

Билет 1

Задача 1. Частота колебаний молекулы $H^{35}Cl$ равна $0,9 \cdot 10^{14}$ рад/с. Найти упругую константу молекулы. Примечание: а.е.м. равна $1,66 \cdot 10^{-27}$ кг.

Задача 2. В замкнутом сосуде, где содержалась смесь одинакового количества молей водорода и азота прошла реакция $3H_2 + N_2 \rightarrow 2NH_3$. Как изменилось давление системы?

Задача 3. Равномерно заряженное кольцо радиуса 0.5 м с линейной плотностью заряда 10^{-5} Кл/м вращается в своей плоскости с угловой скоростью 15 рад/с. Найти возникшую в результате этого вращения индукцию магнитного поля в центре кольца.

Задача 4. Частота сигнала автомобиля скорой помощи, движущегося по встречной полосе, при его прохождении мимо стоящего в пробке автомобиля наблюдателя снизилась с 1000 Гц до 900 Гц. Найти скорость автомобиля скорой помощи. Примечание: скорость звука в атмосфере равна 340 м/с.

Задача 5. Найти энергию основного состояния системы электрон-позитрон. Пояснение: позитрон имеет такую же массу, как и электрон, а его заряд положителен и по абсолютной величине равен заряду электрона.

Билет 1, решения

Задача 1. Масса атома водорода равна $m_H = 1,67 \cdot 10^{-24}$ г, масса изотопа ^{35}Cl равна $m_{Cl} = 58 \cdot 10^{-24}$ г. Приведенная масса молекулы равна

$$m = \frac{m_H m_{Cl}}{m_H + m_{Cl}},$$

$m = 1,6 \cdot 10^{-24}$ г. Упругая константа равна $k = m\omega^2 = 1,3 \cdot 10^4$ г/с².

Задача 2. Давление газа можно найти по формуле $P = \nu RT/V$, где ν – число молей газа, R – газовая постоянная, T – температура, V – объем. Если суммарно вначале в системе было ν_0 молей газа, то $\nu_0/2$ приходилось на водород и $\nu_0/2$ на азот. В результате реакции молекул водорода в системе не осталось, а образовалось $\nu_0/3$ молей аммиака. Азот был израсходован частично, осталось $\nu_0/3$ молей азота. Таким образом, после реакции в системе будет $2\nu_0/3$ молей (аммиак + азот). Считая, что температуры смеси до и после реакции одинаковы, мы приходим к выводу, что давление после реакции будет $2/3$ от исходного.

Задача 3. При вращении кольца возникает ток $I = \lambda R\omega$, где λ – линейная плотность заряда, R – радиус кольца и ω – угловая скорость. Используя закон Био - Савара - Лапласа, находим индукцию магнитного поля в центре кольца $B = \mu_0 I / (2R) = \mu_0 \lambda \omega / 2$. Подставляя сюда значения, данные в задаче, находим $B = 0,95 \cdot 10^{-10}$ Тл.

Задача 4. В силу эффекта Допплера воспринимаемая частота равна $(1 + v/c)\omega_0$, если источник приближается со скоростью v к наблюдателю, и $(1 - v/c)\omega_0$, если источник удаляется со скоростью v от наблюдателя. Здесь ω_0 – частота сигнала, который испускает автомобиль скорой помощи, а c – скорость звука. Таким образом, отношение частот равно $(c - v)/(c + v)$. Приравнявая эту величину к 0,9 (в соответствии с условием), находим $v = 18$ м/с или $v = 65$ км/ч.

Задача 5. Взаимодействие электрона и позитрона имеет такой же характер, как и взаимодействие электрона с протоном в атоме водорода. В силу того, что масса протона намного больше массы электрона m_e , приведенная масса системы протон-электрон практически совпадает с массой электрона m_e . Приведенная же масса системы позитрон-электрон равна $m = m_e/2$. Таким образом, в выражении для энергии основного состояния атома водорода $m_e e^4 (8h^2 \epsilon_0^2)^{-1}$ массу электрона m_e надо заменить на $m = m_e/2$, что даст величину в два раза меньше, чем у атома водорода, то есть 6,8 эв.

Билет 2

Задача 1. Нейтрон распадается на протон, электрон и электронное антинейтрино. Найти импульс антинейтрино, считая его массу покоя равной нулю в случае, когда возникший протон неподвижен. Примечание: масса нейтрона равна 1 838,68 массы электрона, а масса протона равна 1836,15 массы электрона.

Задача 2. В двух сосудах объемом по 10 л при нормальных условиях находятся водород (в одном сосуде) и азот (в другом сосуде). Как изменится энтропия системы, если открыть кран на трубке, соединяющей сосуды?

Задача 3. Найти энергию взаимодействия молекулы монооксида углерода с плоской металлической поверхностью, если она расположена от поверхности на расстоянии 10 нм, а ее дипольный момент параллелен поверхности. Примечание: дипольный момент молекулы монооксида углерода равен $4 \cdot 10^{-31}$ Кл · м.

Задача 4. При нормальном падении света на бензиновую пленку на поверхности воды она выглядит зеленой. Найти минимальную толщину пленки. Показатель преломления бензина считать равным $n = 1,5$, а длину волны зеленого цвета в вакууме равной 510 нм.

Задача 5. При переходе электрона с первого на основное состояние во внешнем магнитном поле излучается фотон с энергией 0,001 эв. Найти величину магнитного поля.

Билет 2, решения

Задача 1. Поскольку протон неподвижен, импульсы электрона и антинейтрино равны по величине и противоположны по направлению. Они же уносят выделившуюся энергию, которая равна Δmc^2 , где $\Delta m = 2,53 \cdot m_e$ – разница масс нейтрона и протона, а c – скорость света. Поэтому баланс энергии имеет вид $pc + \sqrt{m_e^2 c^4 + p^2 c^2} = \Delta mc^2$, где p – импульс антинейтрино. Отсюда находим $p = [(\Delta m)^2 - m_e^2]c / (2\Delta m) = 1,07 \cdot m_e c = 2,9 \cdot 10^{-22}$ Кг м/с.

Задача 2. Температура не изменится, а парциальное давление каждого газа уменьшится вдвое. Поэтому изменение энтропии на один моль равно $-R \ln(P_2/P_1) = R \ln 2$. Эту величину надо умножить на число молей, которое равно отношению объема 20 л к объему одного моля при нормальных условиях 22,4 л. Итого находим $\Delta S = 5,1$ Дж/К.

Задача 3. Поле, которое создает заряд, индуцированный на металлической поверхности, эквивалентен диполь-отражению, имеющему дипольный момент, противоположный дипольному моменту молекулы и расположенного на том же расстоянии от поверхности, что и молекула. В данной геометрии энергия взаимодействия диполей равна $-d^2/[4\pi\epsilon_0(2r)^3]$, где d – величина дипольного момента молекулы, а r – расстояние от молекулы до поверхности. В результате находим энергию $-1,8 \cdot 10^{-28}$ Дж.

Задача 4. При прохождении света с преломлением на верхней границе и отражении на нижней границе набирается разность оптического хода $2hn/\lambda$, где $\lambda = 510$ нМ – длина волны в вакууме, а h – толщина пленки. С учетом “потери полуволны” разность оптического хода должна быть полуцелым числом. Таким образом, минимальная толщина пленки, соответствующая разности хода $1/2$, равна $h_{min} = \lambda/(4n) = 85$ нМ.

Задача 5. Расстояние между соседними уровнями электрона в магнитном поле равно $\Delta E = \hbar\omega_c$, где $\omega_c = eB/m_e$ – циклотронная частота. Таким образом, $B = m_e\Delta E/\hbar e$. Подставляя сюда все значения, находим $B = 9$ Тл.