

Задача 9-2 Сравним амперы с ньютонами!

1. Для определения среднего расстояния r между центрами соседних ионов меди в решетке найдем их количество N в куске меди единичного объема

$$N = \frac{\gamma}{m_0}. \quad (1)$$

Тогда можно считать, что на один ион в среднем будет приходиться кубик объемом

$$V_0 = \frac{1}{N} = \frac{m_0}{\gamma} \quad (2)$$

Длина ребра такого кубика даст искомое расстояние между центрами соседних ионов меди в решетке

$$r = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{\frac{m_0}{\gamma}} = \sqrt[3]{\frac{1,1 \cdot 10^{-25}}{8,96 \cdot 10^3}} (\text{м}) = 2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 2,3 \text{ \AA} \quad (3)$$

Для сравнения заметим, что размер (диаметр) атома водорода по порядку величины равен одному ангстрему $\approx 1 \text{ \AA}$.

2. Так каждый атом отдает один электрон, то концентрация электронов равна концентрации атомов, поэтому

$$n = \frac{\gamma}{m_0} = \frac{8,96 \cdot 10^3}{1,1 \cdot 10^{-25}} \text{ м}^{-3} = 8,1 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3} = 8,1 \cdot 10^{22} \text{ см}^{-3} \quad (4)$$

3. При протекании электрического тока через поперечное сечение проводника площадью S за промежуток времени Δt при средней скорости направленного движения свободных электронов u пройдет заряд

$$q = eN = enV = enSu \Delta t. \quad (5)$$

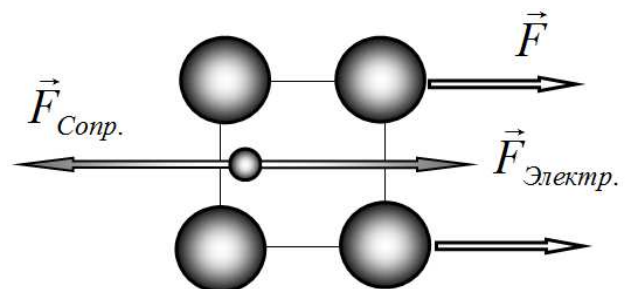
Согласно определению силы тока имеем

$$I = \frac{q}{\Delta t} = enSu \Rightarrow u = \frac{I}{enS} = \frac{1,0}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,1 \cdot 10^{28} \cdot 1,0 \cdot 10^{-6}} \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7,7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (6)$$

Как видим, скорость направленного движения свободных электронов при протекании тока весьма мала, что вполне понятно с учетом большого значения их концентрации.

4. Рисунок иллюстрирует общую схему расчета сил:

- не знаем, как рассчитать силу сопротивления, но знаем характеристику электрической силы (напряжение);
- так как средняя скорость электронов равна нулю, то средняя силы сопротивления равна по модулю силе электрической (2 закон Ньютона);
- по 3 закону Ньютона, сила, с которой решетка действует электроны, по модулю равна силе, с которой электроны действуют на решетку.



Для оценки средней силы F_0 , действующей на электрон со стороны электрического поля, воспользуемся определением напряжения и запишем выражение для работы электрических сил на участке проводника длиной l

$$A = eU = eIR = eI\rho \frac{l}{S}. \quad (7)$$

Такую же работу (но с противоположным знаком) совершает силы сопротивления

$$A = F_0 l \quad (8)$$

Сравнивая полученные выражения, найдем

$$F_0 = \frac{eI\rho}{S} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,0 \cdot 0,017 \cdot 10^{-6}}{1,0 \cdot 10^{-6}} = 2,7 \cdot 10^{-21} \text{ Н} \quad (9)$$

5. По третьему закону Ньютона сила, с которой решетка действует на электрон, по модулю равна силе, с которой электрон действует на решетку. Поэтому суммарная сила, действующая на кусок провода длиной со стороны электронов l равна произведению силы, действующей на один электрон, на число электронов в данном куске провода:

$$F = NF_0 = nVF_0 = nleI\rho = 8,1 \cdot 10^{28} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,0 \cdot 0,017 \cdot 10^{-6} = 2,2 \text{ Н} \quad (10)$$

Под действием такой силы участок провода приобрел бы ускорение

$$a = \frac{F}{m} = \frac{F}{\gamma S l} = \frac{2,2}{8,96 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 2,5 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \quad (11)$$

Но эта сила никак не проявляется, потому, что стороны электрического поля такая же по модулю сила, но направленная в противоположную сторону, действует со стороны электрического поля на ионы кристаллической решетки.