



Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)
Решение задачи 8. Флуоресцентная наноскопия

1. Флуоресценция – процесс излучения кванта света при спонтанном переходе электрона с возбуждённого уровня на основной. Поскольку при этом энергия фотона равна энергии электронного перехода, то

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{hc}{E}$$
$$\lambda = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{2,35 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} \approx 5,3 \cdot 10^{-7} \text{ м} = 530 \text{ нм}$$

Следовательно, изображение будет зелёного цвета.

Для осуществления электронного перехода с основного на возбуждённый уровень необходимо поглощение фотона с энергией, не меньшей 2,35 эВ. Энергия фотона с длиной волны 514,5 нм равна

$$E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{514,5 \cdot 10^{-9} \text{ м}} \approx 3,86 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 2,41 \text{ эВ.}$$

Поскольку энергия такого фотона превышает энергию электронного перехода, аргонный лазер в качестве источника возбуждающего излучения использовать можно.

Энергия фотона с длиной волны 632,8 нм равна

$$E = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{632,8 \cdot 10^{-9} \text{ м}} \approx 3,14 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} \approx 1,96 \text{ эВ.}$$

Поскольку энергия такого фотона меньше энергии электронного перехода, гелий-неоновый лазер в качестве источника возбуждающего излучения использовать нельзя.

2. Метод флуоресцентной наноскопии позволяет визуализировать только ту область исследуемого объекта, где интенсивность возбуждающего лазера (синяя линия на рисунке) превышает интенсивность дополнительного лазера (красная линия на рисунке). В противном случае происходит подавление спонтанной флуоресценции, и изображение не формируется. Согласно приведённому рисунку, интенсивность возбуждающего лазера превышает интенсивность дополнительного лазера с координаты 150 нм до координаты 250 нм. Таким образом, минимальный размер объекта, который можно просканировать и получить чёткое изображение в таком наноскопе, равен 250 нм – 150 нм = 100 нм. Меньшие объекты рассмотреть невозможно вследствие дифракционного предела.

3. Поскольку классический флуоресцентный микроскоп является оптическим, то минимальный размер объекта, который можно в него рассмотреть, ограничивается дифракционным пределом, то есть примерно половиной от длины волны видимого света. Таким образом, минимальный размер объекта равен примерно 200 нм (половина длины волны фиолетового света), поэтому нанобъект размером 110 нм с его помощью рассмотреть невозможно. Однако флуоресцентная наноскопия позволяет увеличить разрешение вследствие локального подавления флуоресценции вспомогательным излучением. Согласно результату, полученному в предыдущем пункте, минимальный размер объекта, который можно просканировать и получить чёткое изображение в таком наноскопе, составляет примерно 100 нм, поэтому предложенный нанобъект размером 110 нм исследовать можно.