



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Подвижные наночастицы

Максимальное воздействие рентгеновского излучения будет осуществляться в случае выполнения условия дифракции, так как именно в таких условиях будет отражаться максимальная доля падающего излучения, и, следовательно, наночастица получит максимальную «отдачу». Условие дифракции (условие Вульфа-Брэгга):

$$2d\sin\theta_{\text{диф}} = n\lambda$$

где d – межплоскостное расстояние, $\theta_{\text{диф}}$ – угол скольжения падающего луча, n – порядок дифракции, λ – длина волны. Для рассматриваемой в задаче наночастицы d совпадает с постоянной решетки a . В свою очередь, наибольшее отражение будет наблюдаться в первом порядке дифракции, т.е. $n = 1$.

Определим угол скольжения падающего излучения $\theta_{\text{диф}}$, при котором выполняется условие Вульфа-Брэгга:

$$\sin\theta_{\text{диф}} = \frac{\lambda}{2d} \approx 0.3$$

Фотон рентгеновского излучения обладает импульсом:

$$p = \frac{h}{\lambda} \approx 3.3 \cdot 10^{-24} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$$

где h – постоянная Планка.

Отражаясь под тем же углом $\theta_{\text{диф}}$ каждый падающий фотон излучения изменяет свой импульс на величину:

$$\Delta p = 2 \frac{h}{\lambda} \sin\theta_{\text{диф}},$$

При этом этот вектор перпендикулярен к поверхности наночастицы и направлен от нее. Так как взаимодействие упругое (длина волны не изменяется), то такой же по величине и противоположный по направлению импульс получает наночастица в виде отдачи.

По второму закону Ньютона сила воздействия со стороны каждого кванта рентгеновского излучения в единицу времени Δt может быть выражена как $F_i = \frac{\Delta p}{\Delta t}$. Результирующая максимальная сила давления со стороны N отраженных фотонов (поток $n_{\text{max}} = N/\Delta t$) будет равна:

$$F_{\text{summ}} = N \frac{\Delta p}{\Delta t} = n_{\text{max}} \Delta p = 2n_p \frac{h}{\lambda} \sin\theta_{\text{диф}} \approx 2 \cdot 10^{-12} \text{ Н} = 2 \text{ пН}$$