

# «Основы современной физики», контрольная работа по второму заданию, 03.05.2022

## Задача 1 (2 балла)

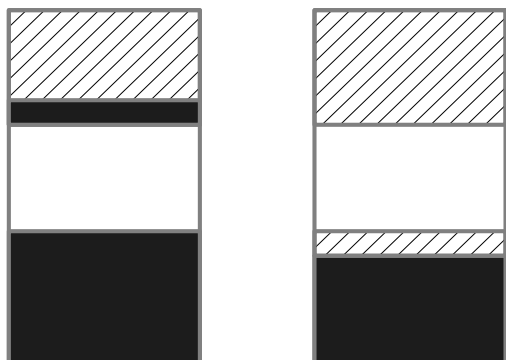


Рисунок 1: К условию задачи 1

Туннельный диод образуется при контакте двух полупроводников с очень сильным уровнем легирования  $N \sim 10^{17} \text{ 1/см}^3$ : при столь сильном легировании донорными примесями даже при  $T=0$  образуется небольшое количество электронов в зоне проводимости, а при легировании акцепторными примесями — небольшое количество вакансий в валентной зоне. Энергетические диаграммы контактов показаны на рисунке 1.

Построить схематически вольт-амперную характеристику такого перехода при  $T=0$ . Ширина запрещенной зоны родительского материала  $\Delta = 1 \text{ эВ}$ , считать, что граница заполненных состояний в легированных полупроводниках находится на расстоянии  $0.1\Delta$  от дна зоны проводимости (для легирования n-типа) или потолка валентной зоны (для легирования p-типа). Ширина валентной зоны и зоны проводимости много больше ширины запрещенной зоны.

Указание: Построение подразумевает указание конкретных напряжений для характерных точек по оси напряжений, но зависимость  $I(U)$  строится качественно (вычислять не надо!). Полное решение подразумевает построение энергетических диаграмм перехода на характерных участках ВАХ и необходимые комментарии

## Задача 2 (2 балла)

В экспериментальной физике низких температур одним из способов осуществления контролируемого теплового контакта между «образцом» и криостатом является использование так называемого «сверхпроводящего теплового ключа»: «образец» соединяется с криостатом проволочкой из сверхпроводящего материала, теплопроводность которой сильно зависит от того, находится она в нормальном или сверхпроводящем состоянии. Переключение ключа можно осуществлять, например, прилагая магнитное поле  $H > H_c$ .

а) В каком состоянии (нормальном или сверхпроводящем) теплопроводность проволочки больше при  $T \ll T_c$ ? (Ответ должен быть обоснован.)

б) Для проволочки теплового ключа, сделанной из свинца с  $T_c = 7.2 \text{ К}$  оценить отношение теплопроводностей проволочки в сверхпроводящем состоянии при температурах  $T_1 = 0.5 \text{ К}$  и  $T_2 = 1.0 \text{ К}$ .

### Задача 3 (3 балла)

Пусть имеется одномерный проводник, реализованный как сужение двумерной системы в GaAs (эффективная масса носителей  $m=0.067$  массы свободного электрона, диэлектрическая проницаемость 12.5, электронную плотность принять равной  $n=10^{12} \text{ см}^{-2}$ ).

При ширине проводника  $d=30 \text{ нм}$  в нулевом магнитном поле наблюдается квантование одномерной проводимости, связанное с конечным числом заполненных уровней размерного квантования.

Оценить, в каком магнитном поле, перпендикулярном оси проводника, этот эффект пропадёт.

Указание: в квазиклассическом рассмотрении размерное квантование в поперечном направлении связано с формированием стоячей волны де Бройля, а в магнитном поле «прямолинейное» распространение волн де Бройля сменяется циклотронным движением.

Комментарий: задача на очень грубую оценку, правильные ответы могут отличаться в 10 раз в зависимости от используемого критерия (который нужно сформулировать).

### Задача 4 (3 балла)

В некотором кристалле из-за особенностей перекрытия волновых функций электронов на магнитных ионах  $\text{Cu}^{2+}$  сформировалась «спиновая цепочка»: одномерная система спинов  $S=1/2$ , описываемая квантовым гамильтонианом

$$\hat{H} = \sum_i \left( J_1 \hat{S}_i \hat{S}_{i+1} + J_2 \hat{S}_i \hat{S}_{i+2} \right) - 2 \mu_B B \sum_i \hat{S}_{iz}, \quad \text{где обменные интегралы } J_1 = -2 \text{ мЭВ и } J_2 = 1 \text{ мЭВ}.$$

При  $T=0$  в некотором поле  $B_0$  намагниченность достигает максимально возможного значения (насыщения).

а) (2 балла) Найти спектр элементарных возбуждений при  $B > B_0$ , построить схематический график.

б) (1 балл) Найти, чему равно поле насыщения  $B_0$ .