

## Решения задания к лекции №10

### Задача 1.

Плотность жидкого гелия равна  $0.12 \text{ г/см}^3$ . В приближении идеального газа оценить температуру при которой длина волны де Бройля атома гелия становится сравнима с расстоянием между атомами. Сравнить ответ с температурой перехода в сверхтекучее состояния (2.2К).

#### Решение.

Оценим межатомное расстояние. Для этого посчитаем сначала объем, приходящийся в жидком гелии на один атом, он будет порядка куба межатомного расстояния  $a^3$ :

$$a^3 = \frac{M_{\text{He}}}{\rho N_A} = \frac{4 \frac{\text{г}}{\text{моль}}}{0.12 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \times 6 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}} = 5.6 \cdot 10^{-23} \text{ см}^{-3} .$$

Отсюда оценка для межатомного расстояния  $a = 0,38 \text{ нм}$

В приближении идеального газа энергия одного атома  $\frac{p^2}{2m} = \frac{3}{2} kT$  , тогда длина волны

деБройля для атома гелия:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{3mkT}} .$$

Отсюда температура при которой  $a \approx \lambda$  :

$$T = \frac{1}{3mk} \left( \frac{h}{a} \right)^2 = \frac{N_A}{3M_{\text{He}}k} \left( \frac{h}{a} \right)^2 \approx 14 \text{ K}$$

### Задача 2.

К туннельному контакту двух сверхпроводников (сверхпроводник-изолятор-сверхпроводник) приложено напряжение 1 мВ. Найдите частоту излучаемых электромагнитных волн при протекании джозефсоновского туннельного тока через такой контакт.

#### Решение.

Носителями заряда в сверхпроводнике являются связанные состояния электронов: куперовские пары. Они могут существовать только в сверхпроводнике, слой изолятора является для них потенциальным барьером. Однако согласно законам квантовой физики возможно туннелирование через запрещённую область.

При наличии напряжения между «берегами» джозефсоновского контакта при таком туннелировании куперовская пара должна изменить свою энергию. От избытка энергии она избавляется излучением электромагнитной волны:

$$h\nu = 2eU ; \nu = \frac{2eU}{h} = 5 \cdot 10^{11} \text{ Гц} = 500 \text{ ПГц} .$$