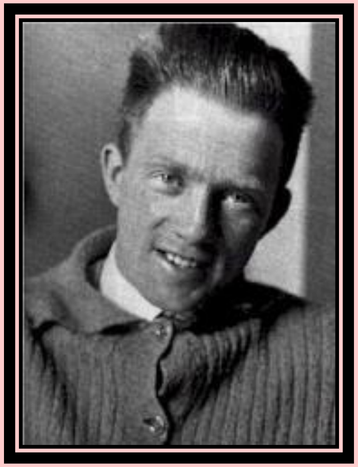
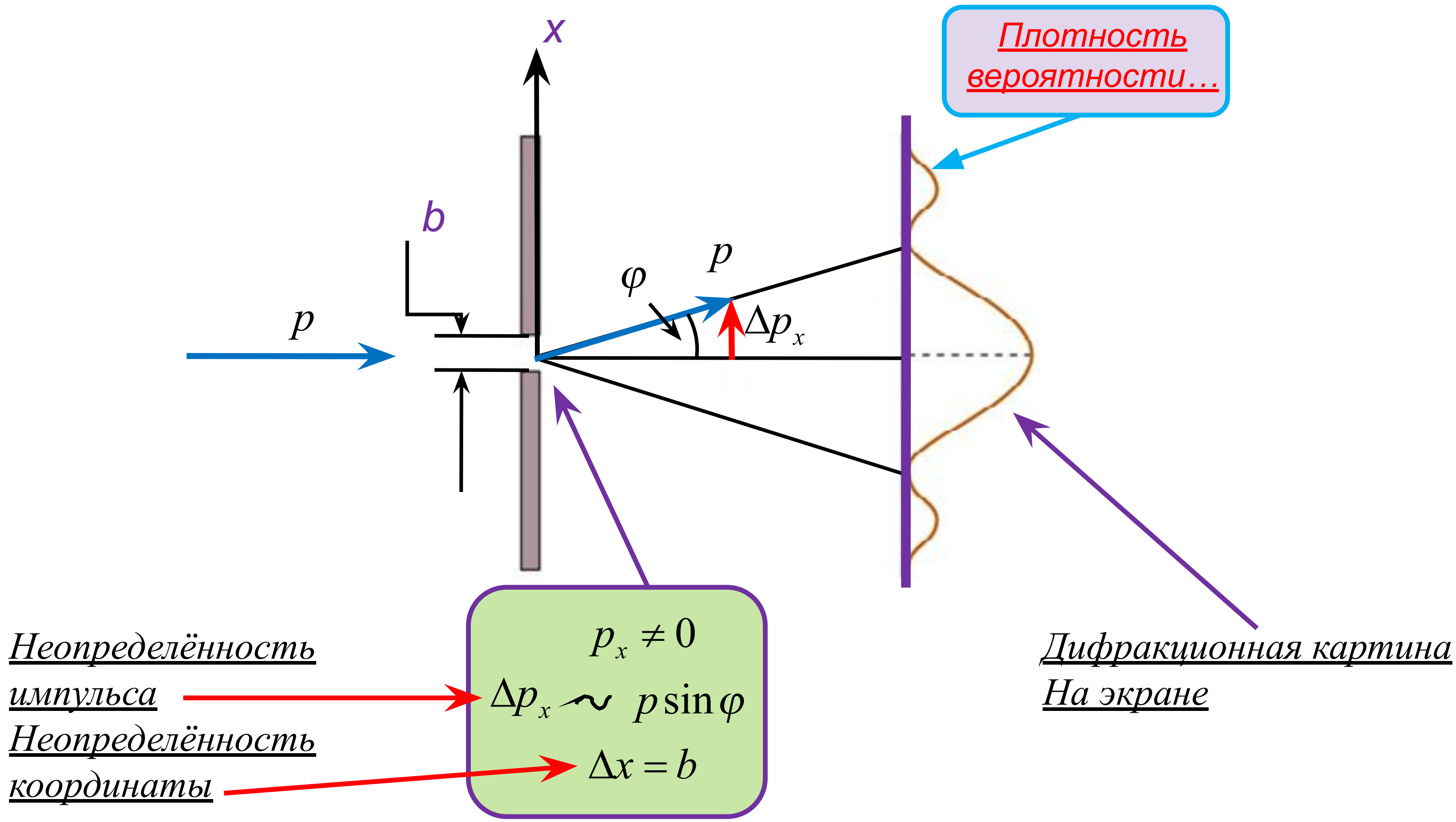
2. Принцип неопределённости Гейзенберга (1927г).



Гейзенберг, Вернер Карл

(1901-1976)

*Определим значение координаты **x** свободно летящей микрочастицы, поставив на ее пути щель шириной **b**, расположенную перпендикулярно к направлению ее движения.*



Первый дифракционный минимум

$$b\sin\varphi = \lambda$$

Длина волны де-Бройля

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

$$p_x \neq 0$$

$$\Delta p_x \sim p\sin\varphi$$

$$\Delta x = b$$

$$\Rightarrow \Delta x \Delta p_x \sim bp\sin\varphi = p\lambda = h \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta x \Delta p_x \sim h}$$

$$\Delta x \Delta p_x \sim h$$

«Локализация» частицы путем сужения щели

$$\Delta x \to 0$$
$$\Delta p_x \to \infty$$

«Расползание» дифракционной картины

$$\Delta p_x \to 0$$
$$\Delta x \to \infty$$

Определенность импульса может быть сохранена путем полной неопределенности координаты (отсутствие щели)

В микромире любая частица не может иметь одновременно точных значений координат и компонент импульса. Неопределенности их значений удовлетворяют соотношениям:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$$
$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar/2$$
$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar/2$$

Соотношения неопределенностей Гейзенберга

$$\left.\begin{array}{l}\Delta x, \Delta p_x \\ \Delta y, \Delta p_y \\ \Delta z, \Delta p_z\end{array}\right]$$

Канонически сопряженные величины

$$\Delta A \cdot \Delta B \geq \hbar/2$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2 \quad \ldots\ldots..$$

Принцип неопределенности Гейзенберга: произведение неопределенностей значений двух сопряженных переменных не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка $\hbar$.

Соотношение неопределенности указывает, в какой мере можно пользоваться понятиями классической механики в отношении к объектам микромира:

$$\boxed{\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2}$$

Электрон в модели атома Бора

1. $\Delta x \geq \dfrac{\hbar}{2\Delta p_x} = \dfrac{\hbar}{2m\Delta\upsilon_x}$

2. $\Delta\upsilon_x = 0,5\upsilon_x$

3. $\upsilon_x \sim 10^6\ м/с$

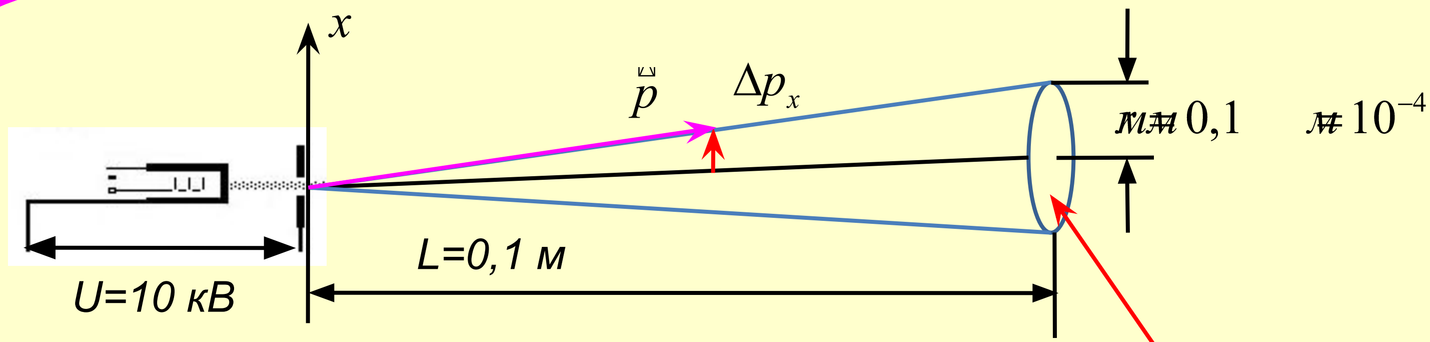
$$\Delta x \geq \frac{\hbar}{2m\Delta\upsilon_x} = \frac{\hbar}{2m0,5\upsilon_x} = \frac{h}{m2\pi\upsilon_x} = \frac{6,6\cdot10^{-34}}{9,1\cdot10^{-31}\cdot3,14\cdot10^{6}} = 2\cdot10^{-10} \quad = 2\,\text{Å}$$

$$\boxed{\Delta x \geq 2\,\text{Å}}$$

Неопределенность координаты больше линейных размеров самого атома ~ 1 ангстрем.

Понятие круговой орбиты в атоме Бора теряет смысл.

Движение электрона в электронно-лучевой трубке



Увеличенное изображение «пятна» от луча на экране электронно-лучевой трубки

1. $\Delta x \geq \dfrac{\hbar}{2\Delta p_x}$

2. $\dfrac{\Delta p_x}{p} = \dfrac{r}{L}$

3. $eU = \dfrac{m\upsilon^2}{2} = \dfrac{p^2}{2m}$

$$\Delta x \geq \frac{\hbar}{2\Delta p_x} = \frac{\hbar L}{2pr} = \frac{\hbar L}{2r\sqrt{2meU}}$$

$$\Delta x \geq \frac{6{,}6\cdot 10^{-34}\cdot 0{,}1}{2\cdot 2\cdot 3{,}14\cdot 10^{-4}\sqrt{2\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31} 1{,}6\cdot 10^{-19} 10^{4}}} \sim 10^{-9}$$

$\boxed{\Delta x \geq 10^{-9}\text{ м} \ll r = 10^{-4}\text{ м}}$

Волновые свойства электронов можно не учитывать…

Понятие траектории движения электрона в электронно-лучевой трубке имеет смысл.

Пылинка

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$$

$m = 10^{-12}$

$\Delta x = 10^{-6}$

$$\Delta \upsilon_x \geq \frac{\hbar}{2m\Delta x} = \frac{6{,}6 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2 \cdot 10^{-15} \cdot 10^{-8}} \approx 0{,}5 \cdot 10^{-11}\ м/с$$

Пылинка – большая; масса у нее большая; она объект макромира и к ней применимы законы классической физики !!!