Корпускулярен – вълнов дуализъм на свойствата на частиците

- *Вълни на дьо Бройл*
  - Свойства на вълните на дьо Бройл
  - Експериментално потвърждение на съществуването им
- *Принцип за неопределеността на Хайзенберг* – съотношения на неопределеност

Хипотеза на дьо Бройл

- Според дьо Бройл (1923 г.), на всяка равномерно движеща се в свободното пространство частица с импулс p и енергия E, се съпоставя *плоска монохроматична вълна* с *дължина на вълната* $\lambda = h/p, h = 6{,}626\cdot 10^{-34}\left[J\cdot s\right]$ и с *честота* $\nu = E/h$.
  - Тази вълна се нарича *вълна на дьо Бройл*

$$E = \hbar\omega;\ p = \hbar k;\ \hbar = h/2\pi$$

  - *Съотношенията за връзките между корпускулярните и вълнови характеристики на частицата съвпадат с тези при фотоните!*
- Форми на израза за дължината на *вълната на дьо Бройл*

$$\lambda = h/p : \begin{cases} p = mu \\ p = \sqrt{2mE_K} \Leftrightarrow E_K = mu^2/2 = p^2/2m \\ p = \sqrt{2meU} \Leftrightarrow E_K = p^2/2m = eU \end{cases}$$

Дължина на *вълната на дьо Бройл*

- Макротяло: разглеждаме слон с маса и скорост съответно,

$$m = 1500\,kg;\, u = 5\,km/h = 1,4\,m/s$$

- За *дължината на вълната на Дьо Бройл* получаваме:

$$\lambda = h/(m\,u) = \frac{\left(6,63\cdot 10^{-34}\,J\cdot s\right)}{\left(1,5\cdot 10^{3}\,kg\right)\left(1,4\,m/s\right)} = 3,2\cdot 10^{-37}\,m$$

Този размер е $\approx 10^{22}$ пъти по-малък от радиуса на атомните ядра. *Не съществува дифракционна решетка, с която да се наблюдава дифракция на такива вълни!*

Дължина на *вълната на дьо Бройл*

- Микрочастица: разглеждаме електрон със скорост :

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} kg; u = 7,3 \cdot 10^6 \, m/s$$

- За *дължината на вълната на дьо Бройл* се получава:

$$\lambda = h/(mu) = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \, J \cdot s}{\left(9,1 \cdot 10^{-31} kg\right)\left(7,3 \cdot 10^{6} \, m/s\right)} \approx 10^{-10} \, m$$

Този размер е от порядъка на междуатомните разстояния в кристалната периодична решетка. Можем да очакваме, че *поток от електрони би дифрактирал в такава решетка като в дифракционна решетка*!?

Принцип за неопределеност на Хайзенберг

- В *класическата механика* движението на частица е напълно определено с помощта на три координати и три компоненти на скоростта (импулса)
  - Ако разполагаме с достатъчно съвършени измервателни прибори можем да измерим тези величини с произволно голяма точност
- За *микрочастиците* е валиден *принципа за неопределеност на Хайзенберг* (1927 г.)

  Ако x-компонентата на една частица е измерена с точност Δx и едновременно с това x-компонентата на импулса е измерена с точност Δp , то произведението им не може да бъде по-малко от:

$$\Delta x \Delta p_X \geq \hbar; \Delta y \Delta p_Y \geq \hbar; \Delta z \Delta p_Z \geq \hbar$$

$$\Delta t \Delta E \geq \hbar$$

- Следователно, *микрочастиците, нямат едновременно точно определени координати и импулс!*
  - *Това отразява същността на микрочастиците, съчетаващи вълнови и корпускулярни свойства*

Мислен опит на Хайзенберг

- *Електрон* се наблюдава с “идеален” микроскоп, такъв, че за определянето на положението на *електрона* е достатъчно само един отразен *фотон* да попадне в окото на наблюдателя.
- Преди удара *фотона* има дължина на вълната λ и импулс:

$$p_{\Phi} = h/\lambda$$

- Точността, с която може да се определи *положението* на *електрона*, е приблизително равна на *дължината на вълната* на *фотона:* $\Delta x \approx \lambda$ *.*
- Точността, с която може да се определи *импулса* на *електрона*, е приблизително равна на *импулса* на *фотона:* $\Delta p_X \approx p_{\Phi} = h/\lambda$.
- Следователно,

$$\Rightarrow \Delta x \Delta p_X \approx \lambda \left(h/\lambda \right) = h$$