

## Практическое занятие 4

### Волновая природа вещества. Соотношение неопределенности Гейзенберга.

1. Вычислить длину волны де Бройля для: а) пылинки диаметром  $d=1$  мкм и массой  $m=10^{-15}$  кг, движущейся со скоростью  $v=1$  мм/с; б) теплового нейтрона ( $r_n \approx 10^{-15}$  м;  $m_n=1.67 \times 10^{-27}$  кг) скорость которого соответствует температуре  $T=300$  К; в) электрона ( $m_e=0.9 \times 10^{-30}$  кг), прошедшего разность потенциалов  $V=10$  кВ, 500 кВ; г) электрона в ускорительном пучке, энергия которого равна  $10^9$  эВ; молекулы фуллерена  $C_{60}$ , ( $d=1$  нм,  $m=720 m_p$ ) скорость которой соответствует температуре  $T=1000$  К.
2. Найти ширину дифракционного пятна  $\Delta x$  и разброс поперечного импульса  $\Delta p$  при дифракции молекул фуллерена  $C_{60}$ , ( $d=1$  нм,  $m=720 m_p$ ), скорость которых соответствует температуре  $T=1000$  К, на щели, ширина которой составляет 0.05 мкм. Расстояние от щели до экрана  $L=1.5$  м.
3. Какую энергию  $\Delta E$  надо сообщить нерелятивистскому электрону, чтобы его дебройлевская длина волны  $\lambda$  уменьшилась  $n=2$  раза? (**Ир. Кв. физ. 3.1**)
4. Параллельный пучок нерелятивистских электронов, ускоренных разностью потенциалов  $V=1$  кВ, падает на диафрагму с двумя узкими щелями, расстояние между которыми  $d=1$  мкм. Определить расстояние между соседними максимумами интерференционной картины на экране, расположенном на расстоянии  $L=1$  м от щелей. (**Ир. Кв. физ. 3.1; Чертов 45.12**)
5. С какой скоростью движется электрон, если его дебройлевская длина волны  $\lambda$  равна его комптоновской длине волны  $\lambda_c$ ? (**Ир. Кв. физ. 3.4; Чертов 45.8**).
6. Используя соотношение неопределенностей  $\Delta x \Delta p \geq h/2\pi$ , оценить минимальную кинетическую энергию: а) электрона в атоме водорода; б) нуклона в ядре. Принять линейные размеры атома водорода и ядра  $a \approx 0.1$  нм и  $a \approx 5 \times 10^{-15}$  м, соответственно. (**Чертов 45.27; Ир. Кв. физ. 2.39**)
7. Используя соотношение неопределенностей  $\Delta x \Delta p \geq h/2\pi$ , найти расстояние электрона от ядра и энергию связи электрона в основном состоянии (**Ир. Кв. физ. 2.47**).
8. Пусть в начальный момент времени квантовая частица заперта в кубе со стороной  $a=0.1$  нм. С помощью соотношения неопределенностей оценить минимальный разброс по скоростям  $\Delta v$  этой частицы. Оценить область локализации этой частицы через время  $t=1$  с после того как стенки куба будут удалены и частица станет свободной. Расчеты провести для электрона и для протона (**Ир. Кв. физ. 2.38**).
9. О траектории квантовой частицы можно говорить, если ее продольный импульс  $p$  много больше неопределенности поперечного импульса  $\Delta p$  ( $p \gg \Delta p$ ). С помощью принципа неопределенности покажите, что при выполнении этого условия область локализации частицы в поперечном направлении  $\Delta x \gg \lambda/2\pi$ , где  $\lambda=h/p$ -дебройлевская длина волны частицы. Покажите, что оба эти условия ( $p \gg \Delta p$  и  $\Delta x \gg \lambda/2\pi$ ) выполняются для электрона в камере Вильсона, прямолинейная траектория которого представляет цепочку малых капелек тумана размером  $d=1$  мкм. Кинетическую энергию электрона принять равной  $K=1$  кэВ. (**Ир. Кв. физ. 2.42**).
10. Ускоряющее напряжение на электронно-лучевой трубке  $U=10$  кВ. Расстояние от электронной пушки до экрана  $l=20$  см. Оценить неопределенность координаты электрона на экране, если след электронного пучка на экране имеет диаметр  $d=0.5$  мм. (**Ир. Кв. физ. 2.43**).