

# Атомная физика

## Индивидуальное задание №4

### Вариант № 1

1. Предполагая, что неопределенность координаты движущейся частицы равна дебройлевской длине волны, оцените относительную неточность  $\Delta p/p$  импульса этой частицы. [ $\Delta p/p \approx 16\%$ ]
2. Оцените размытость энергетического уровня в атоме водорода: 1) для основного состояния; 2) для возбужденного состояния (время жизни  $\tau$  равно  $10^{-8}$  с). Принять, что  $\Delta t = \tau$ . [1)  $\Delta t = \infty$ ,  $\Delta E = 0$ ; 2)  $\Delta E \approx 0,06$  мкэВ]
3. Найдите дебройлевскую длину волны протонов, если при попадании в поперечное магнитное поле с индукцией 0,10 Тл радиус кривизны их траектории равен 23 мм. [1,8 пм]
4. Определите, как изменится длина волны де Бройля электрона атома водорода при переходе его с четвертой боровской орбиты на вторую. [ $\lambda_4/\lambda_2 = 2$ ]

## Вариант № 2

1. Принимая, что электрон находится внутри атома радиусом  $r = 0,15$  нм, оцените неопределенность энергии электрона. Принять, что  $\Delta r \approx r$ ;  $\Delta p \approx p$ . [ $\Delta E \approx 0,42$  эВ]
2. Электрон с кинетической энергией 15 эВ находится в металлической пылинке радиусом  $r = 0,5$  мкм. Оцените относительную неточность  $\Delta v/v$ , с которой может быть определена скорость электрона. Принять, что  $\Delta r \approx r$ . [ $\Delta v/v \approx 10^{-4}$ ]
3. Определите длину волны де Бройля электрона, находящегося в атоме водорода на третьей боровской орбите. [1 нм]
4. При каком значении кинетической энергии дебройлевская длина волны электрона равна его комптоновской длине волны? [ $T = (\sqrt{2} - 1)mc^2$ ]

### Вариант № 3

1. Покажите, что для частицы, неопределенность местоположения которой  $\Delta x = \lambda/(2\pi)$ , где  $\lambda$  – ее дебройлевская длина волны, неопределенность скорости равна скорости частицы.
2. Ширина  $l$  следа электрона, обладающего кинетической энергией 1,5 кэВ, на фотопластинке, полученной с помощью камеры Вильсона, равна 1 мкм. Определите, можно ли по данному следу обнаружить отклонение в движении электрона от законов классической механики. Принять, что  $\Delta r \approx l$ . [ $\Delta p/p \ll 1$ , нет]
3. Определите длину волны де Бройля электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов 150 В. [0,1 нм]
4. Параллельный поток моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму с узкой прямоугольной щелью шириной  $b = 1,0$  мкм. Определите скорость этих электронов, если на экране, отстоящем от щели на расстоянии  $l = 50$  см, ширина  $\Delta x$  центрального дифракционного максимума равна 0,36 мм.

$$[v = 4\pi\hbar \dots] = 1,97 \cdot 10^6 \text{ м/с}]$$

### Вариант № 4

1. Электрон находится в одномерной потенциальной яме с бесконечно высокими стенками. Ширина ямы  $L$ . Оцените с помощью соотношения неопределенностей силу давления электрона на стенки этой ямы при минимально возможной энергии.  $[F \approx \hbar^2/(mL^3)]$

2. Время излучения атомом фотона  $10^{-8}$  с. С какой неопределенностью  $\Delta x$  может быть локализован фотон в направлении своего движения?

$$[\Delta x \approx c\tau = 3 \text{ м}]$$

3. Какую энергию  $\Delta E$  необходимо сообщить нерелятивистскому электрону, чтобы его дебройлевская длина волны  $\lambda$  уменьшилась в  $n$  раз?

$$[\Delta E = \frac{2\pi^2\hbar^2}{m\lambda^2}(n^2 - 1)]$$

4. На грань кристалла никеля падает параллельный пучок электронов. Кристалл поворачивают так, что угол скольжения изменяется. Когда этот угол становится равным  $64^\circ$ , наблюдается максимальное отражение электронов, соответствующее дифракционному максимуму первого порядка. Принимая расстояние между атомными плоскостями кристалла равным 200 пм, определите для электронов длину волны де Бройля и их скорость. [360 пм; 2 Мм/с]

### Вариант № 5

1. Ширина  $l$  следа электрона на фотографии, полученного с помощью камеры Вильсона, равна  $10^{-3}$  м. Оцените неопределенность  $\Delta v$  его скорости. Принять  $\Delta r \approx l$ . [ $\Delta v \approx 0,116$  м/с]
2. Оцените неопределенность скорости  $\Delta v$  электрона в атоме водорода, полагая, что размер атома  $r = 0,10$  нм. Принять  $\Delta r \approx r$ . Сравните полученную величину со скоростью  $v_1$  электрона на первой боровской орбите. [ $\Delta v \approx 1,15 \cdot 10^6$  м/с;  $v_1 = 2,2 \cdot 10^6$  м/с]
3. В опыте Дэвиссона и Джермера, обнаруживших дифракционную картину при отражении пучка электронов от естественной дифракционной решетки-монокристалла никеля, оказалось, что в направлении, составляющем угол  $\alpha = 60^\circ$  с направлением падающих электронов, наблюдается максимум отражения четвертого порядка ( $k = 4$ ). Определите кинетическую энергию электронов, если расстояние между кристаллографическими плоскостями никеля составляет 0,2 нм. [201 эВ]
4. Параллельный пучок электронов, ускоренных разностью потенциалов  $U = 25$  В, падает нормально на диафрагму с двумя узкими щелями, расстояние между которыми  $d = 50$  мкм. Определите расстояние между соседними максимумами дифракционной картины на экране, расположенном на расстоянии  $L = 100$  см от щелей.

$$[ \Delta x = 2\pi\hbar \sqrt{neU} ] = 4,9 \text{ мкм } ]$$

### Вариант № 6

1. Оцените минимальную кинетическую энергию электрона, локализованного в области размером  $r = 0,20$  нм. Принять, что  $\Delta r \approx r$ ;  $\Delta p \approx p$ .  
[ $T_{\text{мин}} \approx 1$  эВ]
2. Применяя соотношение неопределенностей, покажите, что для движущейся частицы, неопределенность координаты которой равна длине волны де Бройля, неопределенность скорости равна скорости частицы.
3. На пути электрона с дебройлевской длиной волны  $0,1$  нм находится потенциальный барьер высотой  $120$  эВ. Определите длину волны де Бройля после прохождения барьера. [218 пм]
4. Электрон движется по окружности радиусом  $0,5$  см в однородном магнитном поле с индукцией  $8$  мТл. Определите длину волны де Бройля. [0,1 нм]

### Вариант № 7

1. Электрон движется в атоме водорода по первой боровской орбите радиусом  $r_1 = 0,528 \text{ \AA}$ . Принимая, что допускаемая неточность импульса составляет 10 % от его числового значения, оцените неопределенность координаты электрона. Принять  $\Delta r \approx r_1$ . Применимо ли в данном случае для электрона понятие «траектория»?

$$[\Delta r = 5,28 \text{ \AA} \gg r_1 = 0,528 \text{ \AA}, \text{ нет}]$$

2. Оцените размытость энергетического уровня в атоме аргона: 1) для возбужденного состояния (время жизни  $\tau_1$  равно  $10^{-8}$  с); 2) для метастабильного состояния (время жизни  $\tau_2$  равно 2 с). Принять, что  $\Delta t = \tau$ . [1) 6,6 нэВ; 2)  $3,3 \cdot 10^{-16}$  эВ]
3. Какую энергию  $\Delta E$  необходимо сообщить нерелятивистскому электрону, чтобы его дебройлевская длина волны  $\lambda$  уменьшилась в  $n$  раз?

$$[\Delta E = \frac{2\pi^2 \hbar^2}{m\lambda^2} (n^2 - 1)]$$

4. Моноэнергетический пучок нейтронов, получаемый в результате ядерной реакции, падает на кристалл с периодом  $d = 0,15$  нм. Определите скорость нейтронов, если брэгговское отражение первого порядка наблюдается, когда угол скольжения  $\vartheta = 45^\circ$ .

$$[v = h/(2md \sin \vartheta) = 1,87 \cdot 10^3 \text{ м/с}]$$

### Вариант № 8

1. Частица массой  $m$  находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной  $L$  с бесконечно высокими стенками. Оцените с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию частицы. Принять, что  $\Delta x \approx L; \Delta p_x \approx p$ . [ $E_{\min} \approx \hbar^2 / (8mL^2)$ ]
2. Оцените наименьшие ошибки, с которыми можно определить скорость электрона, протона и шарика массой 1 мг, если координаты частиц и центра шарика установлены с неопределенностью 1 мкм. [ $\approx 10^2; \approx 10$  и  $\approx 10^{-20}$  см/с]
3. Выведите зависимость между длиной волны де Бройля релятивистского электрона и ускоряющим потенциалом. [ $\lambda = hc / eU(2m_0c^2 + eU)$ ]
4. Параллельный поток моноэнергетических электронов падает нормально на диафрагму с узкой прямоугольной щелью шириной  $b = 2,0$  мкм. Определите скорость этих электронов, если на экране, отстоящем от щели на расстояние  $l = 50$  см, ширина центрального дифракционного максимума равна 0,72 мм.  
[ $v = 4\pi\hbar l / (mb\Delta x) = 2,0 \cdot 10^6$  м/с]

### Вариант № 9

1. Диаметр пузырька в жидко-водородной пузырьковой камере составляет величину порядка  $10^{-7}$  м. Оцените неопределенность определения скоростей электрона и  $\alpha$ -частицы в такой камере, если неопределенность в определении координаты принять равной диаметру пузырька. [ $\Delta v_e \approx 1,16 \cdot 10^3$  м/с;  $\Delta v_\alpha \approx 0,16$  м/с]
2. Оцените неопределенность  $\Delta v$  скорости электрона атома водорода, находящегося на второй боровской орбите. Принять  $\Delta r \approx r$ .  
[ $\Delta v \approx 5 \cdot 10^5$  м/с]
3. Протон движется в однородном магнитном поле с индукцией 15 мТл по окружности радиусом 1,4 м. Определите длину волны де Бройля протона.  
[0,197 пм]
4. Какую энергию  $\Delta E$  необходимо сообщить нерелятивистскому электрону, чтобы его дебройлевская длина волны  $\lambda$  уменьшилась в 3 раза?

$$\left[ \Delta E = \frac{16\pi^2 \hbar^2}{m\lambda^2} \right]$$

### Вариант № 10

1. Оцените относительную неточность, с которой может быть определена скорость электрона атома водорода, находящегося на третьей боровской орбите. Принять  $\Delta r \approx r$ . [ $\Delta v/v \approx 33\%$ ]
2. Электрон с кинетической энергией 15 эВ находится в металлической пылинке радиусом  $r = 0,5$  мкм. Оцените относительную неточность, с которой может быть определена скорость электрона. Принять, что  $\Delta r \approx r$ ,  $\Delta p \approx p$ . [ $\Delta v/v \approx 4 \cdot 10^{-4}$ ]
3. Найдите дебройлевскую длину волны молекул водорода, соответствующую их наиболее вероятной скорости при комнатной температуре. [128 пм]
4. Определите длину волны де Бройля электрона, находящегося в атоме водорода на второй боровской орбите. [0,665 нм]