

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 Δx и разброс поперечного импульса Δp 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 ΔE надо сообщить нерелятивистскому электрону, чтобы его дебройлевская длина волны λ 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 λ равна его комптоновской длине волны λ_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 Δv 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 Δp ($p \gg \Delta p$). 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).