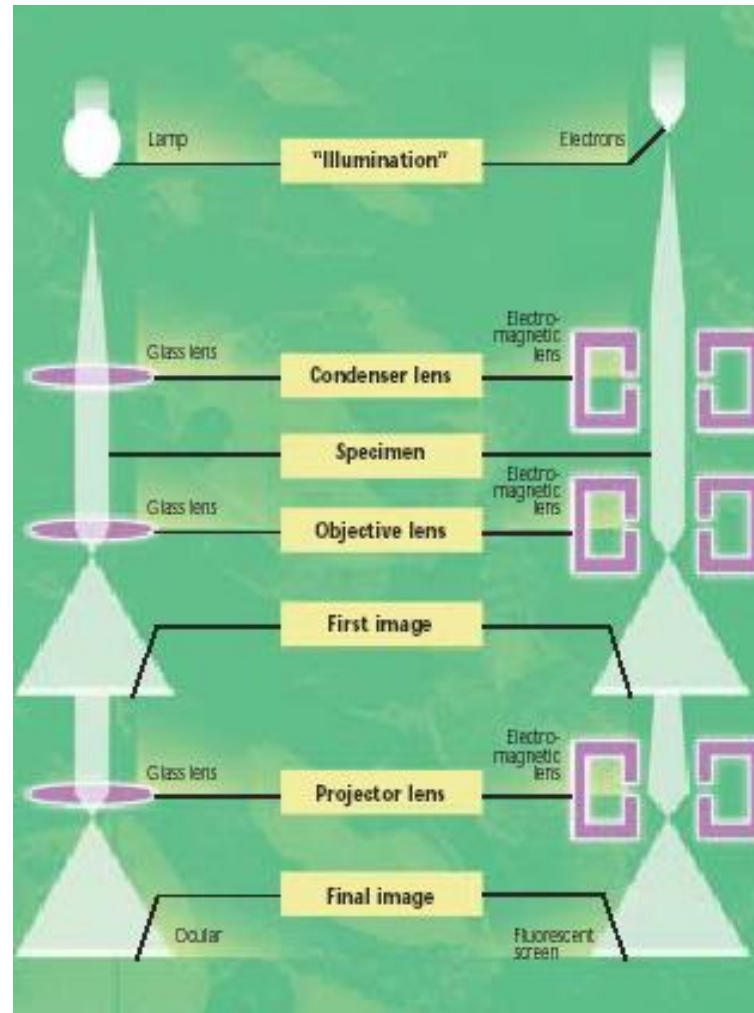


A transzmissziós elektronmikroszkóp felépítése

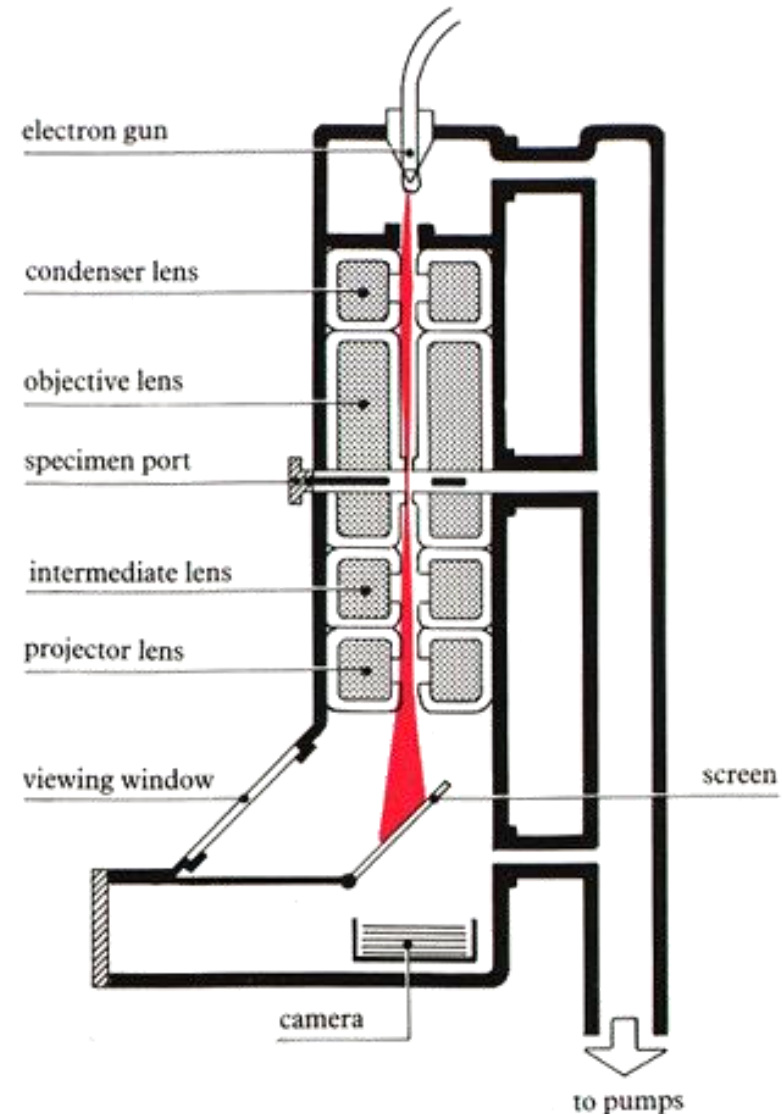


TEM – optikai mikroszkóp



A TEM főbb elemei

- Vákuumrendszer
- Elektronforrás
- Kondenzor-rendszer
- Objektívlencse
- Vetítőrendszer
- Mintatartó



Vákuumrendszer

- Az elektronágyú vákuumtere
 $p=10^{-4}-10^{-6}$ Pa
téremissziós katódnál nagyobb,
izzószálas katódnál kisebb vákuum kell
- A mintatér vákuumtere
 $p=10^{-3}-10^{-5}$ Pa
szénkrakkolódás

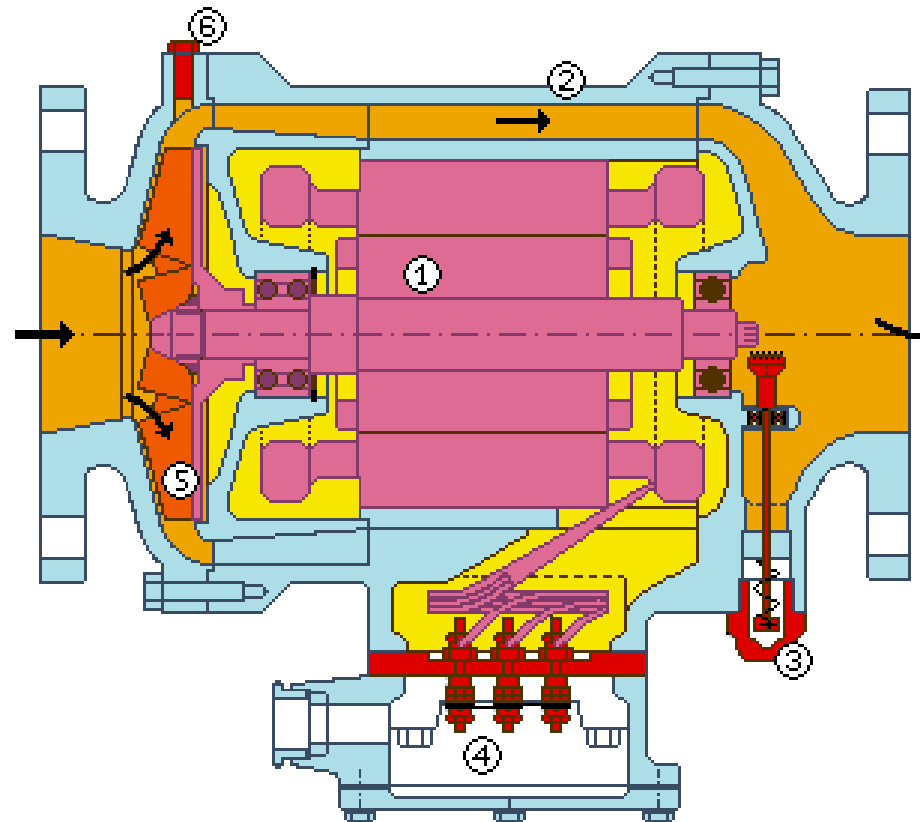
Vákuumrendszer

- Megfigyelő- és fotótér vákuuma

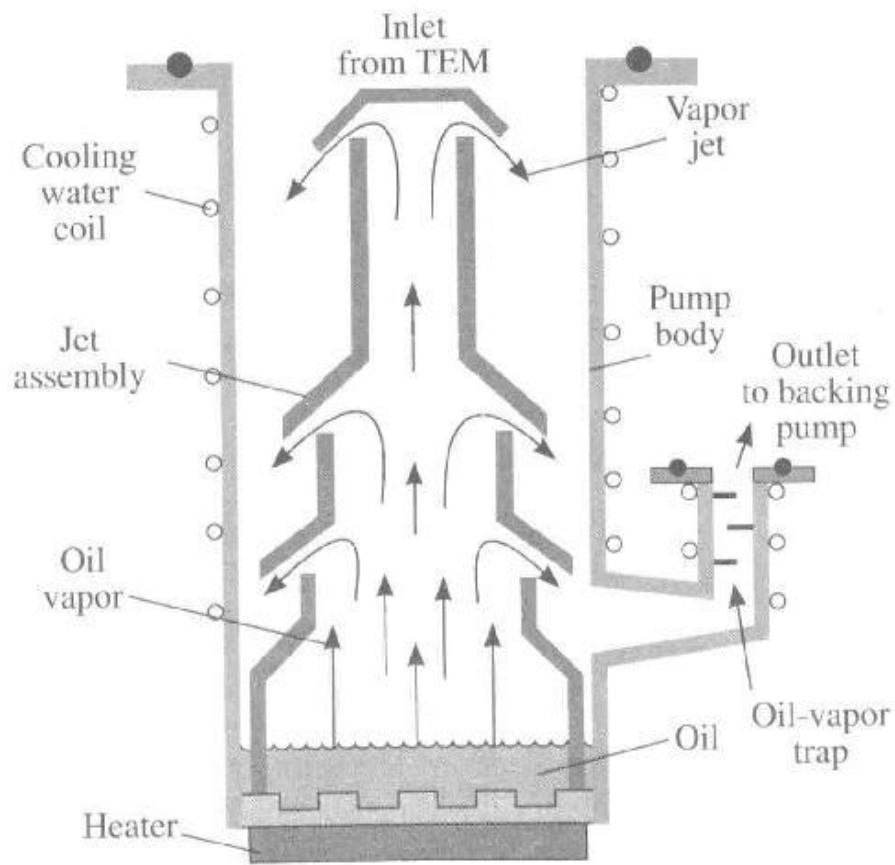
$$p=10^{-1}-10^{-2} \text{ Pa}$$

fotóanyag emulziója ne száradjon ki

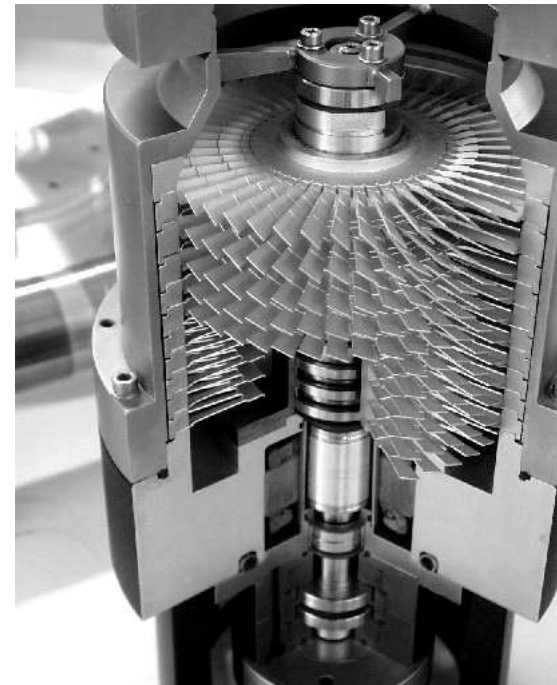
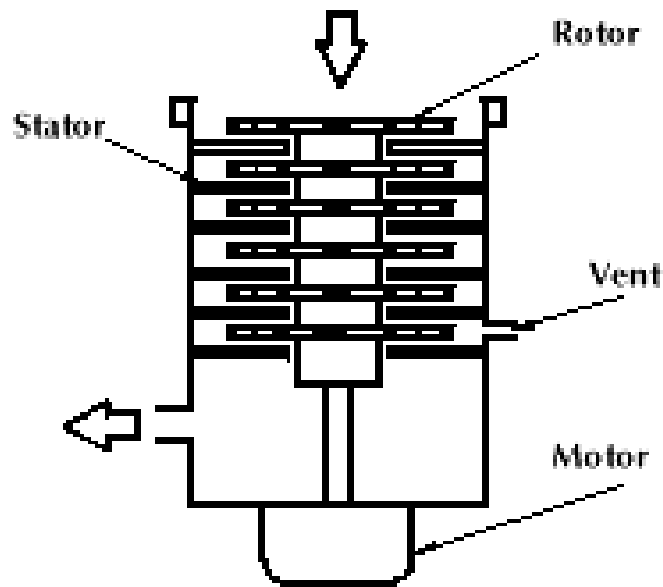
Rotációs szivattyúk



Diffúziós szivattyú

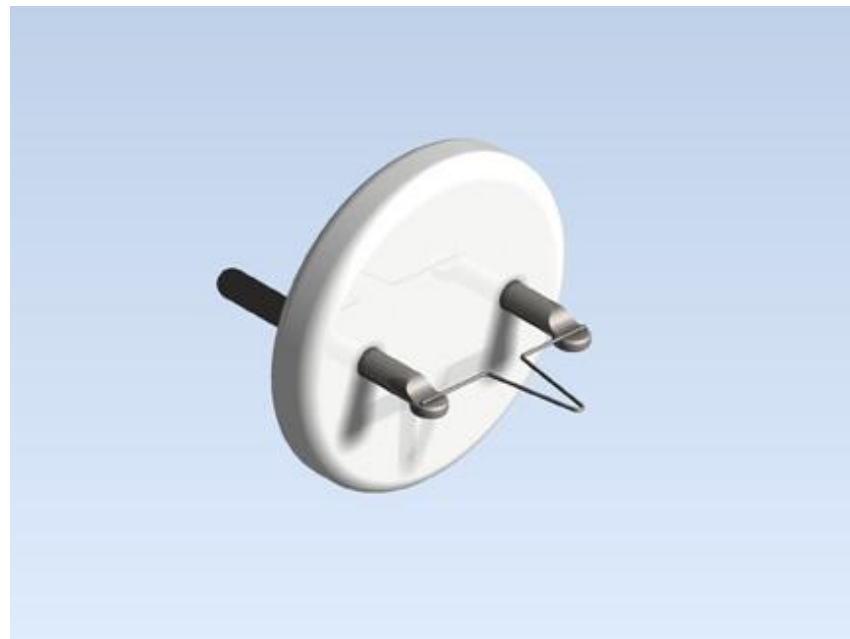


Turbomolekuláris szivattyú



Elektronforrások

- Termikus wolfram-
katód:
fűtött, V-alakú, kb. 20
 μm átmérőjű
wolframszál, amelyből
hő hatására
elektronok lépnek ki.



Tulajdonságok

- Áramsűrűség a katód felületén:

$$j_k = A \cdot T^2 \cdot e^{\frac{-\Phi}{kT}}$$

A: konstans

T: hőmérséklet

Φ : elektron kilépési munka

k: Boltzmann-állandó

Termikus W-katódra:

$$j_k = 1,75 \text{ A/cm}^2$$

$$(A = 60 \text{ A/cm}^2, T = 2700 \text{ K} \\ \Phi = 4,5 \text{ eV})$$

Tulajdonságok

- Fényesség

$$\beta = \frac{\text{áram}}{\text{felület}} = \frac{4 \cdot i}{\Pi^2 \cdot d^2 \cdot \alpha^2}$$

i : a forrásból kilépő áram

d : a crossover átmérője

α : nyalábdivergencia

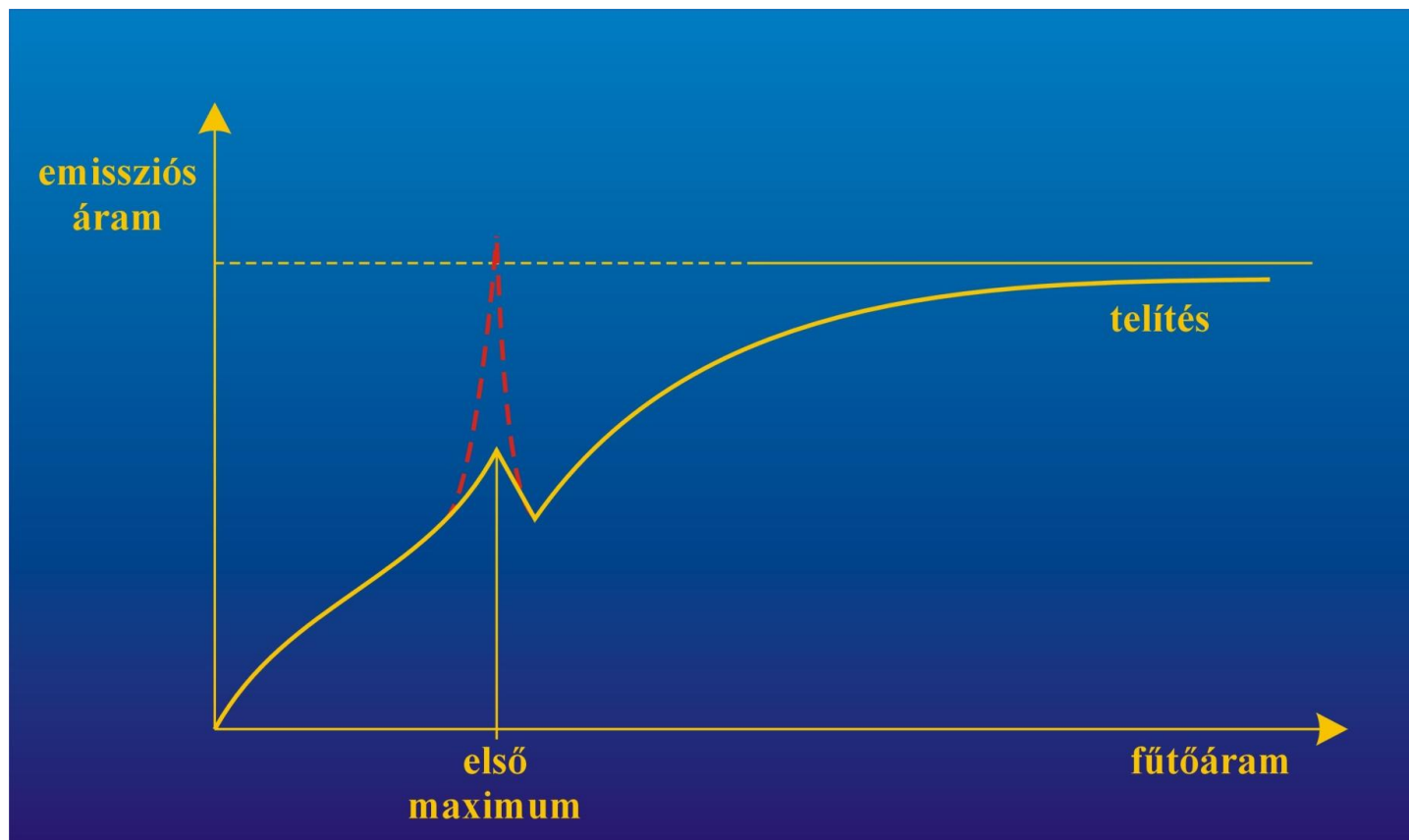
Termikus W-katód maximális fényessége:

$$\beta_m = \frac{j_k \cdot e \cdot E_0}{\Pi \cdot k \cdot T}$$

e : az elektron töltése

E_0 : gyorsítófeszültség

Emissziós áram és a fűtőáram kapcsolata



Egyéb katód-anyagok

- LaB_6 : lantán-hexaborid
elektron kilépési munka:

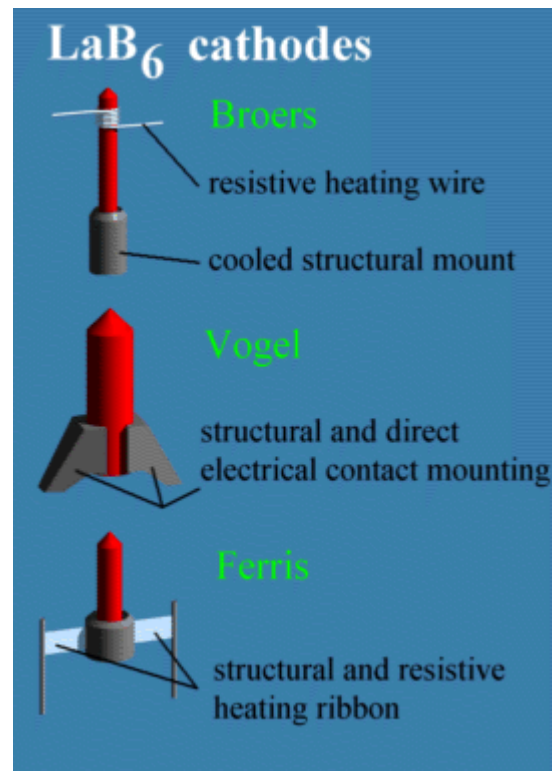
$$\Phi_W = 4,5 \text{ eV},$$

$$\Phi_{\text{LaB}_6} = 2,4 \text{ eV}$$

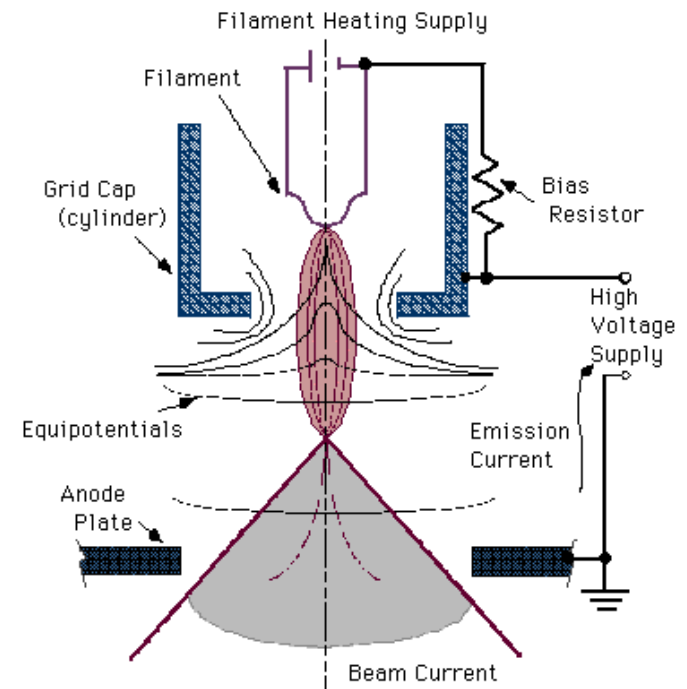
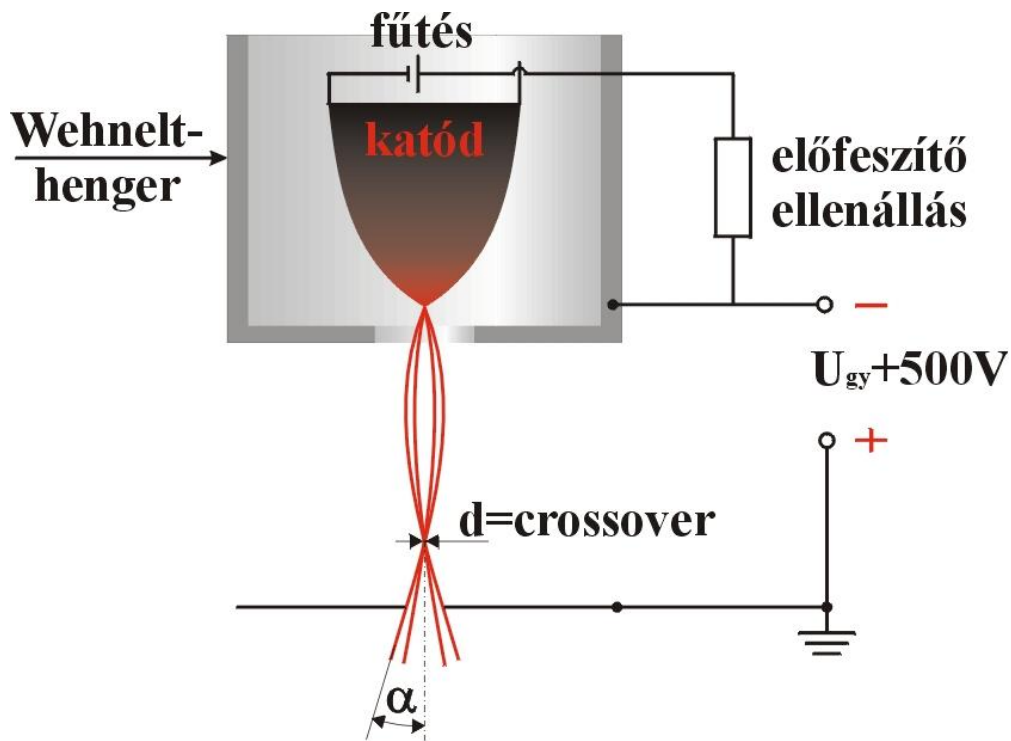
élettartam:

W-katód: 50-150 üó

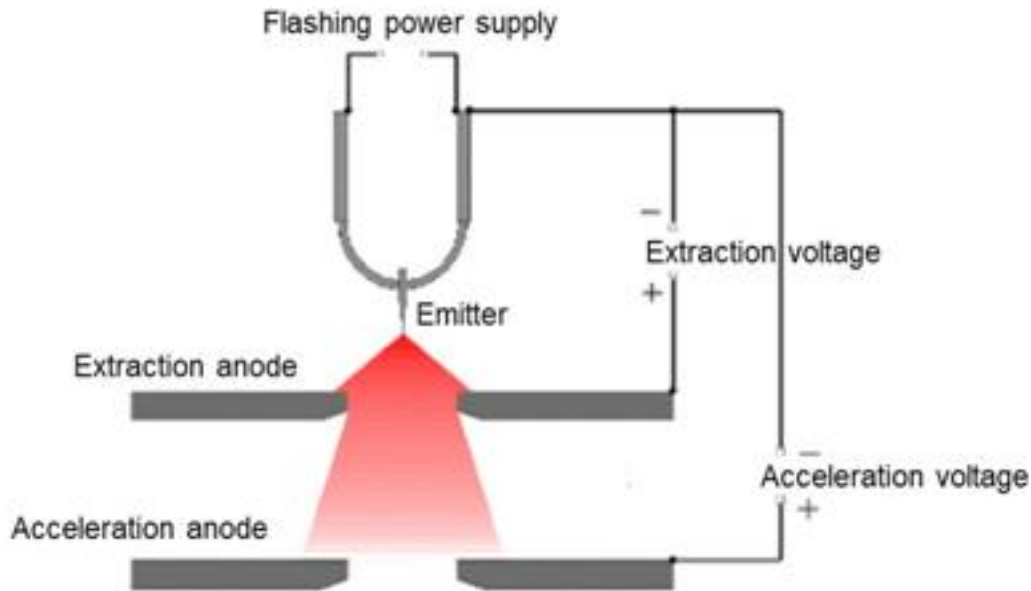
LaB_6 -katód: 1000 üó



A termoemissziós elektronágyú felépítése



Téremissziós elektronágyú



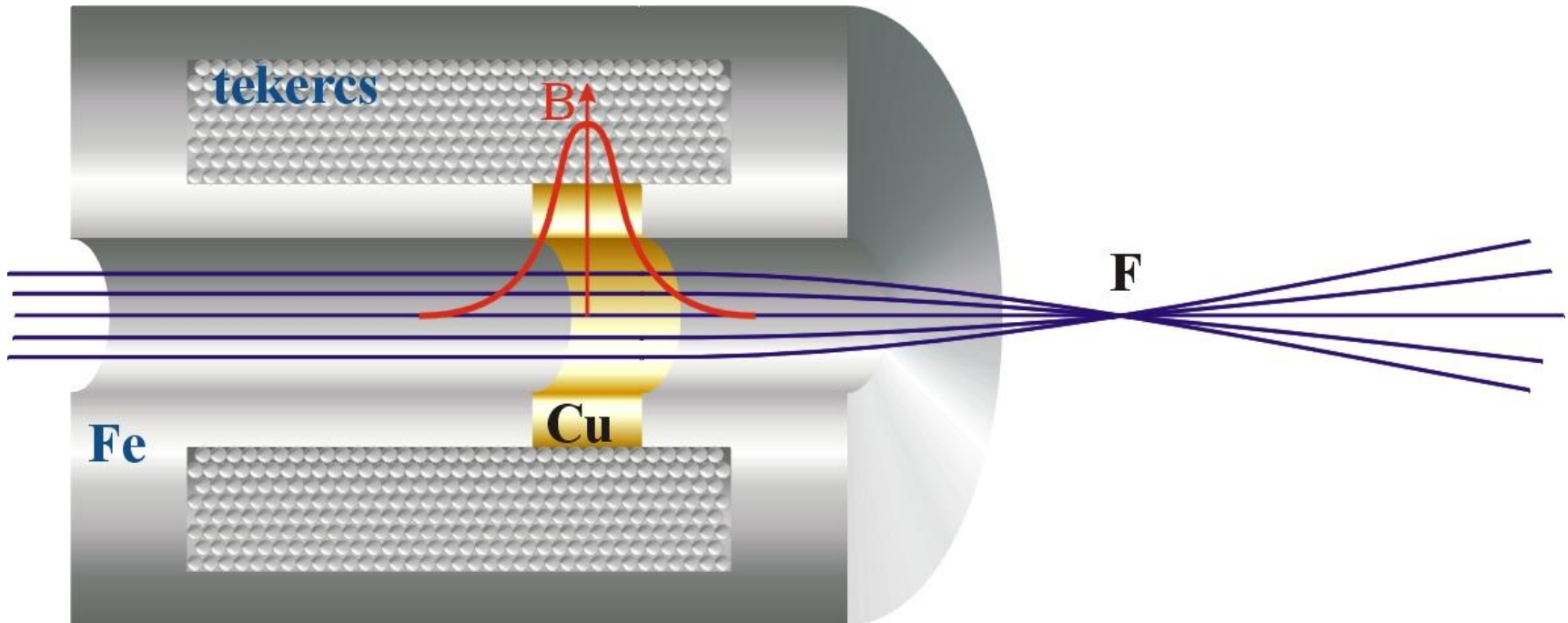
W-alapú hegyes tű
100 nm-es lekerekítési sugárral

Kb. 10^7 V/cm térerő

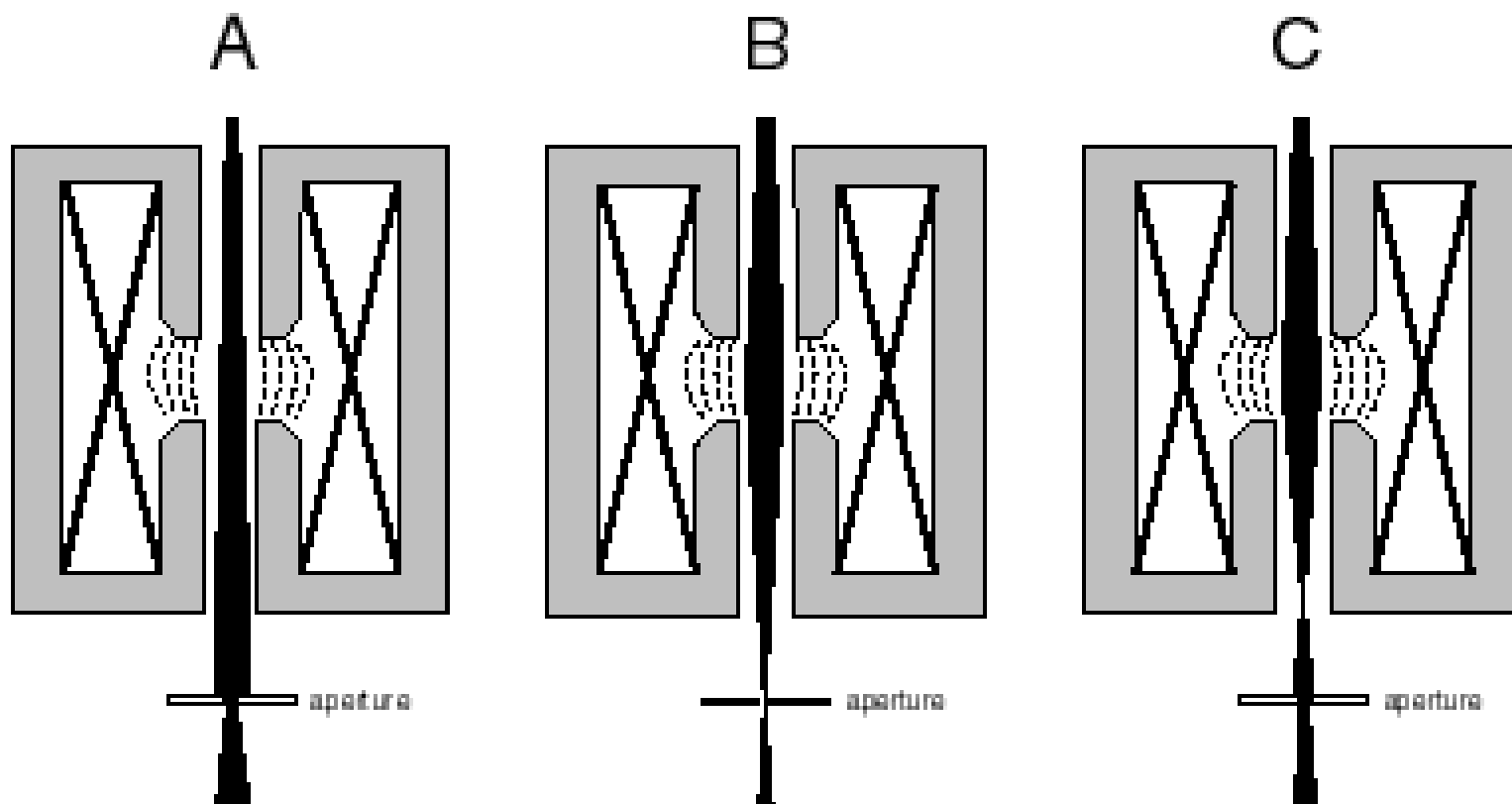
Ultranagy vákuum kell

Elektromágneses lencsék

- Lorentz-törvény: $\vec{F} = -q \cdot (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$



Változtatható fókusz



Fókusz és elforgatás

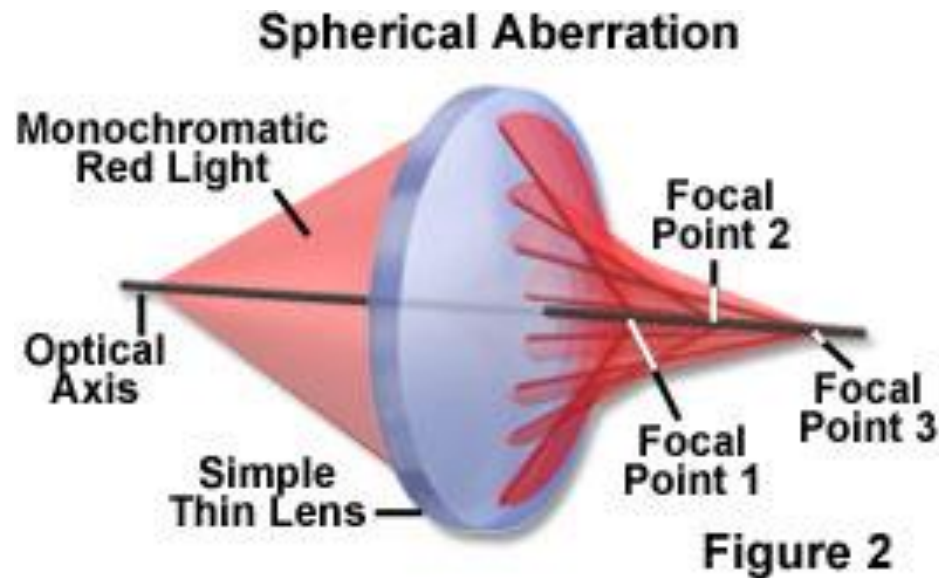
Fókusz távolság:

$$\frac{1}{f} = \frac{\eta}{8V} \int_{-\infty}^{\infty} B_z^2(z) dz$$

Elforgatás:

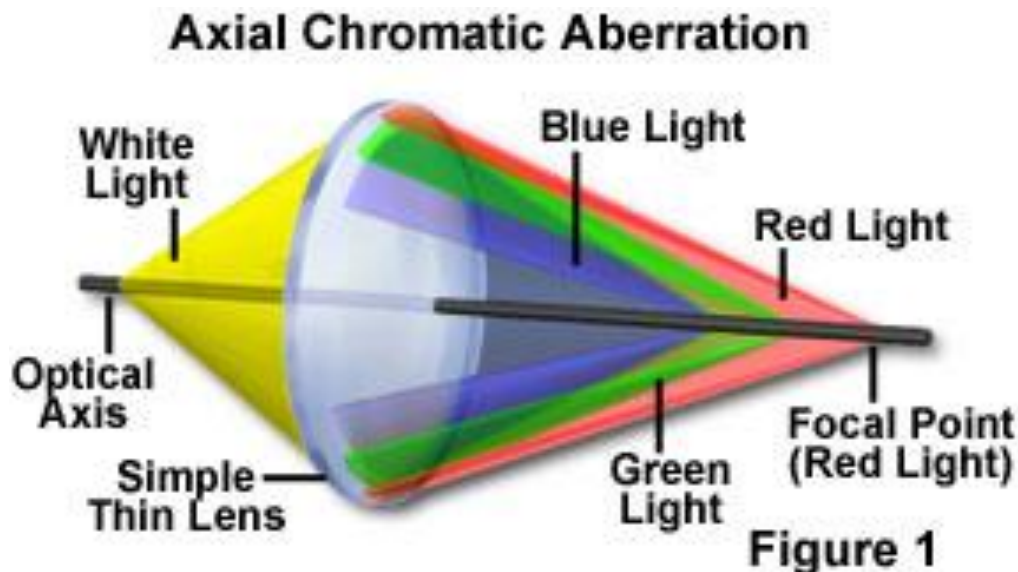
$$\Phi = \sqrt{\frac{\eta}{8V}} \int_{-\infty}^{\infty} B_z(z) dz$$

Szférikus aberráció



Korrigálása: objektívblende szűkítése

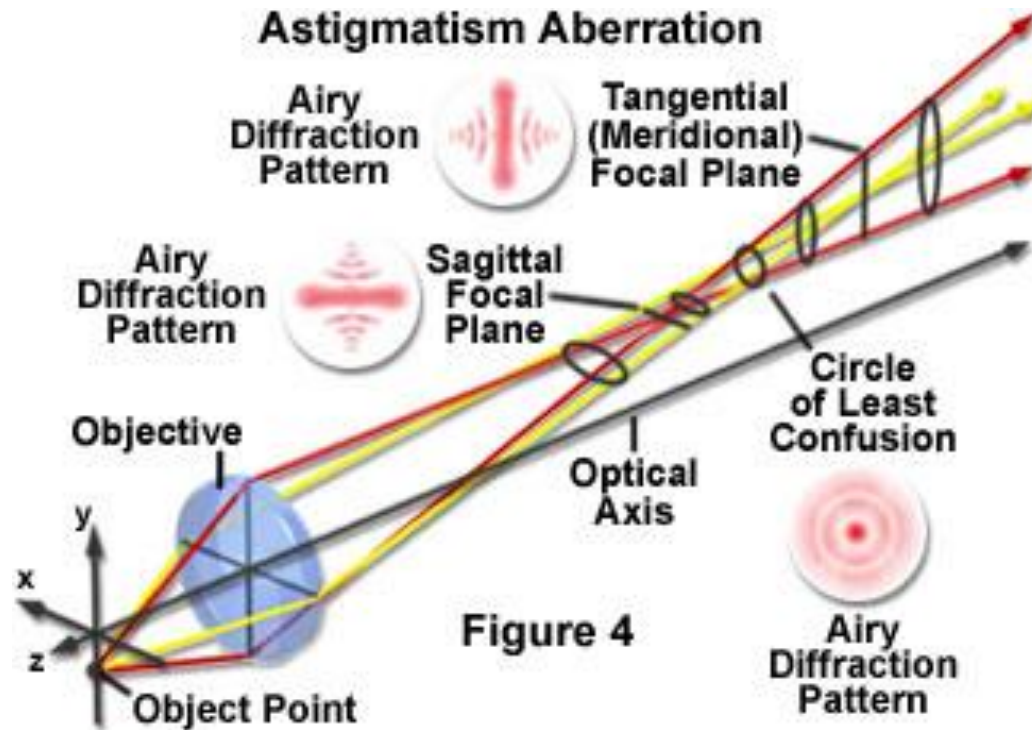
Kromatikus aberráció



Korrigálása: az elektronenergia szórásának minimalizálása.

$$\Delta E_{\text{term}} = 1-2 \text{ eV}, \quad \Delta E_{\text{térem.}} = 0,2-0,3 \text{ eV}$$

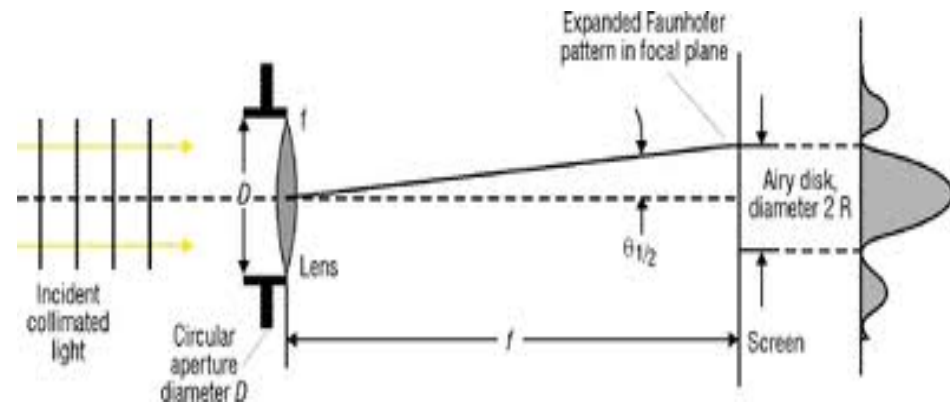
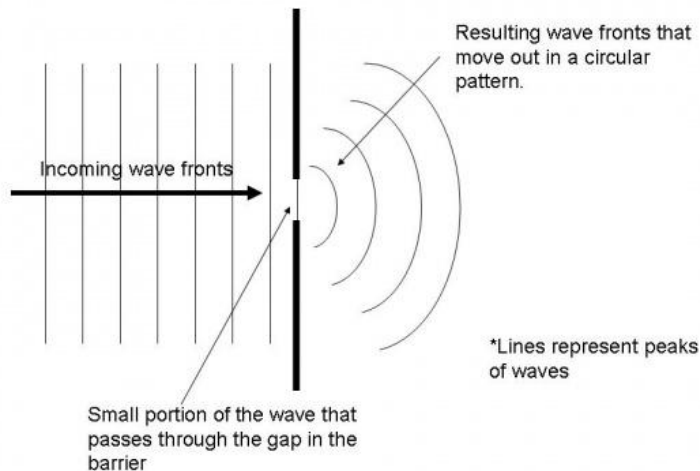
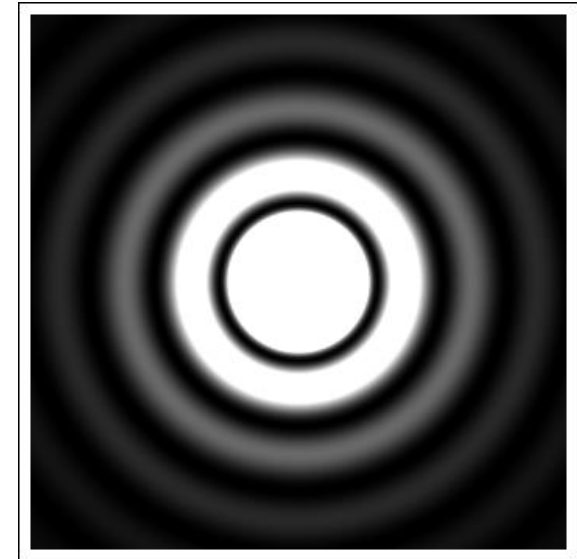
Asztigmatizmus



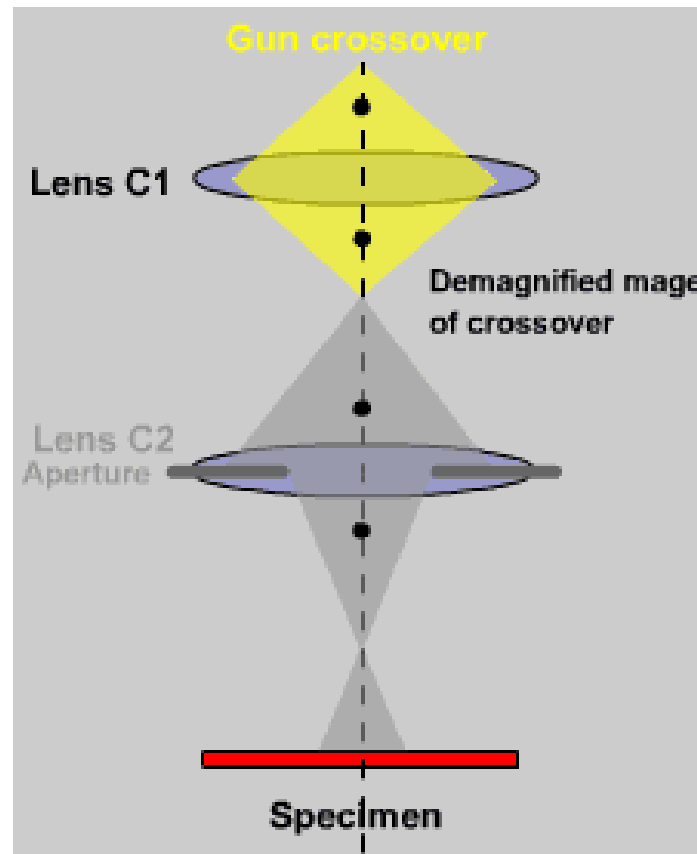
Korrigálása: kompenzáló
elektromágneses tér.

Diffrakciós hiba

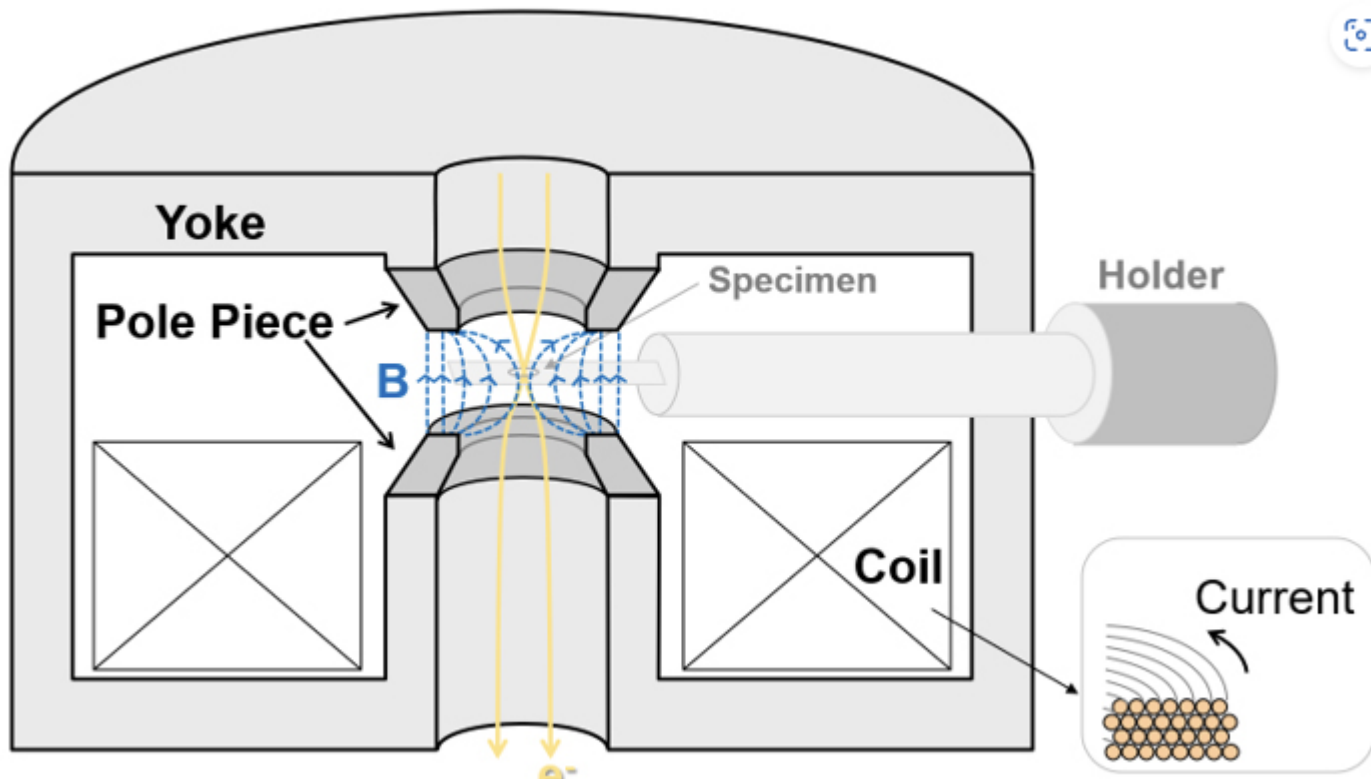
- Az objektívblende szélén a nyaláb elhajlik, és ún. Fraunhofer-diffrakciót hoz létre



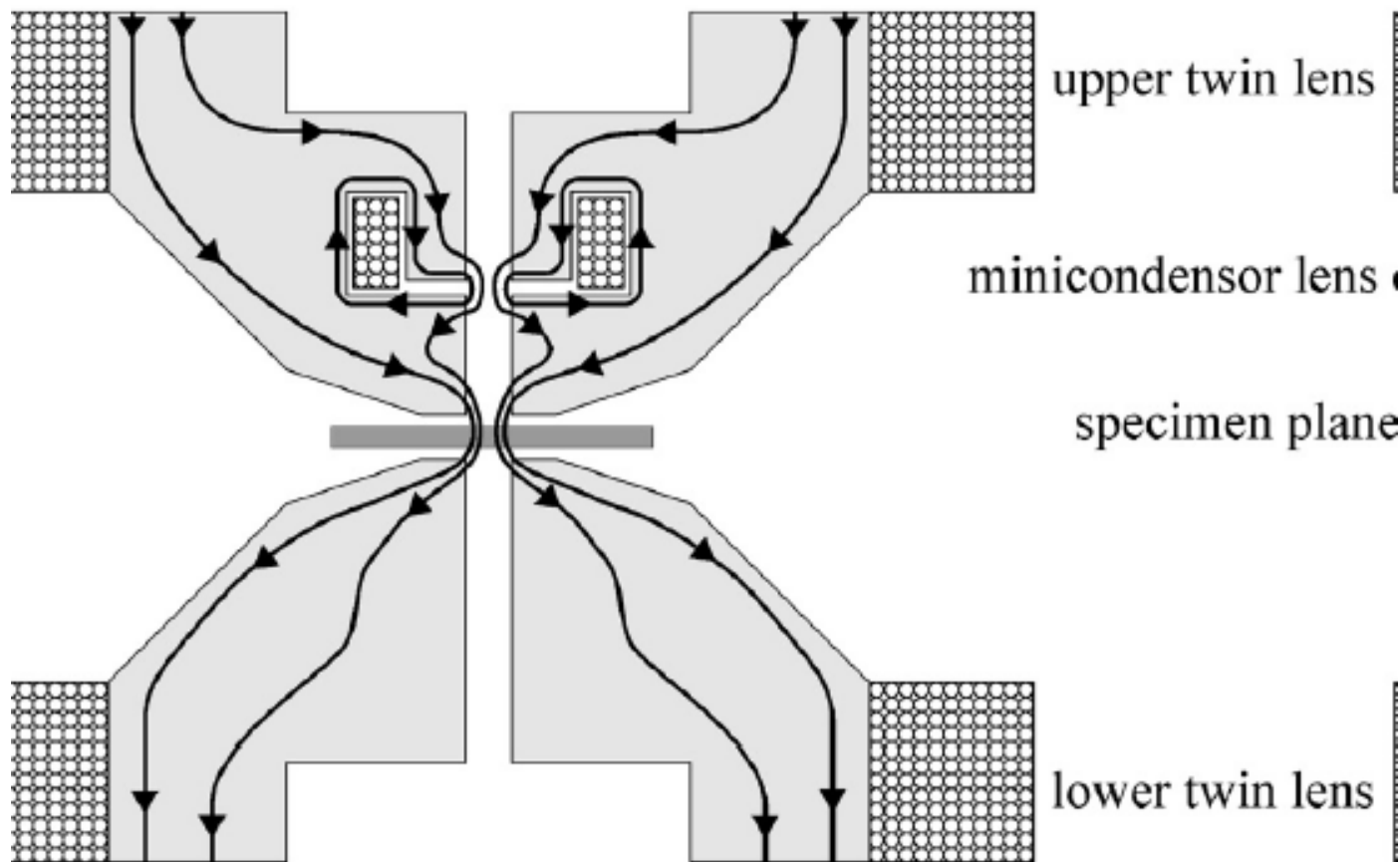
Kondenzor-rendszer



Objektívlencse



Objektívlencse



Vetítőrendszer

- Az objektív által előállított képet nagyítja tovább a megfigyelőernyőre.
- Nagyítás: $5000 - 1\,000\,000 \times$
- A vetítőrendszer tárgyoldali fókuszsíkját az objektívlencse képsíkjára állítva a minta képét kapjuk.
- A vetítőrendszer tárgyoldali fókuszsíkját az objektívlencse képoldali fókuszsíkjára állítva a minta diffrakciós képét kapjuk.