

Полусеместровая к/р по общей физике,

5 семестр, группа 625, 22.10.2018

Правила оценивания: 4 задачи по 3 балла за задачу. Баллы суммируются непосредственно в десятичную оценку, баллы выше 10 округляются

Задача 1 (осциллятор)

Гравитационные волны, обнаруженные детектором LIGO, фиксировались как эффективное изменение расстояния между зеркалами интерферометра на величину порядка $4 \times 10^{-18} \text{ м}$ (10^{-21} от плеча интерферометра, равного 4 км). Зеркало интерферометра весит около 40 кг и имеет длину подвеса (последнее «плечо» многоступенчатого подвеса) около 1 м (поперечный размер зеркала считаем малым).

а) Оценить амплитуду нулевых колебаний (среднеквадратичную отклонение в основном состоянии) такого зеркала.

б) При какой температуре зеркала его равновесные тепловые колебания (как маятника) имели бы ту же амплитуду, что и детектируемое изменение расстояния.

Задача 2 (АЧТ)

В вакуумной печи раскалён до температуры 2000К шар из ванадия массой 100 грамм. При выключении нагрева он начинает медленно остывать. Оценить время остывания до температуры 600 К. Считать, что после выключения нагрева стенки печи быстро принимают комнатную температуру, а вакуум сохраняется. Для оценки принять, что теплоёмкость в этом интервале температур постоянна и определяется законом дюЛонга и Пти (теоремой о равномерном распределении). Плотность ванадия 6 г/см^3 . Теплоотвод чисто радиационный, принять для оценки, что металл отражает 95% излучения во всём спектре.

Задача 3 (атом водорода)

В полупроводнике электрон не является свободной частицей, но многие эффекты взаимодействия электрона с ионным остовом кристалла можно описать перенормировкой его массы. Эта эффективная масса входит во все уравнения как обычная масса частицы.

При внутреннем фотоэффекте в полупроводнике GaAs происходит переход электрона из валентной зоны в зону проводимости полупроводника, который формально можно описать, как появление в кристалле двух новых «частиц»: отрицательно заряженного «электрона» с эффективной массой $m_e = 0.063 m_0$ и положительно заряженной «дырки» с эффективной массой $m_h = 0.51 m_0$ или $0.082 m_0$ (тяжёлая и лёгкая «дырки»), здесь m_0 — масса свободного электрона. Притяжение между этими частицами позволяет создать водородоподобное состояние, называемое экситоном.

а) Для какой пары: «электрон+лёгкая дырка» или «электрон+тяжёлая дырка» энергия связанного водородоподобного состояния окажется ниже.

б) Оценить размер такого экситона (с минимальной энергией основного состояния) в основном состоянии. Учесть, что диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon \approx 10$.

в) Найти длину волны кванта электромагнитного излучения, при поглощении которого экситон распадётся на свободные «частицы» (аналог ионизации атома). Учесть, что диэлектрическая проницаемость среды $\epsilon \approx 10$.

Задача 4 (потенциальные ямы, туннелирование, соотн. неопределённости)

В физике и технике полупроводников есть способы получения двумерного электронного газа. В такой системе во многих случаях можно считать, что есть только две координаты, доступные для движения электрона (X и Y). Приложением к такому газу электрического поля от расположенного рядом электрода можно вытеснять электроны из двумерного слоя, ограничивая область его существования — то есть создавая двумерную потенциальную яму контролируемого размера и формы.

Так как электрон в полупроводнике не является свободной частицей, он описывается эффективной массой, равной для распространённого в таких опытах полупроводника GaAs $m_e = 0.063 m_0$, здесь m_0 — масса свободного электрона.

а) считая созданные стенки высокими, найти уровни энергии в квадратной двумерной потенциальной яме $U(x, y) = \begin{cases} 0, & |x|, |y| < a/2 \\ \infty, & \text{иначе} \end{cases}$, здесь $a = 100 \text{ нм}$ размер ямы. Ответ — в эВ.

б) Оценить время жизни и ширину основного состояния электрона, пойманного в такой яме, если реальная высота барьера в 10 раз превышает энергию основного состояния, а ширина барьера 10 нм, после чего потенциал вновь опускается до нулевого уровня. Проницаемость барьера мала.