Delta P/P = 1\%$.

13. Какому давлению надо подвергнуть углекислый газ при $T = 300$ К, чтобы его плотность оказалась равной $\rho = 0,5$ г/см³? Расчёт выполнить как для идеального, так и для Ван-дер-Ваальсовского газа с константами $a = 0,367$ Па·м⁶/моль², $b = 43$ см³/моль.
14. Газ находится в очень высоком цилиндрическом сосуде при температуре $T = 300$ К. Считая поле тяжести однородным, найти среднее значение потенциальной энергии молекул газа. Ответ выразить в эВ.
15. Найти изменение энтропии одного моля азота при увеличении его температуры в $n = 2$ раза в: а) изохорическом процессе; б) изобарическом процессе; в) адиабатическом процессе.
16. В комнате объёмом V в течение некоторого времени был включён нагреватель. В результате температура воздуха увеличилась от T_1 до T_2 . Давление в комнате не менялось. Найти изменение внутренней энергии воздуха в комнате, считая воздух идеальным газом.
17. Температура воздуха равна 273 К. Найти изменение скорости звука при изменении температуры на 1 К.
18. Теплоизолированный сосуд разделен на две равные части перегородкой, в которой имеется закрывающееся отверстие. В одной половине содержится 10 г водорода, вторая половина откачана до высокого вакуума. Отверстие в перегородке открывают, и газ заполняет весь объём. Считая газ идеальным, найти изменение его энтропии.
19. Найти изменение энтропии при нагревании 10 кг воды от 293 К до 333 К при атмосферном давлении. Теплоёмкость воды $C_P = 4,19$ кДж/(К·кг) считать не зависящей от температуры.
20. Для некоторого вещества зависимость внутренней энергии от температуры при температурах $0 \div 10$ К имеет вид $U = aT^4 + U_0$. Найти зависимость теплоёмкости C_V и энтропии S от температуры в этом температурном диапазоне.
21. Вода превращается в пар при температуре 373 К. Какая часть теплоты парообразования воды идёт при этом на увеличение её внутренней энергии? Удельная теплота парообразования воды при этой температуре равна 2260 кДж/кг, пар считать идеальным газом.
22. Найти отношение средней квадратичной скорости молекул двухатомного газа к скорости звука в этом газе.
23. Молекулы могут находиться на двух энергетических уровнях с энергиями 0 или 0,04 эВ. Какая доля всех молекул находится на верхнем энергетическом уровне при 275°С?
24. Два тела с температурами 299 К и 300 К приведены в соприкосновение. От тела с большей температурой к телу с меньшей температурой перешло количество теплоты, равное 10^{-10} эрг. Во сколько раз отличаются вероятности начального и конечного состояний системы?
25. Молекула белка диаметром 3 нм взвешена в воде, имеющей вязкость 0,01 г/(см·с) и температуру 27°С. Оценить время, за которое молекула белка сместится от своего первоначального положения на расстояние $\ell = 1$ мкм.
26. Оценить, на какое среднее расстояние ℓ от своего исходного положения удалится за время $t = 10$ с молекула воздуха при нормальных условиях, если средняя длина свободного пробега $\lambda \sim 0,1$ мкм.
27. Два сосуда с идеальным газом соединены трубкой, диаметр которой заметно меньше длины свободного пробега в обоих сосудах. Температура в сосудах поддерживается постоянной и равной соответственно T_1 и $T_2 = 2T_1$. Найти отношение давлений P_2/P_1 .

28. Расстояние между стенками сосуда Дьюара равно $\ell = 8$ мм. Начиная с какого давления P теплопроводность воздуха, находящегося между стенками сосуда, начнёт уменьшаться при дальнейшей откачке? Температура воздуха $T = 290$ К. Диаметр молекул воздуха $d = 0,3$ нм.

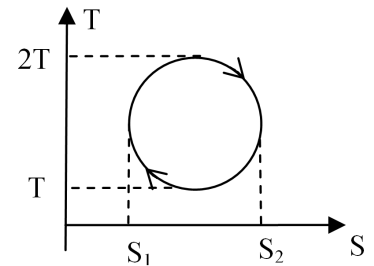
29. В зимний день температура воздуха на улице, сначала равная -9°C , понизилась ещё на 10°C . Для обогрева комнаты используется тепловой насос, работающей между комнатой и улицей. Считая тепловой насос идеальной машиной, определить, во сколько раз при этом изменились затраты энергии для поддержания в комнате постоянной температуры, равной 21°C .

30. На некоторых спутниках Юпитера при температуре $T = 137$ К предполагается наличие морей из метана CH_4 . Определить, при каком давлении на поверхности спутников это возможно. Под давлением $P_0 = 1$ атм метан кипит при температуре $T_0 = 112$ К. Считайте, что теплота испарения метана $q = 8200$ Дж/моль не сильно зависит от температуры.

31. Сосуд разделён перегородкой на два различных объёма, так что в одном объёме содержится N_1 атомов газа, в другом N_2 . Температура и давления газов одинаковы. Затем перегородку убирают, и газы перемешиваются. Вычислить изменение энтропии смешения, если: а) газы различны и б) газы одинаковы. Газы — одноатомные, идеальные.

32. Вычислить теплоёмкость моля идеального одноатомного газа, состоящего из частиц, имеющих два дискретных уровня энергии: $+\varepsilon_0$ и $-\varepsilon_0$. Как ведёт себя теплоёмкость в пределе низких и в пределе высоких температур?

33. Определите КПД “круглого” цикла, изображённого на рисунке в координатах (S, T) .



34. Откаченный до высокого вакуума теплоизолированный сосуд объёмом $V_0 = 22,4$ л находится в воздухе при нормальных условиях. Открывается вентиль и, после выравнивания давления, быстро закрывается. Какое количество молей воздуха окажется при этом в сосуде? Теплообменом между окружающим воздухом и воздухом в сосуде пренебречь.

35. Оцените максимальную температуру на поверхности космического аппарата, входящего в плотные слои атмосферы.

36. Рассчитайте, на сколько градусов изменяется температура воздуха на каждые 100 метров высоты земной атмосферы. Задачу решите в приближении адиабатической атмосферы.

37. При диффузии золота в свинец коэффициент диффузии составляет $D = 4,7 \cdot 10^{-12}$ м²/с при 160°C . На какую среднюю глубину продиффундируют атомы золота в свинец за месяц?

38. Неон вытекает из теплоизолированного сосуда через отверстие, размер которого мал по сравнению с длиной свободного пробега молекул неона. Определить его температуру, когда в сосуде останется половина количества газа. Начальные условия нормальные. Теплоёмкостью стенок пренебречь.

39. Какую минимальную работу должен совершить двигатель идеального холодильника, чтобы, работая в среде с температурой $t = 27^\circ\text{C}$ превратить стакан воды (10 молей) с начальной комнатной температурой в лёд при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Теплоёмкость воды $c = 4,2$ Дж/(К·г); удельная теплота плавления льда $q = 335$ Дж/г.

40. Какую максимальную работу можно получить от двух одинаковых тел с теплоёмкостями $C = 500$ Дж/К, каждое, но с разными температурами $t_{01} = 0^\circ\text{C}$ и $t_{02} = 100^\circ\text{C}$.

Электричество и магнетизм.

1. Вычислите отношение силы электростатического отталкивания двух протонов к силе их гравитационного притяжения.
2. В опытах Резерфорда золотая фольга бомбардировалась α -частицами (ядра гелия ${}^4_2\text{He}$ с кинетической энергией $W = 5$ МэВ. На какое минимальное расстояние может приблизиться α -частица к ядру золота ${}^{79}_{197}\text{Au}$.
3. Найдите напряжённость поля и потенциал на расстоянии r от точечного диполя p на его оси и в перпендикулярном направлении.
4. Найти и изобразить на графике распределение поля E внутри и вне бесконечной однородной пластины толщиной d , в которой равномерно распределён заряд с объёмной плотностью ρ .
5. Подсчитать среднюю объёмную плотность электрических зарядов в атмосфере, если известно, что напряжённость электрического поля на поверхности Земли равна 100 В/м, а на высоте $h = 1,5$ км эта напряжённость падает до 25 В/м.
6. В равномерно заряженной сфере вырезано малое отверстие. Какова напряжённость поля в центре отверстия? Заряд шара q , радиус R .
7. Проводящая сфера составлена из двух полусфер радиуса R . Определить силу F , с которой отталкиваются эти полусферы, если полный заряд сферы равен Q .
8. По плоскому кольцу с внутренним радиусом 1 м и внешним радиусом 2 м равномерно распределён заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 1$ нКл/м². Определить потенциал электрического поля в центре кольца.
9. Плоский воздушный конденсатор ёмкостью $C = 17,8$ пФ подключён к источнику постоянного напряжения $U = 300$ В. С какой силой притягиваются пластины этого конденсатора, если расстояние между обкладками конденсатора $d = 0,5$ мм? Как изменится эта сила, если расстояние между обкладками удвоить (при неизменном напряжении)?
10. В однородное электрическое поле E_0 вносится незаряженный проводящий шар. Указать на его поверхности точки, в которых: а) поле по абсолютной величине остаётся прежним; б) поле по абсолютной величине утраивается; в) равно нулю.
11. Бытовой аэрозольный антистатик снимает статический заряд с одежды за счёт увеличения напряжённости электрического поля у поверхности распыляемых капелек, как бы уменьшая пробивное напряжение воздуха. Оценить напряжённость E_0 пробоя воздуха, содержащего большое количество мелких взвешенных капелек антистатику, если пробой сухого воздуха происходит при напряжённости поля $E_{\text{пр}} = 30$ кВ/см. Для радиуса капелек r и их концентрации n выполняется условие $nr^3 \ll 1$, жидкость антистатику является электролитом (проводящий раствор спирта в воде).
12. Точечный заряд находится на расстоянии d от центра незаряженного проводящего шара радиуса r . Какой заряд протечёт по проводнику, если шар заземлить?
13. Найти силу притяжения точечного электрического диполя с дипольным моментом $p = 4 \cdot 10^{-10}$ Кл·см к бесконечной металлической пластине, ближайшая точка которой находится от диполя на расстоянии $L_0 = 1$ см. Ось диполя перпендикулярна к пластине. Определите также работу, которую надо затратить, чтобы отодвинуть диполь от поверхности пластины с расстояния $L_0 = 1$ см до расстояния $L = 2$ см.

14. Два маленьких металлических шарика радиуса $R = 1$ см находятся во внешнем однородном электрическом поле $E = 10$ кВ/см, ориентированном перпендикулярно линии, соединяющей центры шаров. Расстояние между шариками $r = 1$ м. Найти силу взаимодействия между шариками. Притягиваются или отталкиваются шарики?

15. Свободная частица с зарядом q массой m совершает равномерное круговое движение в поле неподвижного точечного электрического диполя с дипольным моментом p . Расстояние от диполя до частицы равно r . Найдите угловую скорость вращения частицы.

16. Проводящий шар с зарядом q окружён concentрическим шаровым слоем из диэлектрика с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$. Определите полную величину поляризационных зарядов на внутренней и внешней поверхностях диэлектрика.

17. Какую максимальную разность потенциалов можно поддерживать между проводами двухпроводной линии, если напряжённость пробоя воздуха $E = 30$ кВ/см, диаметр проводов $d = 1$ см и расстояние между проводами $L = 5$ м.

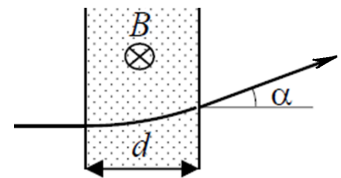
18. В длинном медном цилиндре, равномерно заряженном электричеством с объёмной плотностью ρ , сделана полость в виде длинного цилиндра, ось которого параллельно смещена относительно оси медного цилиндра на расстояние d . Определить поле внутри полости.

19. Сферический конденсатор ёмкостью $C = 22,2$ пФ заполнен однородной слабо проводящей средой с проводимостью $\lambda = 10^{-6}$ Ом $^{-1}$ ·см $^{-1}$. Определите электрическое сопротивление между обкладками.

20. Уединённый металлический заряженный шар находится в воздухе, удельное сопротивление которого $\rho = 2 \cdot 10^{16}$ Ом·см, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 1,00025$. Во сколько раз изменится заряд шара через час?

21. Найти силу взаимодействия на единицу длины между двумя бесконечно длинными параллельными проводниками с токами $I_1 = 1$ А и $I_2 = 2$ А. Расстояние между проводниками 20 см. В каком случае проводники будут притягиваться?

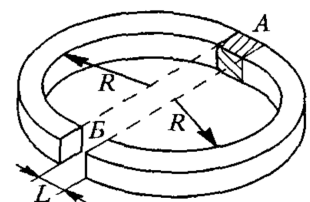
22. Протон влетает в область поперечного магнитного поля $B = 5$ кГс со скоростью $v = 0,96 \cdot 10^9$ см/с. Толщина области, занятой полем, $d = 10$ см. Найти угол отклонения протона от первоначального направления движения.



23. По бесконечному проводу радиусом R течёт постоянный ток I . Удельное сопротивление провода зависит от расстояния до его оси по закону $\rho = \rho_0 r/R$. Найти зависимость магнитного поля H от расстояния до оси провода во всём пространстве. Нарисовать график $H(r)$.

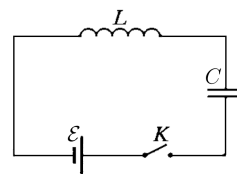
24. Постоянный магнит в виде тонкого цилиндра длиной $L = 20$ см с однородной намагниченностью $P_m = 645$ Гс согнут в кольцо так, что между полюсами остался зазор $\delta = 2$ мм. Определите магнитную индукцию в зазоре.

25. Тонкий тороидальный сердечник радиусом R выполнен из мягкого железа с магнитной проницаемостью $\mu \gg 1$. Сердечник разрезан по диаметру, половинки раздвинуты на расстояние L , а затем один из зазоров (А) замкнут постоянным магнитом (см.рис). Намагниченность вещества магнита I . Пренебрегая рассеянием, найти поле в свободном зазоре (Б).



- 26.** Магнитное поле Земли в некотором приближении может быть описано полем точечного магнитного диполя p расположенного в центре Земли. Считая, что диполь p направлен от северного к южному географическому полюсу, выясните, как угол наклона магнитного поля к горизонту (магнитное наклонение) связан с географической широтой φ . Какой угол с горизонтом образует магнитное поле в г. Долгопрудном, расположенном на широте $\varphi = 56^\circ$ с.ш.
- 27.** Какая сила действует на небольшой сверхпроводящий шарик диаметром $d = 1$ см, расположенный на расстоянии $r = 5$ см от прямого провода с током $I = 100$ А. Притягивается или отталкивается шарик.
- 28.** Определить период малых крутильных колебаний магнитной стальной спицы сечением $S = 1$ мм² и длиной $L = 10$ см подвешенной горизонтально за середину на неупругом подвесе в магнитном поле Земли (горизонтальная составляющая $B_0 = 0,2$ Гс). Плотность стали $\rho = 7,8$ г/см³, остаточная индукция $B = 4\pi P_m = 10$ кГс.
- 29.** Компас расположен под проводом, по которому течёт постоянный ток, на расстоянии $r = 10$ см от оси провода. При каком токе стрелка приподнимется над своей опорой. Остаточная индукция стали стрелки $B = 4\pi P_m = 20$ кГс, плотность стали $\rho = 7,8$ г/см³.
- 30.** В однородное магнитное поле B_0 вносится сверхпроводящий шар. Указать на его поверхности точки, в которых поле: а) по величине максимально б) равно нулю; в) по величине остаётся прежним.
- 31.** Плазменный шнур удерживается с помощью магнитного поля, параллельного оси шнура, вследствие того, что поле не проникает внутрь плазмы. Оценить величину магнитного поля, необходимого для удержания плазмы, если концентрация частиц плазмы $n = 10^{16}$ см⁻³, а её температура $T = 108$ К.
- 32.** Магнитное поле в соленоиде $B = 10$ Тл. Считая поле в соленоиде однородным, найдите полную силу, действующую на обмотку соленоида. Длина соленоида $L = 20$ см; диаметр $d = 5$ см.
- 33.** В центре кольца радиусом $R = 1$ см расположен небольшой постоянный магнит с магнитным моментом $P_m = 20$ Гс·см³, направленным вдоль оси кольца. Найдите магнитный поток через плоскость кольца.
- 34.** В центре медного кольца радиусом $a = 1$ см и сопротивлением $R = 0,01$ Ом находится небольшой цилиндрический магнетик с магнитным моментом P_m , перпендикулярным плоскости кольца. После удаления магнетика по кольцу прошёл заряд $q = 0,1$ мКл. Найти P_m .
- 35.** Два соосных круговых витка радиусами R и $r \ll R$ находятся на расстоянии R друг от друга. По малому витку пропускают переменный ток $i = i_0 \cos \omega t$. Найти ток в большом витке, если его сопротивление R_0 .
- 36.** Плоский конденсатор образован двумя дискам, между которыми находится слабо проводящая среда. Конденсатор зарядили и отключили от источника. Пренебрегая краевыми эффектами показать, что магнитное поле внутри конденсатора отсутствует.
- 37.** Источник постоянного напряжения $U = 10$ В соединён с нагрузкой сопротивлением $R = 100$ Ом коаксиальным кабелем с малым сопротивлением. Найдите поток энергии через поперечное сечение кабеля.
- 38.** Длинный соленоид с индуктивностью L подключается источнику ЭДС \mathcal{E} через сопротивление R (сопротивлением соленоида пренебречь). Рассчитав поток электромагнитной энергии через боковую поверхность соленоида, найдите полную энергию, втекающую в соленоид за время установления тока.

39. Найдите зависимость тока и заряда от времени после замыкания ключа в схеме, изображённой на рис. В начальный момент времени конденсатор разряжен.



40. Рассчитайте давление солнечного излучения на зеркало вблизи земной поверхности, интенсивность которого составляет $I = 1,4 \text{ кВт/м}^2$. Свет падает на зеркало по нормали.