

F4110
Kvantová fyzika atomárních soustav
letní semestr 2010 - 2011

IV.
Elektronová optika
cvičení

KOTLÁŘSKÁ 23. BŘEZNA 2011

F4110
Kvantová fyzika atomárních soustav
letní semestr 2010 - 2011

IV.
Elektronová mikroskopie
cvičení

KOTLÁŘSKÁ 23. BŘEZNA 2011

II. Určení průběhu paprsků

Omezíme se nejprve na
osově symetrickou paraxiální oblast.

Tam je všechno plně zvládnuto.
Zobrazení je tam dokonalé.

Paraxiální elektronová optika

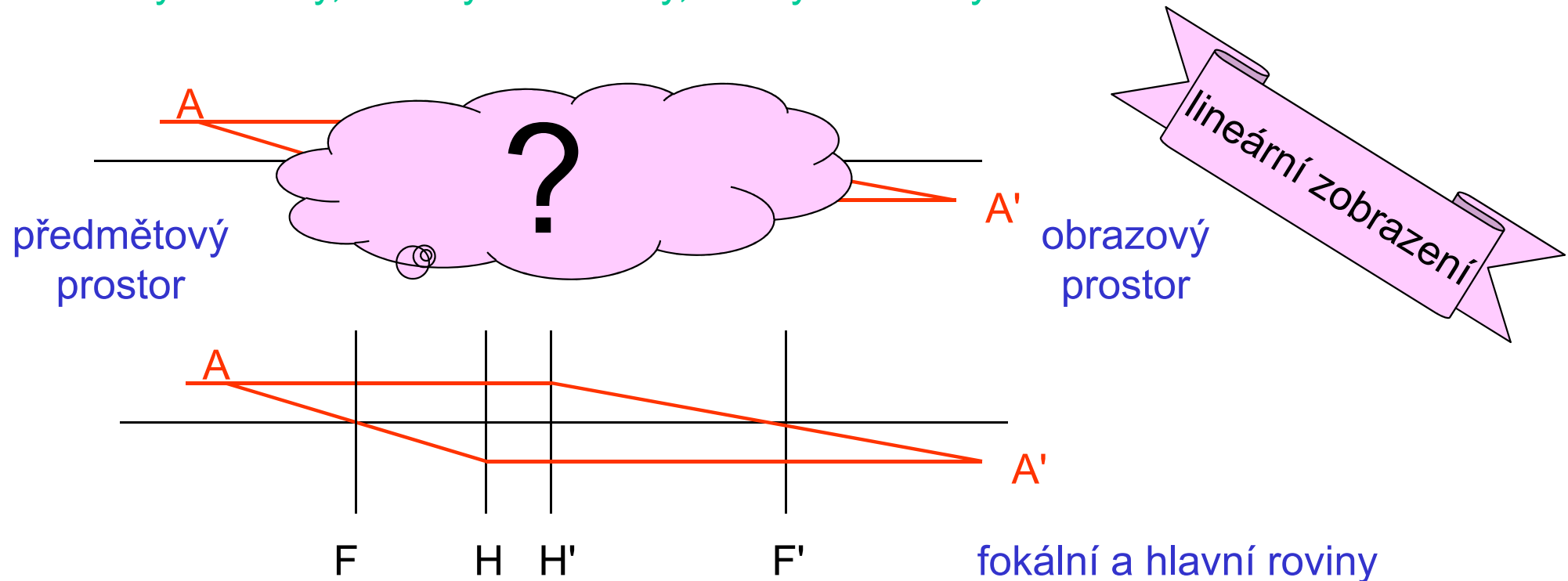
- OSOVĚ SYMETRICKÁ SOUSTAVA ... centovaná

to byla již r. 1931 idea Rusky a Knolla, od té doby rozpracovávaná

- PARAXIÁLNÍ OBLAST

elektronové svazky jen z úzké oblasti kolem optické osy (*nitkový Gaussův prostor*) ... tam dochází k **ideálnímu zobrazování**:

body na body, úsečky na úsečky, roviny na roviny



Paraxiální elektronová optika

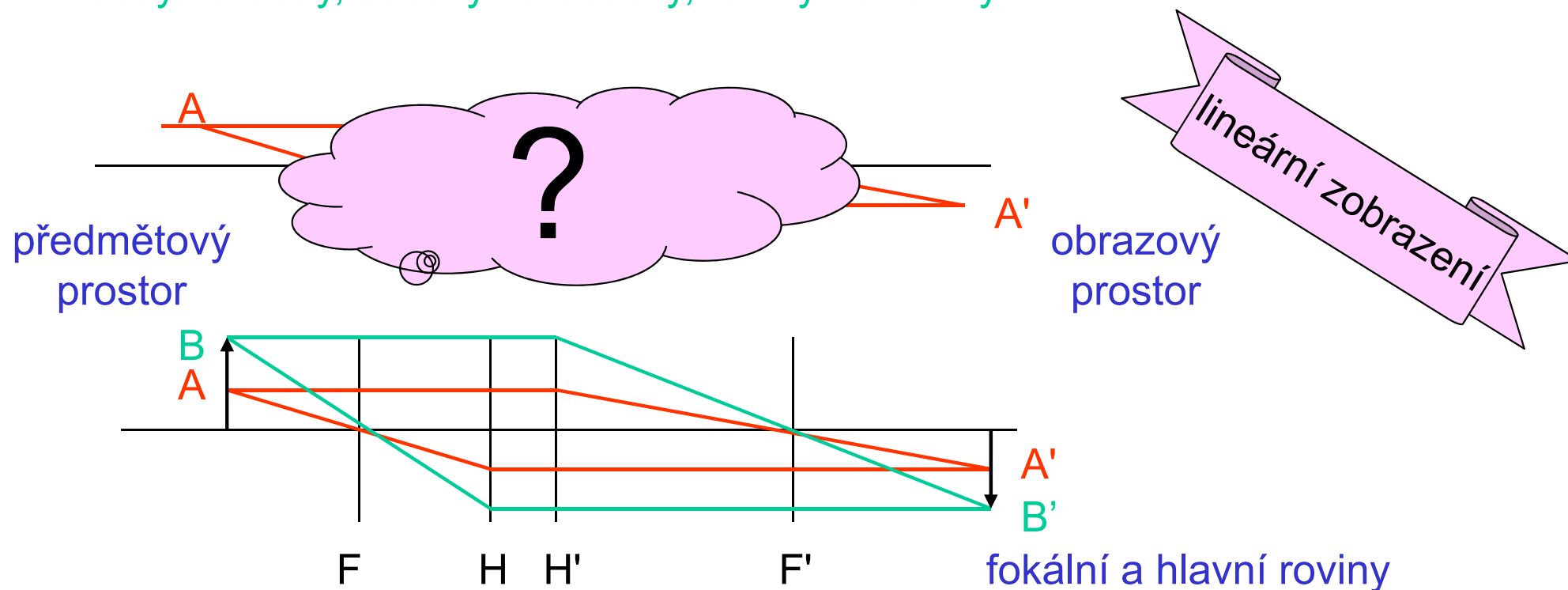
- OSOVĚ SYMETRICKÁ SOUSTAVA ... centrovaná

to byla již r. 1931 idea Rusky a Knolla, od té doby rozpracovávaná

- PARAXIÁLNÍ OBLAST

elektronové svazky jen z úzké oblasti kolem optické osy (*nitkový Gaussův prostor*) ... tam dochází k **ideálnímu zobrazování**:

body na body, úsečky na úsečky, roviny na roviny



Magnetické čočky

Magnetické čočky a jiné součásti převládají v
praxi.

Jejich pochopení je ale obtížnější.
Zde jen několik poznámek.

Magnetická čočka: jak funguje

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \Leftrightarrow B_r = -\frac{r}{2} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z} = -\frac{r}{2} \cdot B'_z$$

paraxiální oblast

paprsek v paraxiální oblasti

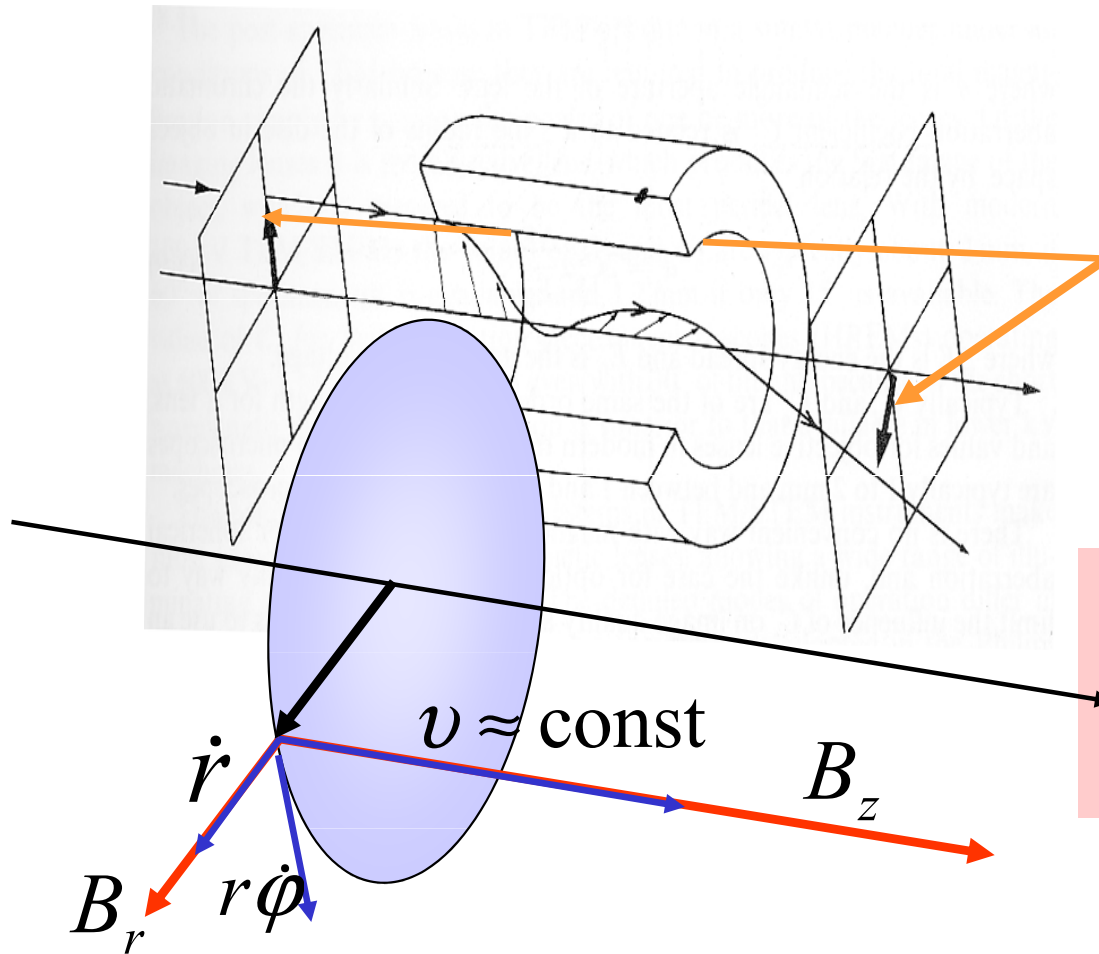
- rovina pohybu se otáčí nezávisle na průvodiči r

$$\dot{\phi} = \frac{e}{2m} B_z(z)$$

- to ovlivní radiální pohyb

$$r'' + \left(\frac{e}{2m} \cdot \frac{B_z(z)}{v(z)} \right)^2 \times r = 0$$

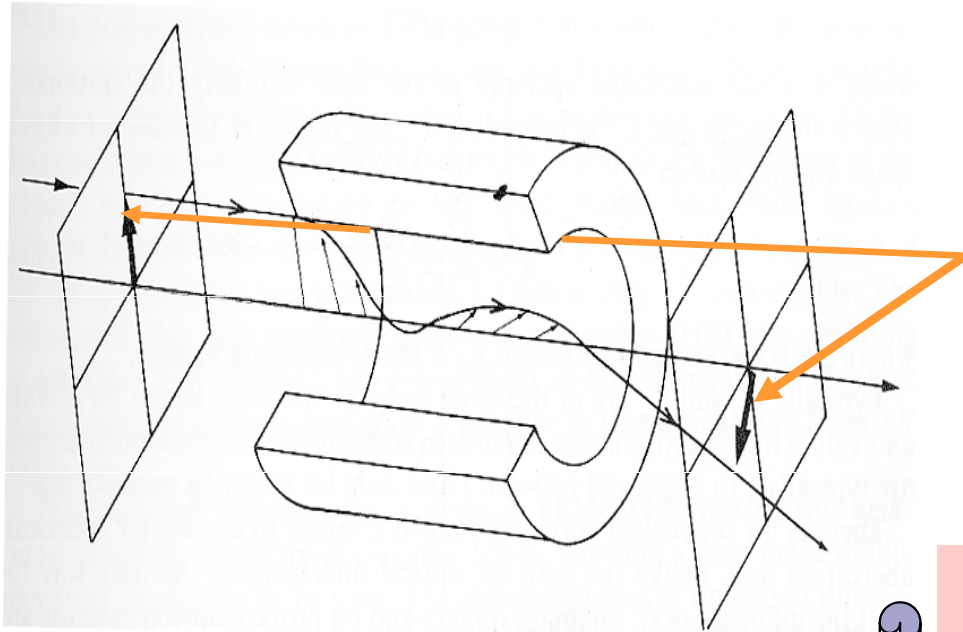
PARAXIÁLNÍ ROVNICE PAPRSKU



Magnetická čočka: jak funguje

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \Leftrightarrow B_r = -\frac{r}{2} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z} = -\frac{r}{2} \cdot B'_z$$

paraxiální oblast



paprsek v paraxiální oblasti

- rovina pohybu se otáčí
nezávisle na průvodiči r

$$\dot{\varphi} = \frac{e}{2m} B_z(z)$$

- to ovlivní radiální pohyb

$$r'' + \left(\frac{e}{2m} \cdot \frac{B_z(z)}{v(z)} \right)^2 \times r = 0$$

PARAXIÁLNÍ ROVNICE PAPRSKU

- I v magn. čočce vždy dochází k fokusaci
- Rozhoduje jen osový průběh podélné složky pole
- Pro rychlé elektrony je lámavá síla menší
- Obrazový prostor se potočí jako celek, věrnost zobrazení není narušena

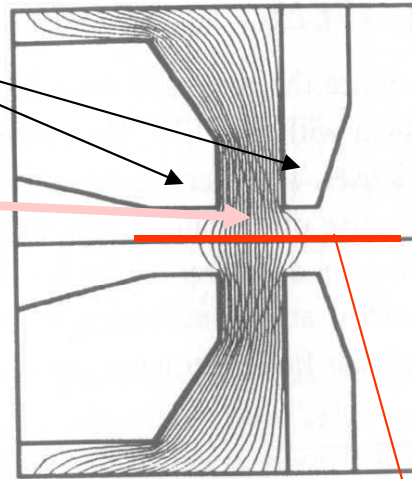
Postupné kroky

1. $m\ddot{\mathbf{r}} = \mathbf{F}$ ve složkách v cylindrických souřadnicích
2. $\mathbf{F} = e\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ ve složkách v cylindrických souřadnicích
3. \mathbf{B} magnetostatické pole
osově symetrická soustava
prázdná dutina ve vakuu
paraxiální oblast
4. $\dot{\phi}$ otáčení obrazového prostoru
5. $\ddot{r} = -\Lambda^2 r$ paraxiální rovnice
6. ohnisková vzdálenost tenké čočky

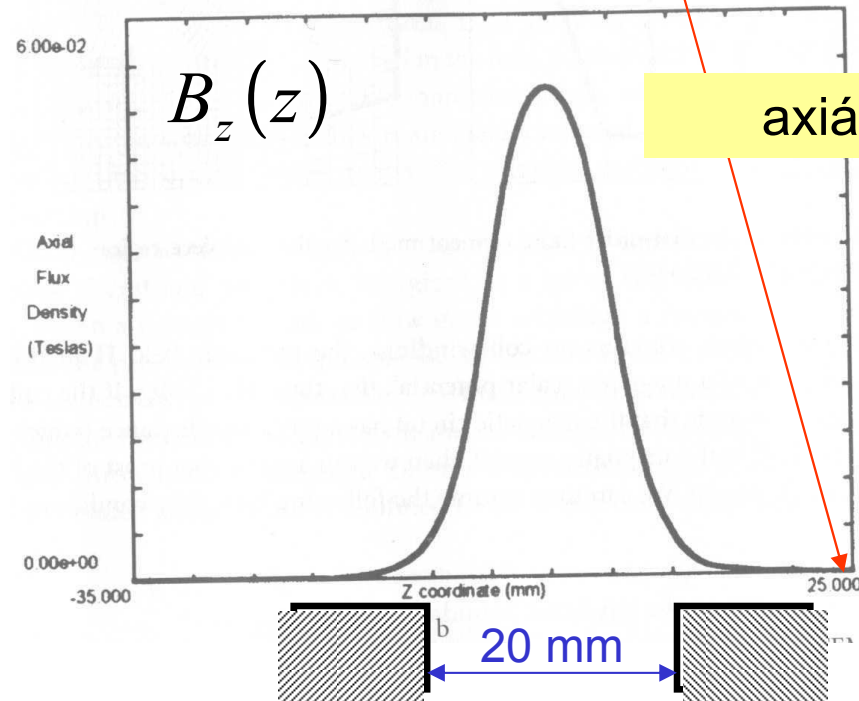
Moderní magnetická čočka

nástavce

pole v dutině



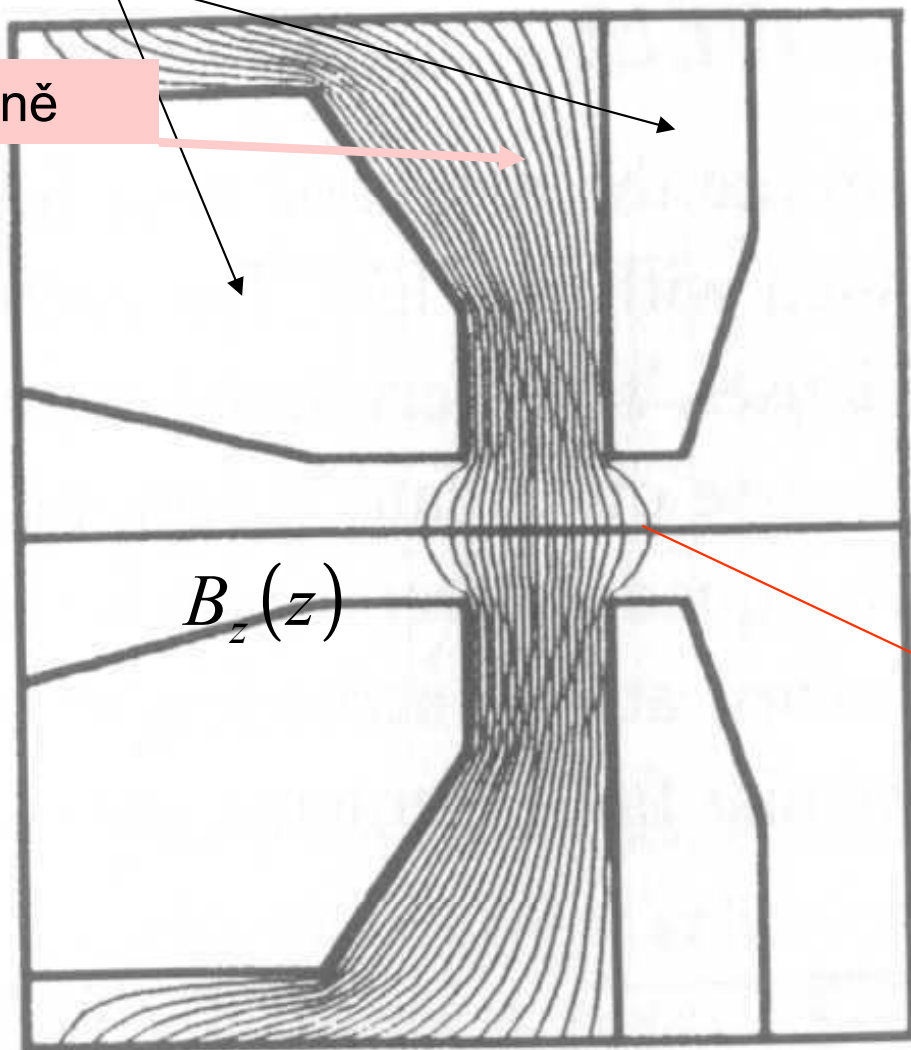
a



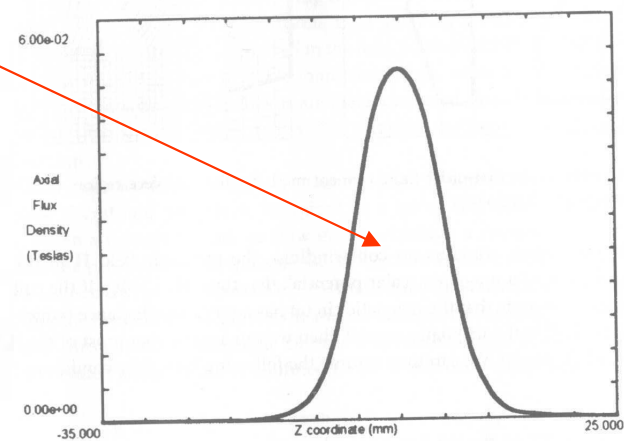
Ohnisková vzdálenost tenké čočky

nástavce

pole v dutině



a



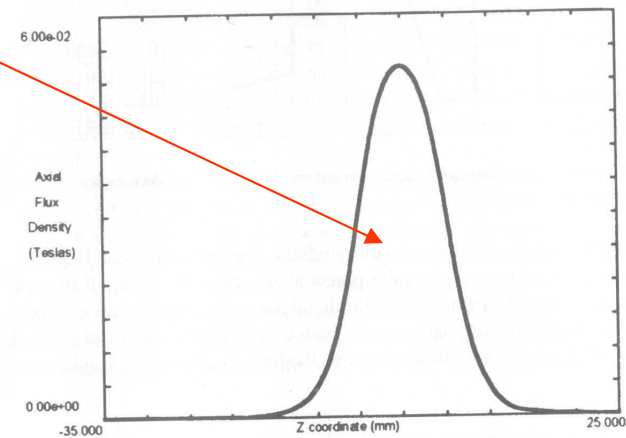
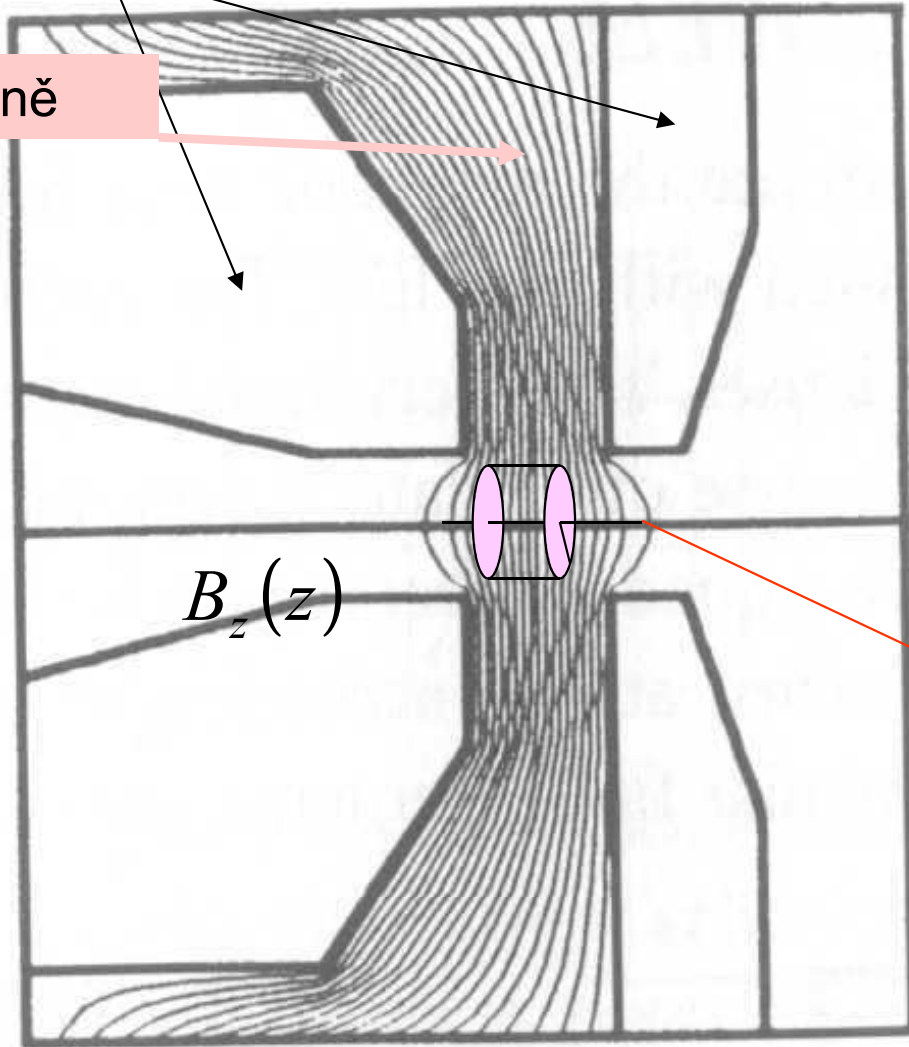
b

axiální průběh pole

Moderní magnetická čočka

nástavce

pole v dutině



axiální průběh pole

Magnetické pole v čočce

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$$

$$\nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

$$B(r, z) = B(0, z) + \cancel{O(r^2)}$$

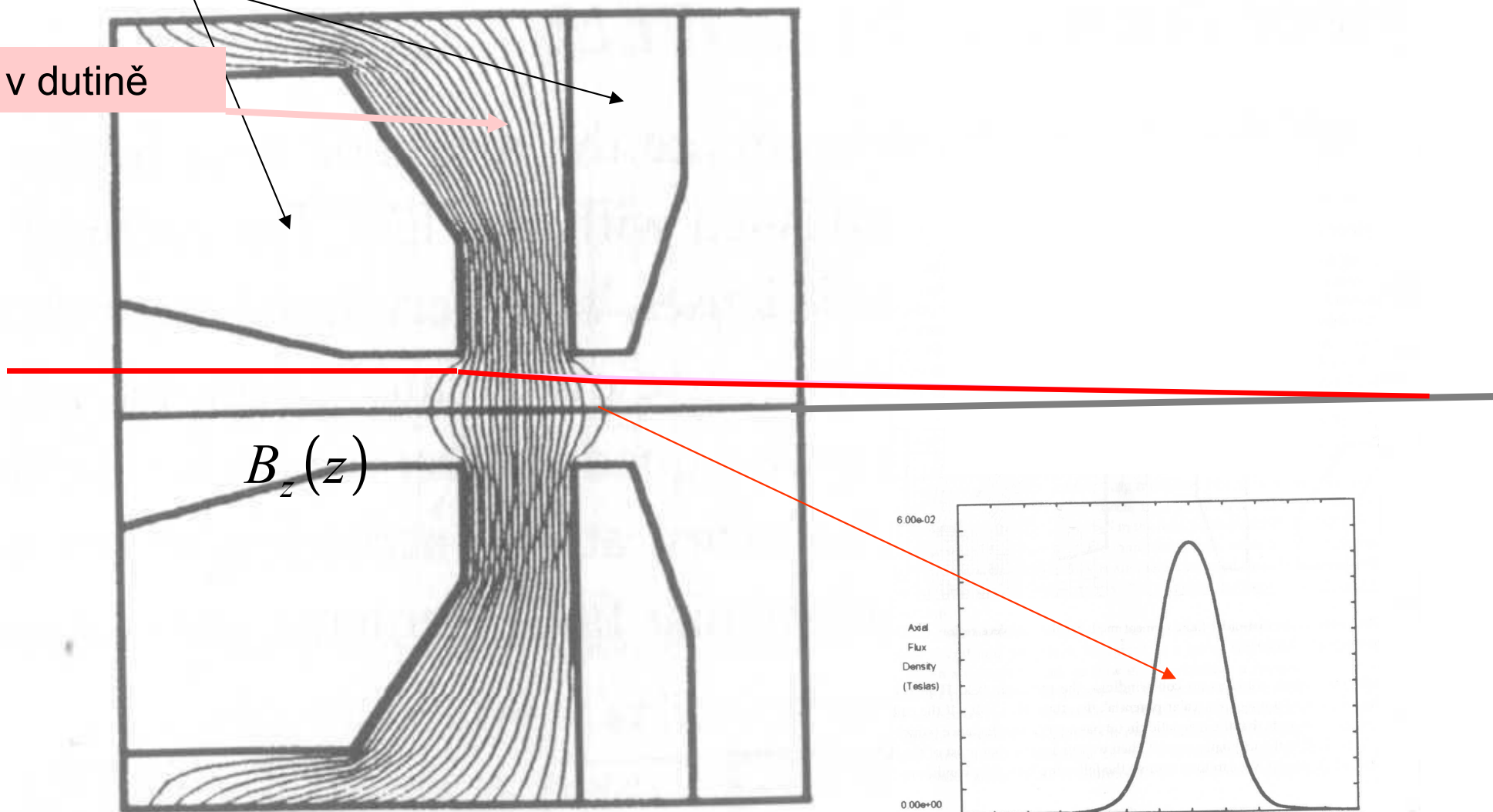
$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \Leftrightarrow B_r = -\frac{r}{2} \cdot \frac{\partial B_z}{\partial z} = -\frac{r}{2} \cdot B'_z$$

paraxiální oblast

Ohnisková vzdálenost tenké čočky

nástavce

pole v dutině



$$B_z(z)$$

a

b

axiální průběh pole