

Systemy s mridi-section symmetry

a energetick' disperze

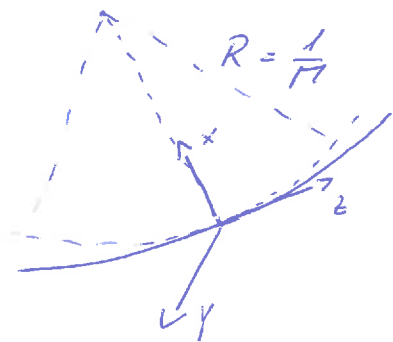
Obecn' paraxi'lni' rovnice trajektorie:

$$w'' + \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{2\Phi^*} (\bar{\Phi}' - i\pi_0 B) w' + \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{4\Phi^*} \left[\Phi'' + i\pi_0 B' + k \left\{ (\bar{\Phi}_1 + i\pi_0 \bar{I}_1) \left[\frac{2\Phi\bar{\Phi}'}{2\Phi^*} \right] \right\} \right] w$$

$$- \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{\Phi^*} \left[\Phi_2 + i\pi_0 \bar{I}_2 - \frac{\Gamma}{4} (2\Phi_1 + i\pi_0 \bar{I}_1) - \frac{\Phi_1^2}{8\sqrt{\epsilon_0}\Phi^*} \right] \bar{w} =$$

$$= - \frac{\bar{\Phi}_0}{4\Phi^*} \left[\frac{\Phi_1}{\Phi^*} + 2\sqrt{\epsilon_0}\Gamma \right] k + \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{2\Phi^*} (\bar{\Phi}_1 + i\pi_0 \bar{I}_1) - \Gamma$$

Γ - křivost centrální trajektorie



Pokud chceme, aby osová částice s ~~malou~~ malou energií $k = \frac{dE}{E} \approx 0$

zůstávala na ose:

$$\frac{\sqrt{\epsilon_0}}{2\Phi^*} (\bar{\Phi}_1 + i\pi_0 \bar{I}_1) - \Gamma = 0$$

mridi-section symmetry: $\varphi(x_1, y_1, z) = \varphi(x_1, -y_1, z) \Rightarrow \bar{\Phi}_{1s} = 0$

$\chi(x_1, y_1, z) = -\chi(x_1, -y_1, z) \Rightarrow \bar{I}_{1c} = 0$

$\Gamma = \frac{\sqrt{\epsilon_0}}{2\Phi^*} (\bar{\Phi}_{1c} - \pi_0 \bar{I}_{1s}) \in \mathbb{R} \Rightarrow$ centrální traj. zůstává v rovině xz

1. Kvadrupolové systémy (už dříve probírali)

$$W'' - G \bar{W} = 0 \quad G = \frac{\gamma \bar{\Phi}_{2c}}{\Phi_0^*} - \frac{\gamma \bar{\Phi}_{2s}}{2 \Phi_0^{*1/2}}$$

~~2. Systémy s med. s. vř~~

2. $\Gamma = 0$, $\bar{\Phi} = \text{const} \Rightarrow \bar{\Phi}_{2c} - \kappa_0 \bar{\Phi}_{2s} = 0$

$$W'' + \frac{\Phi_{1c}^2}{8 \Phi^{*2}} W - \frac{\gamma_0}{\Phi^{*2}} \left(\bar{\Phi}_{2c} - \kappa_0 \bar{\Phi}_{2s} + \frac{\Phi_{1c}^2}{8 \gamma_0 \Phi^{*2}} \right) \bar{W} = \frac{\Phi_0 \Phi_1}{4 \Phi^{*2}} \kappa$$

0 - aby byl systém stigmatický!

⇓

$$W'' + \frac{\Phi_{1c}^2}{8 \Phi^{*2}} W = - \frac{\Phi_1 \Phi_{1c}}{4 \Phi^{*2}} \kappa \quad \text{Wienův filtr}$$

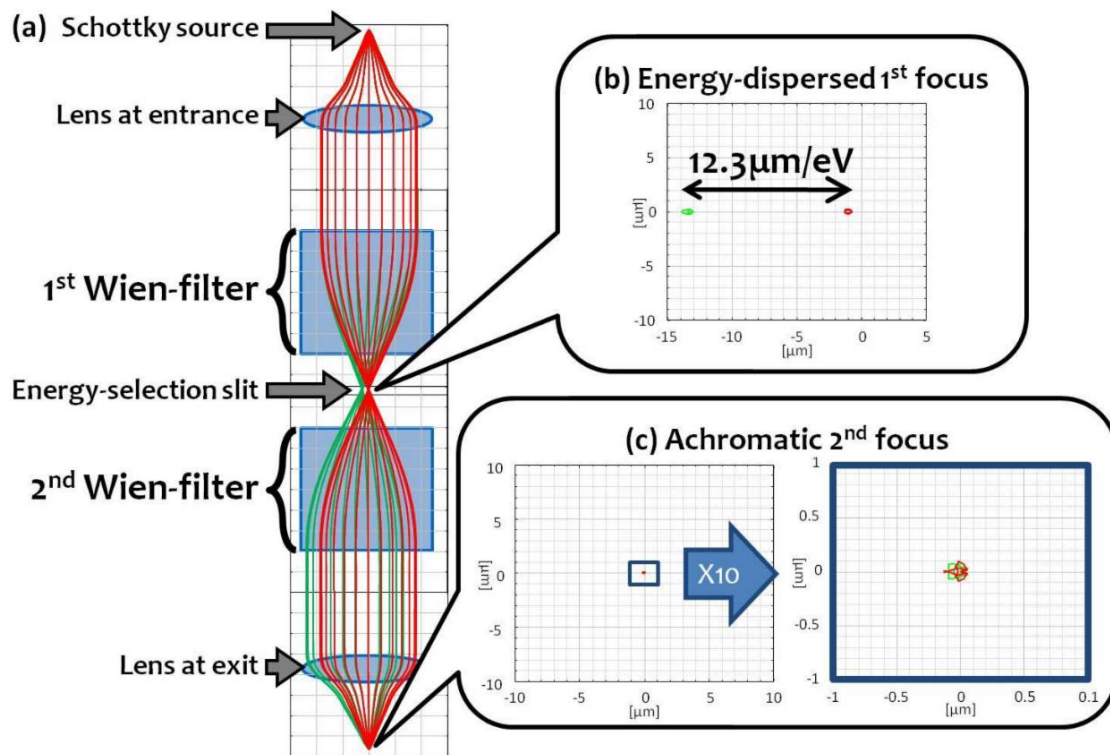
Systém má nulovou energiiovou disperzi

$$W_d = \underbrace{g \int_{z_0}^{z_i} h \frac{\Phi_0 \Phi_{1c}}{4 \Phi^{*2}} dz}_{C_d - \text{imag coef}} - \underbrace{h \int_{z_0}^{z_i} g \frac{\Phi_0 \Phi_{1c}}{4 \Phi^{*2}} dz}_{C_d - \text{slope coef}}$$

Systém lze použít pro energiiovou filtraci

a) Za první WF umístíme meziobraz, a ve středem bod $C_d \neq 0$ a filtrační aberturu (slit)

b) Za meziobraz umístíme 2. WF, který zkorriguje C_d , tak aby ve finálním obzře $C_d = 0$



Monochromátor založený na Wienově filtru

3. Magnetický systém s mid-section sym.

$$\bar{\Phi} = \bar{\Phi}_0 = \text{konst}, \quad \bar{\Phi}_{1c} = 0, \quad \bar{\Phi}_{2c} = 0, \quad \bar{B} = 0$$

$$\Gamma = - \frac{\nu_0}{2\bar{\Phi}^2} \pi_0 \bar{I}_{1s} = \frac{\gamma \bar{I}_{1s}}{\bar{\Phi}^{3/2}}$$

$$k_2 = - \frac{\nu_0 \pi_0}{\bar{\Phi}^2} \bar{I}_{2s} = - \frac{2\gamma \bar{I}_{2s}}{\bar{\Phi}^{3/2}}$$

$$\begin{aligned} W'' - \frac{\nu_0}{4\bar{\Phi}^2} \pi_0 \bar{I}_{1s} \Gamma W - \frac{\nu_0}{\bar{\Phi}^2} (-\pi_0 \bar{I}_{2s} + \frac{\Gamma}{4} \pi_0 \bar{I}_{1s}) \bar{W} &= \\ &= - \frac{\Phi_0}{2\bar{\Phi}^2} \gamma_0 \Gamma \kappa \end{aligned}$$

$$W'' + \frac{1}{L} \Gamma^2 W + (\frac{1}{2} \Gamma^2 - k_2) \bar{W} = - \Gamma \kappa^*$$

kde $\kappa^* = \frac{\Delta g}{g}$

$g = \sqrt{2me\bar{\Phi}^2}$ - Lineární impuls

$$\Delta g = \frac{\partial g}{\partial \bar{\Phi}} \Delta \bar{\Phi} = \frac{\partial \sqrt{2me\bar{\Phi}^2(1 + \frac{e\bar{\Phi}}{2me\bar{\Phi}^2})}}{\partial \bar{\Phi}} \Delta \bar{\Phi}$$

$$= \frac{\sqrt{2me} \Gamma \Delta \bar{\Phi}}{2\bar{\Phi}^2}$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Gamma \Delta \bar{\Phi}}{2\bar{\Phi}^2} = \frac{\Gamma \bar{\Phi}_0}{2\bar{\Phi}^2} \left(\frac{\Delta \bar{\Phi}}{\bar{\Phi}_0} \right) \kappa$$

Je rozepsatelné do reálných souřadnic

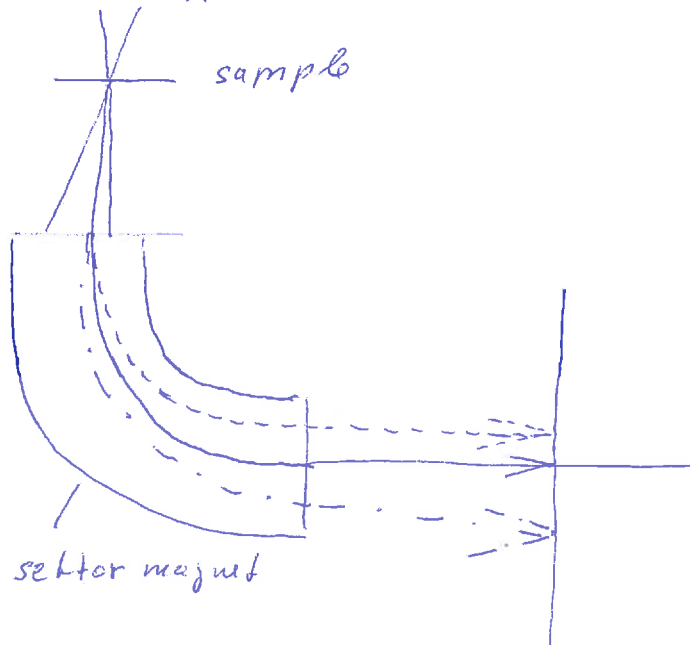
$$X'' + (\Gamma^2 - k_2) X = - \frac{\Delta g}{g} \Gamma$$

$$Y'' + k_2 Y = 0$$

- Fokusece v důsledky $\Gamma \neq 0$ v x směru
- Energieová disperze v x
- Fokusece / defokusece v x a y v důsl. $k_2 \neq 0$

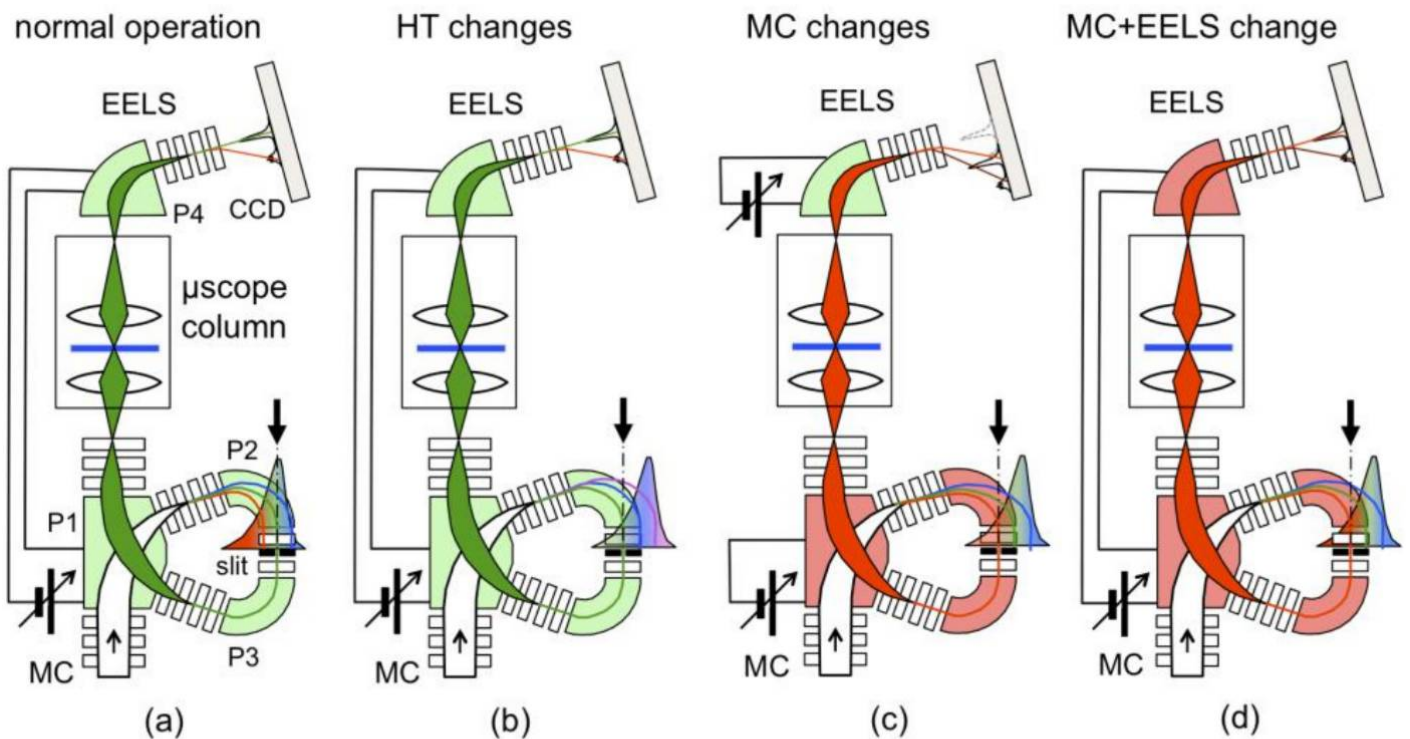
Použití

1. Energy electron-loss spectroscopy



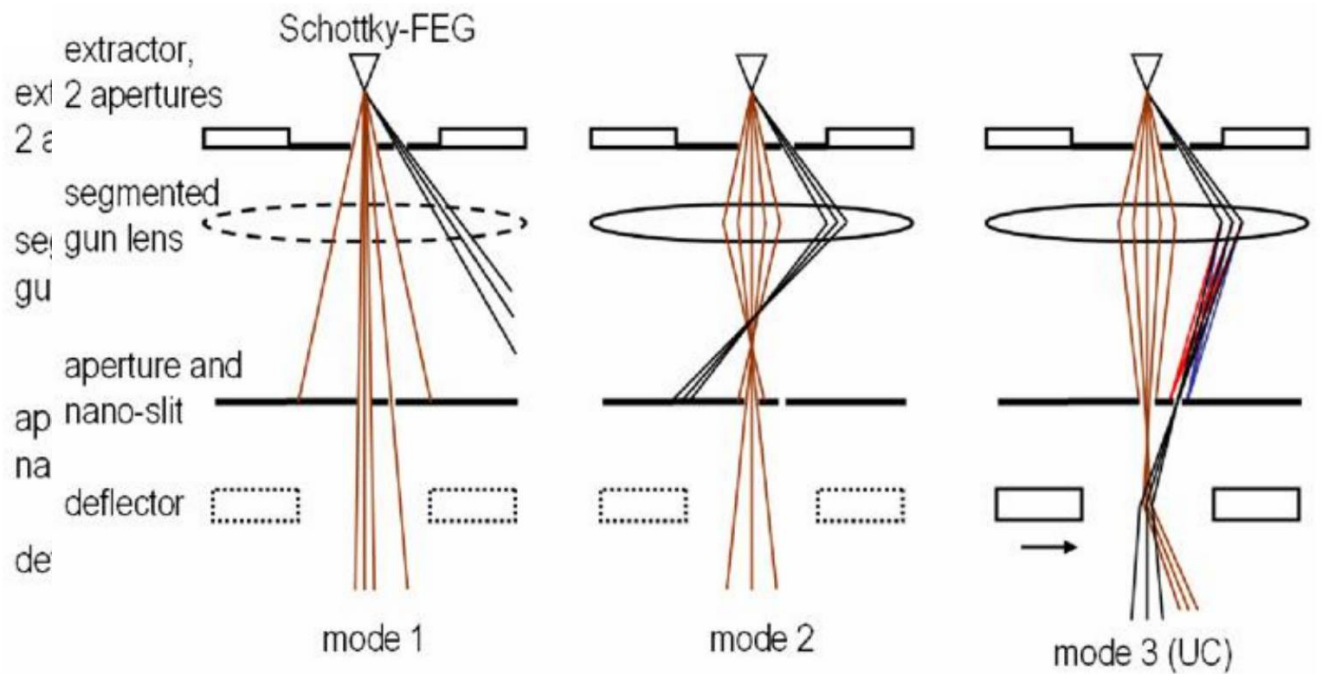
Zasnovává se
energie spektrum
prošlých elektronů

2. Monochromátory



Monochromátor v dedicated STEM mikroskopu (Nion)

Jednoduchý monochromátor pro SEM založený na mimoosovém průchodu svazku čočkou (SEM - ThermoFisher Scientific)



Monochromátor FEI

Monochromátor FEI

K energiové filtraci dochází v mode 3 (UC):

- Gun lens se nastaví tak, aby mimiosový svazek procházel přes nano-slit, ve kterém se svazek energeticky filtruje (v rovině slitu je meziobraz tohoto svazku)
- Deflektor se nastaví tak, aby mimiosový svazek narovnal na osu, a osový svazek vychýlil