

ATOMSPEKTROSZKÓPIAI MÓDSZEREK

.

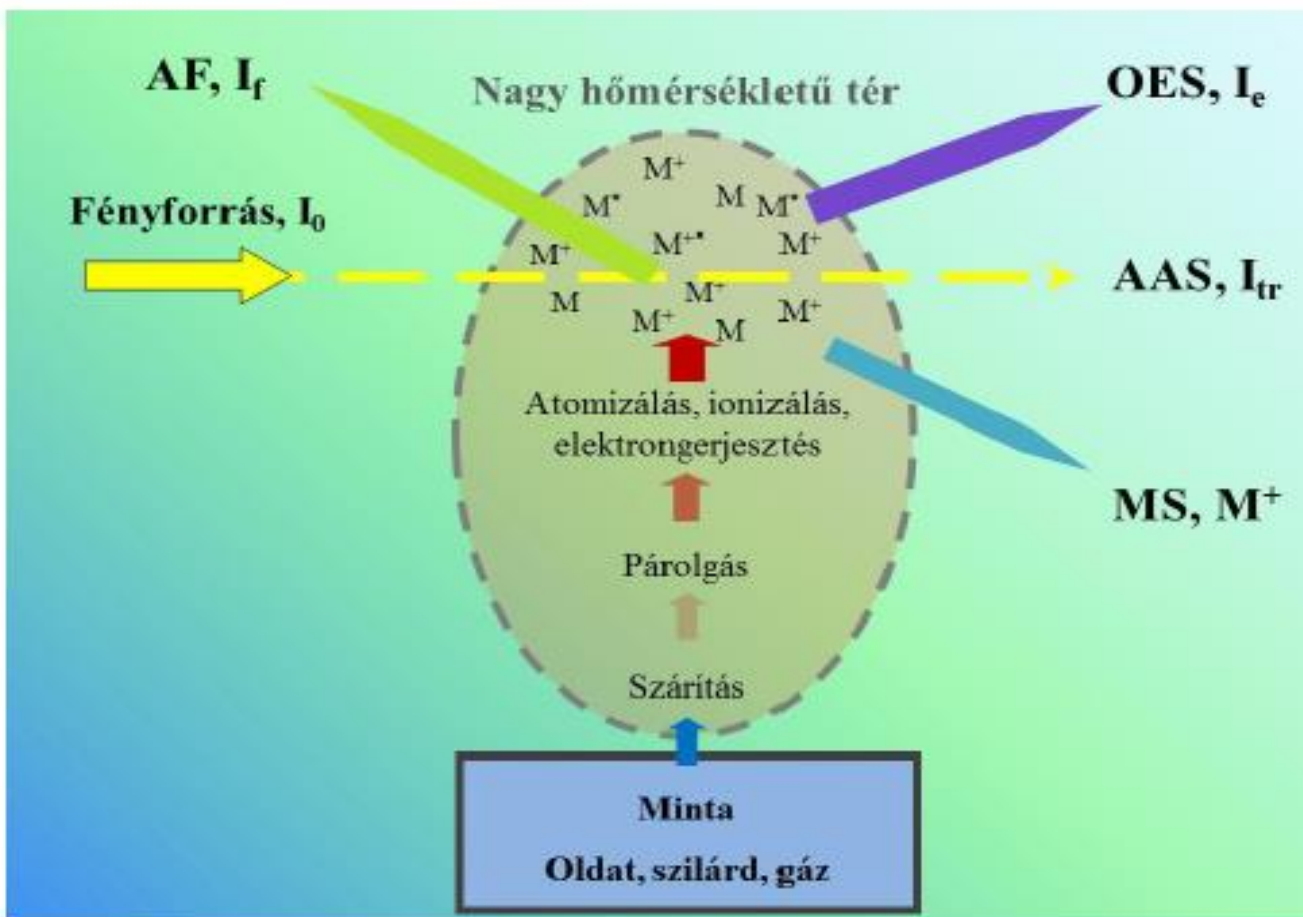
1. Az atomspektroszkópiai módszerek felosztása

- Az analitikai információt szabad atomok (atomos gáz) ill. szabad ionok (ionizált atomos gáz) elektrongerjesztéséből származó kis félerértékszélességű vonalakkól álló atomspektrum hordozza.

Az analitikai információ származhat:

- 1.1.** Szabad atomok ill. szabad ionok spontán fotonemissziójából (**atomemissziós módszer, AES**, Atomic Emission Spectroscopy, pl. F-AES, ICP-OES, HG-AES).
- 1.2.** Szabad atomok fotonabszorpciójából (**atomabszorpciós módszer, AAS**, Atomic Absorption Spectroscopy, F-AAS, GF-AAS, CV-Hg-AAS, HG-AAS).
- 1.3.** Szabad atomok fotonokkal történő gerjesztését követő emissziójából (**atomflureszcenciás módszer, AFS**, Atomic Fluorescence Spectroscopy, pl. CV-Hg-AF, HG-AF).
- 1.4.** Szabad ionok tömegének meghatározása **alapján(tömegspektrometriás módszer, MS**, Mass Spectrometry, pl. ICP-MS)

1. ábra. Szabad atomok (ionok) előállítása és meghatározási lehetőségei



2. Minőségi analízis:

Alapja a vonalas spektrum, melynek jellemzői:

- a Gauss-görbe típusú vonalak félértékszélessége nagyon kicsi (5-20 pm)
- a vonalak helye a spektrumban (hullámhossz) és a vonalak intenzitásaránya ujjenyomatszerűen jellemző az adott atomra, mert:
 - a vonalak helyét (hullámhosszát) az atom szerkezete (az elektronpályák energiaszintjei) határozza meg, így az atom csak olyan energiájú (hullámhosszú) fotonnal gerjeszthető, amelyik éppen megfelel két elektronpálya energiakülönbségének.
 - a vonalak relatív intenzitását (egymáshoz viszonyított magasságukat) egy-egy elektronátmenet valószínűsége (gyakorisága) határozza meg, ami az adott atomnál szintén állandó.

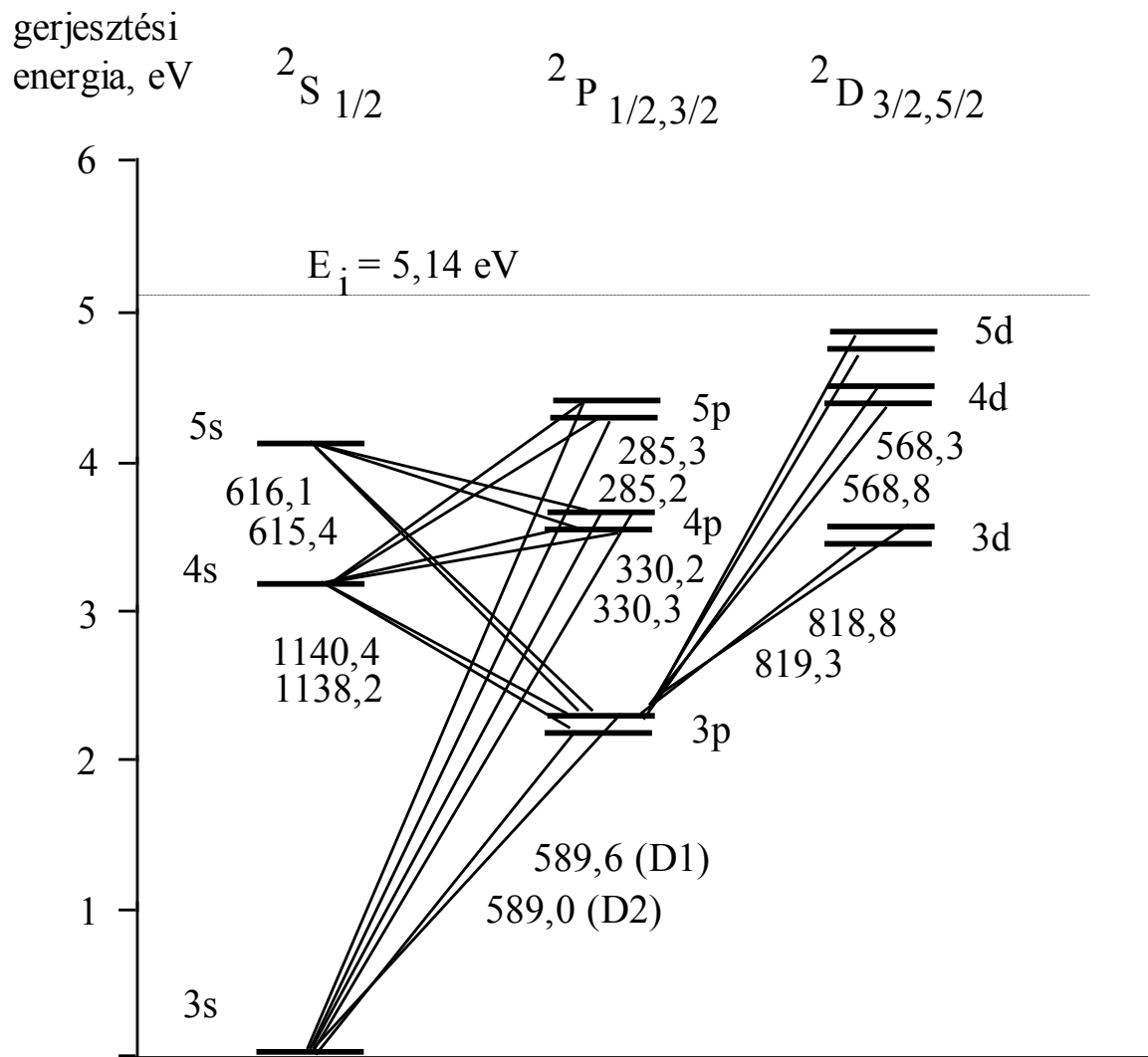
Egy elektronátmenet energiakülönbsége:

ahol:	E (J)	$\Delta E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$
	$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$	a foton energiája
	ν (s^{-1})	Planck-állandó
	λ (m)	a sugárzás frekvenciája
	c (m/s)	a sugárzás hullámhossza
		a hullám terjedési sebessége

2. ábra. A nátrium termvázlata

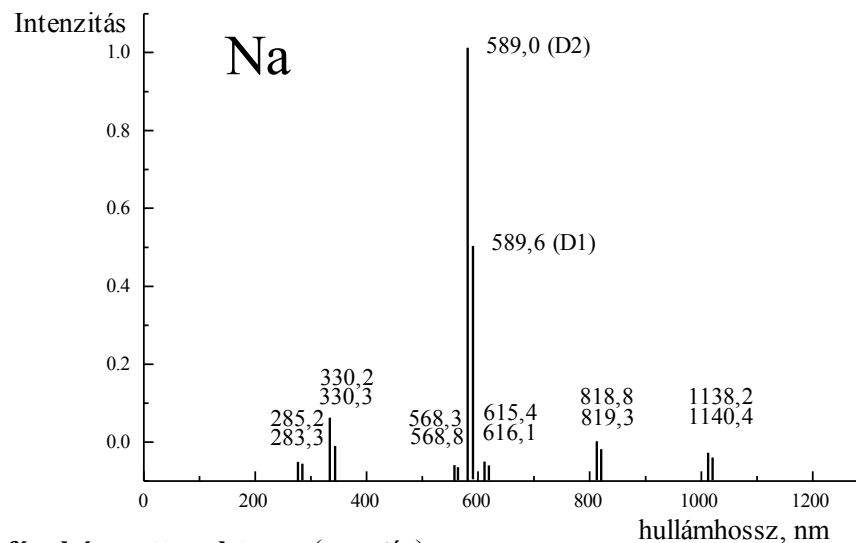
Elektronkonfiguráció: $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$

termvázlat

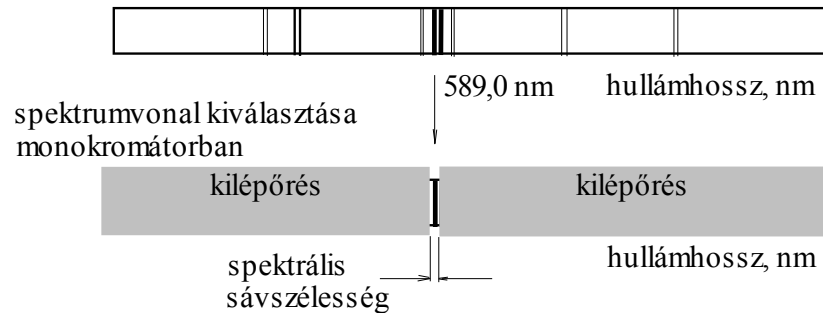


3. ábra. A nátrium regisztrált és fényképezett spektruma

regisztrált spektrum



fényképezett spektrum (negatív)



3. Mennyiségi analízis (koncentráció meghatározás):

Az adott atomra jellemző, nagy intenzitású vonalon végzett mennyiségi analízis analitikai függvényei:

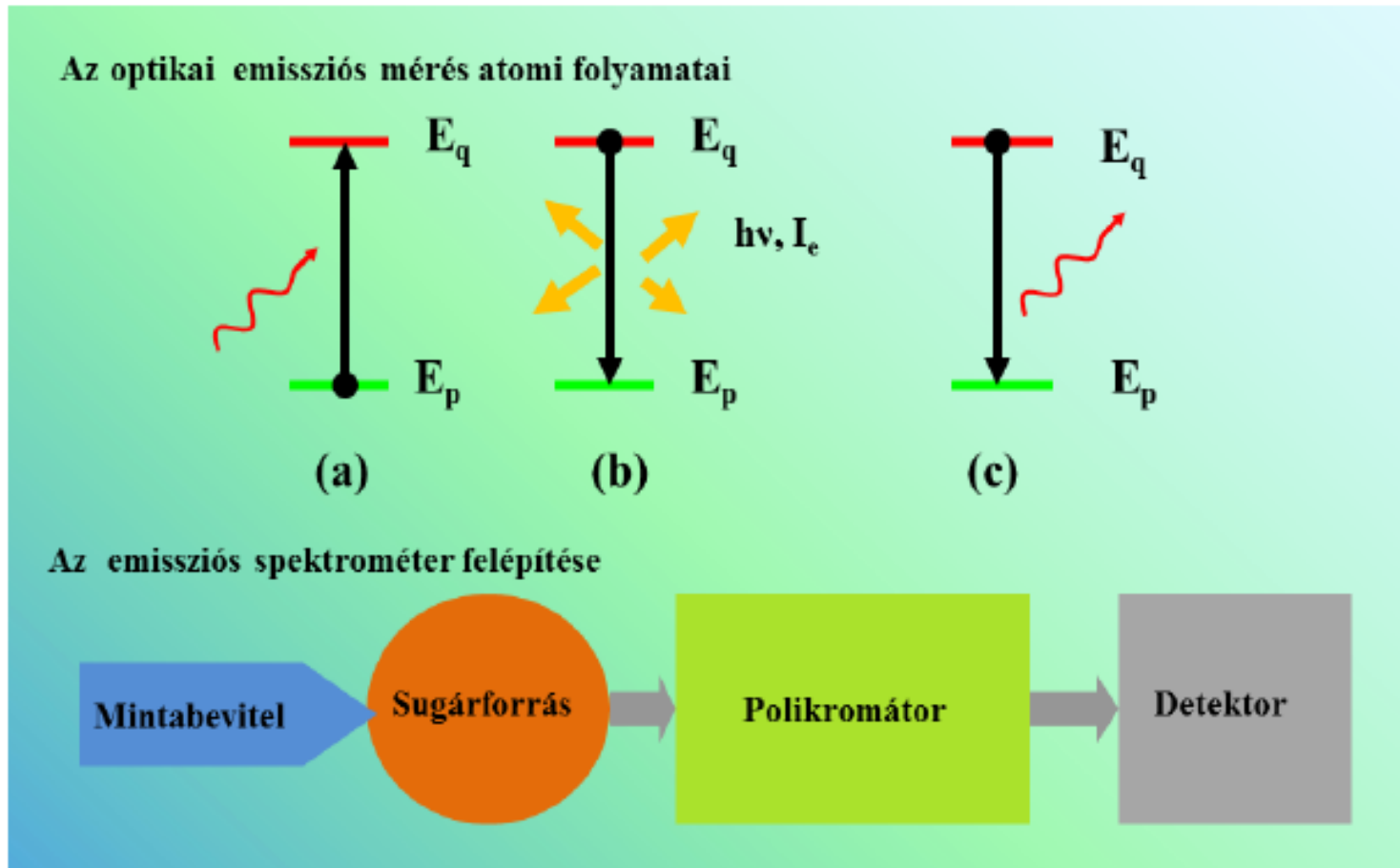
1. Atomemissziós mérés (AES): $I_e = k \cdot c$ (Lomakin-Scheibe törv.)

2. Atomabszorpciós mérés (AAS): $A = -\lg T = -\lg I_{tr} / I_0 = k_a \cdot c$
(Lambert-Beer törv.)

ahol:	I	a sugárzás intenzitása
	k	állandó
	c	a minta koncentrációja
	T	transzmittancia
	A	abszorbancia

4. Atomemissziós módszerek (AES)

4. ábra. Az AES mérés atomi folyamatai és mérési elrendezése



4.1. Az atomemissziós módszerek csoportosítása (sugárforrások)

A csoportosítás alapja: sugárforrás

- A sugárforrásokban több lépésben a minta **atomizálása** (ionizálása) és a gáz halmazállapotú szabad atomok (ionok) **gerjesztése** történik.
- A leggyakrabban **termikus sugárforrásokat** alkalmazunk, amelyekben az atomizáció és a gerjesztés magas hőmérsékleten, a sugárforrásban lévő nagy kinetikus energiájú részecskékkel (atomok, molekulák, ionok, gyökök, elektronok) történő ütközések következtében valósul meg.

Termikus sugárforrások:

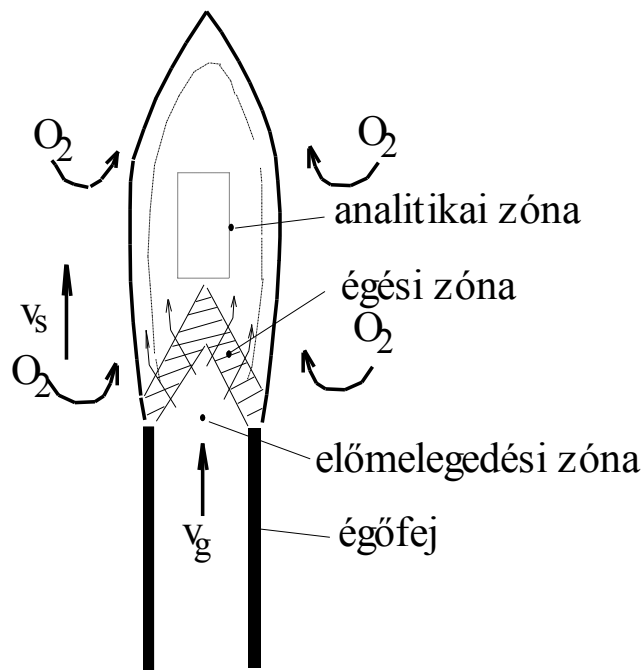
- Lángok (stacioner, lamináris lángok)

- **diffúziós** (H₂-Ar-levegő) (~1000 °K)
- **előkevert**
 - levegő-propán (~1900 °K)
 - acetilén-levegő (~2300 °K)
 - acetilén-dinitrogén-oxid (~2800 °K)
 - sztöchiometrikus (C₂H₂+5N₂O =2 CO₂+ H₂O + 5 N₂)
 - oxidáló (N₂O felesleg)
 - redukáló (C₂H₂+2 N₂O = 2 CO + H₂ + 2 N₂)

- **Plazmák:**
 - egyenáramú ív
 - váltóáramú ív (szikra)
 - induktív csatolású plazma (ICP)

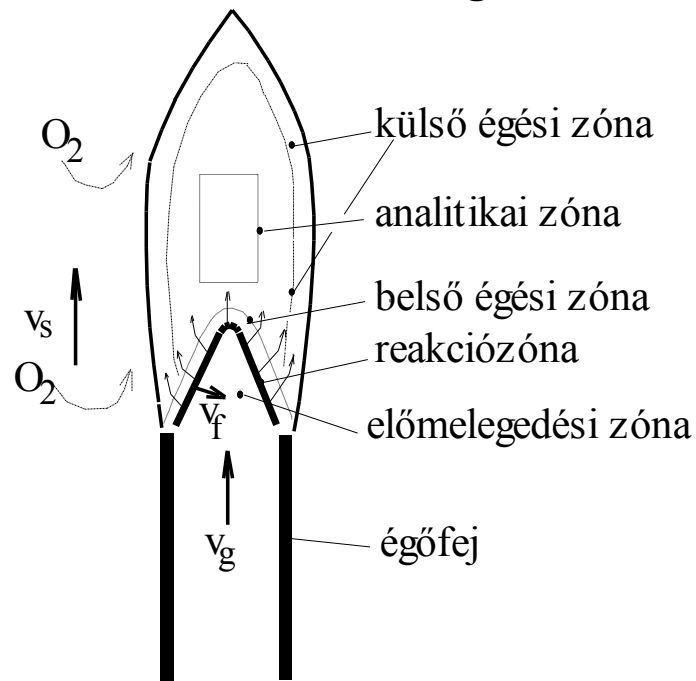
5. ábra. A lángok szerkezete

lamináris, diffúziós láng



hidrogén-argon gázelegy
+
minta-aeroszol (frakció < 10 μ m)
a porlasztókamrából

lamináris, előkevert láng



acetilén-levegő gázelegy
+
minta-aeroszol (frakció < 10 μ m)
a porlasztókamrából

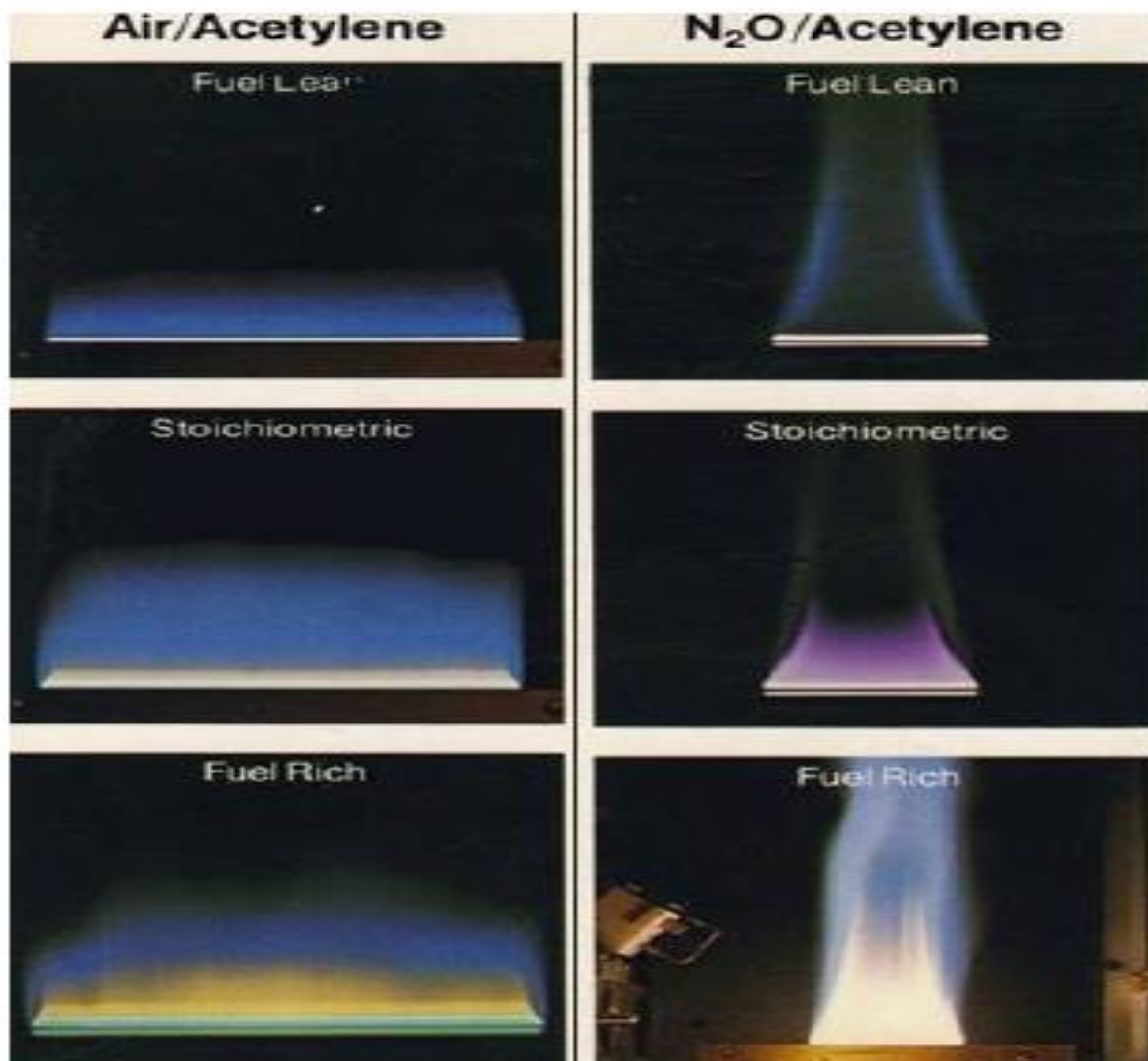
jelölések: v_g lineáris gázsebesség
 v_f fundamentális lángsebesség

v_s a lánggázok és a minta
lineáris sebessége

6. ábra. Különböző összetételű levegő-acetilén ill. levegő-N₂O lángok képe

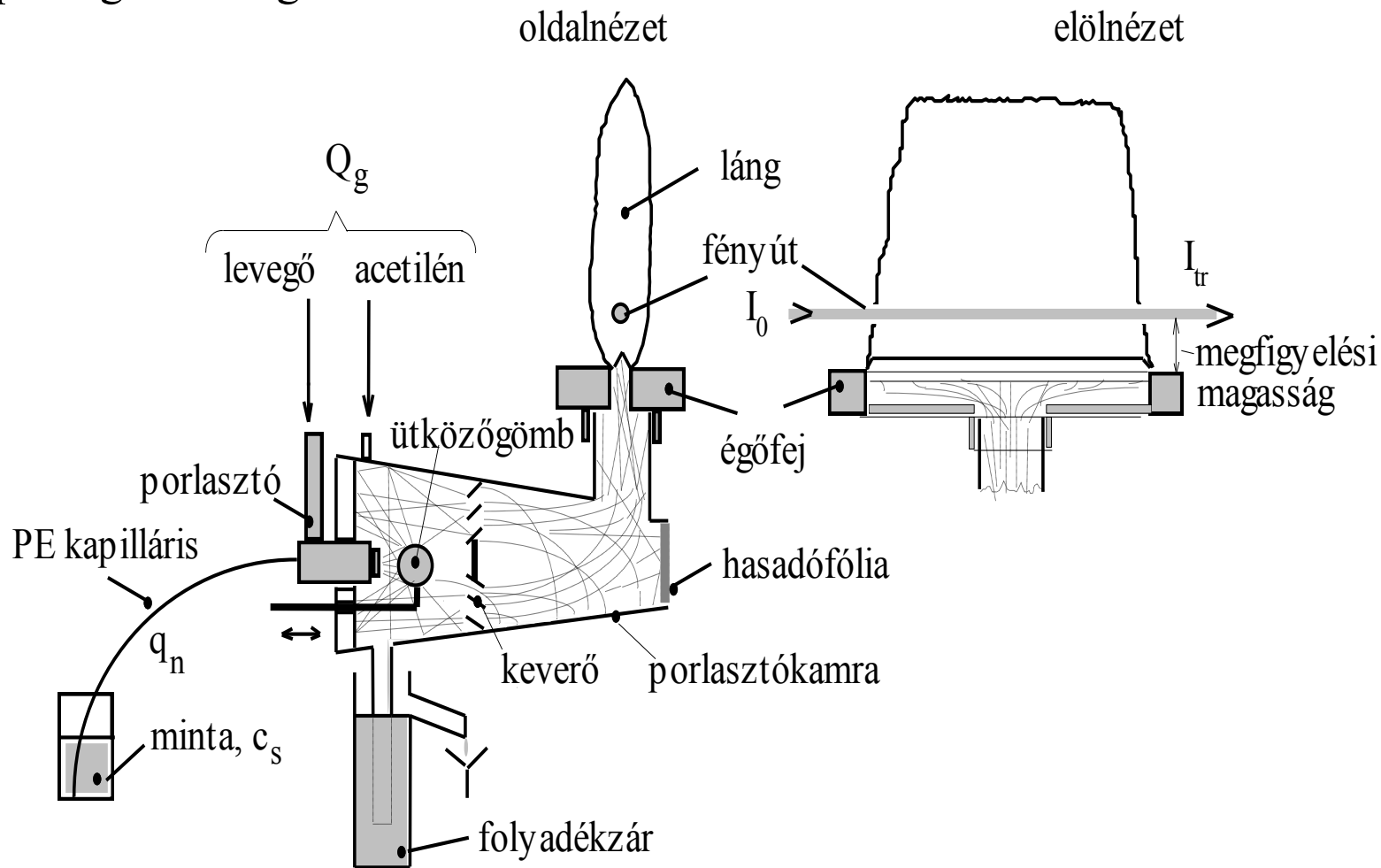
fuel lean: éghető anyagban szegény (oxidáló)

fuel reach: éghető anyagban gazdag (redukáló)

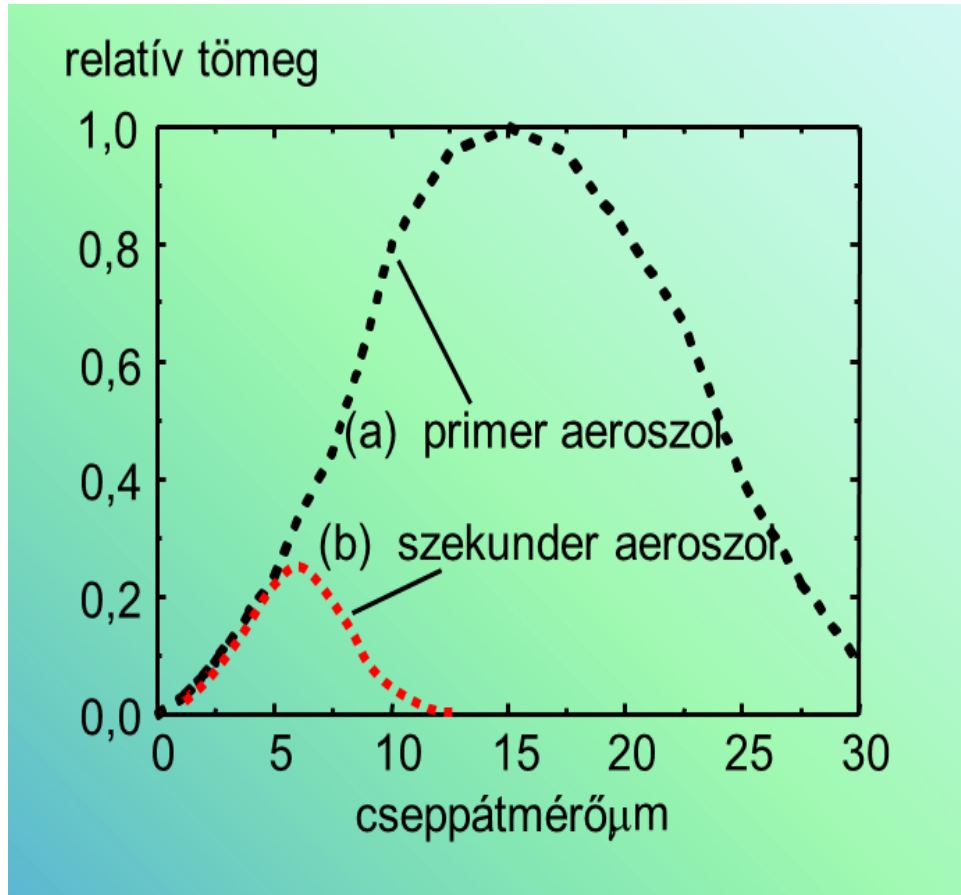


7. ábra. Mintabevitel a lángokba:

Egy-egy adott koncentrációjú oldat mérése során folyamatos. Pneumatikus porlasztással a folytonos folyadékfázist (mintaoldat) diszkrét, kis méretű cseppekre bontjuk (aeroszol). A porlasztást a lángot alkotó égést tápláló gázzal végezzük.



8. ábra. Cseppméret-eloszlás a porlasztókamrában

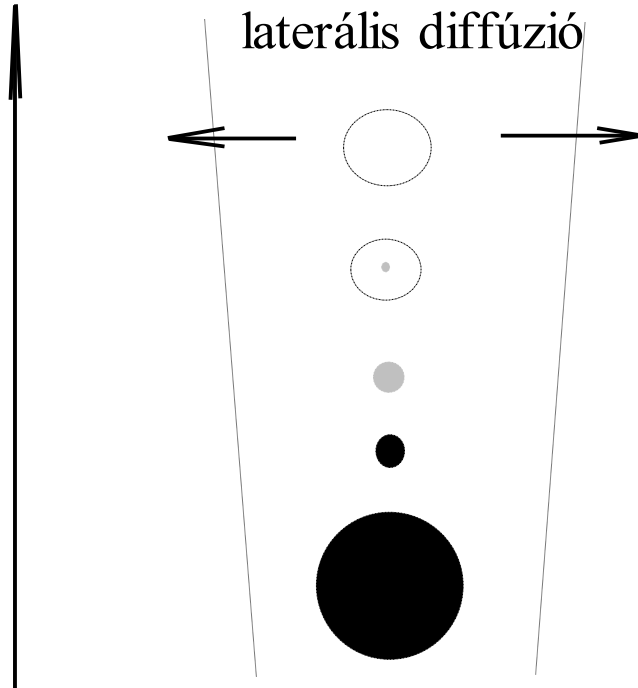


Jellemzők:

- A porlasztógáz biztosítja a diszpergáláshoz szükséges energiát, a gáz maximális sebessége elérheti a hangsebességet.
- A porlasztó fűvókájában keletkező primer aeroszorból a porlasztókamrában a cseppek ütköztetésével, ill. a nagyméretű cseppek ülepítésével állítjuk elő a megfelelő méretű szekunder aeroszolt (max. 10 μm cseppátmérő).

9. ábra. Az atomizáció lépései a láng sugárforrásban

konvekció



szabad atomok ionizációja
atomizáció, molekulák disszociációja
szabad atomok keletkezése

szublimáció, párolgás
molekuláris gőz keletkezése

olvadék keletkezése

szilárd maradék képződése
 $\phi 0,05 \mu\text{m}$

oldószer elpárolgása

oldatcsepp belépése, $\phi 5 \mu\text{m}$

a minta haladása a forrásban

v_s (láng) = kb. 10 m/s

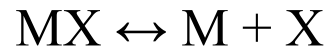
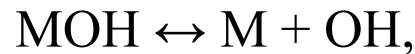
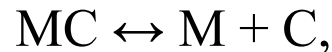
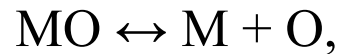
v_s (ICP) = kb. 1 m/s

4.2. A szabad atomok keletkezésének és gerjesztésének mechanizmusa

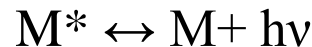
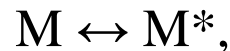
A lángok magas hőmérsékletén a nagy molekulák nem stabilak, elbomlanak egyszerű stabil kétatomos molekulákra, amelyek leggyakrabban:

monoxidok, monohidroxidok, karbidok, halogenidek

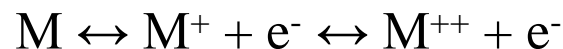
A szabad atomok a kétatomos molekulák disszociációja során keletkeznek:



A szabad atomok gerjesztődnek, majd rövid idő múlva (10^{-8} s) ütközéssel, vagy fotonemisszióval visszakerülnek alapállapotba:

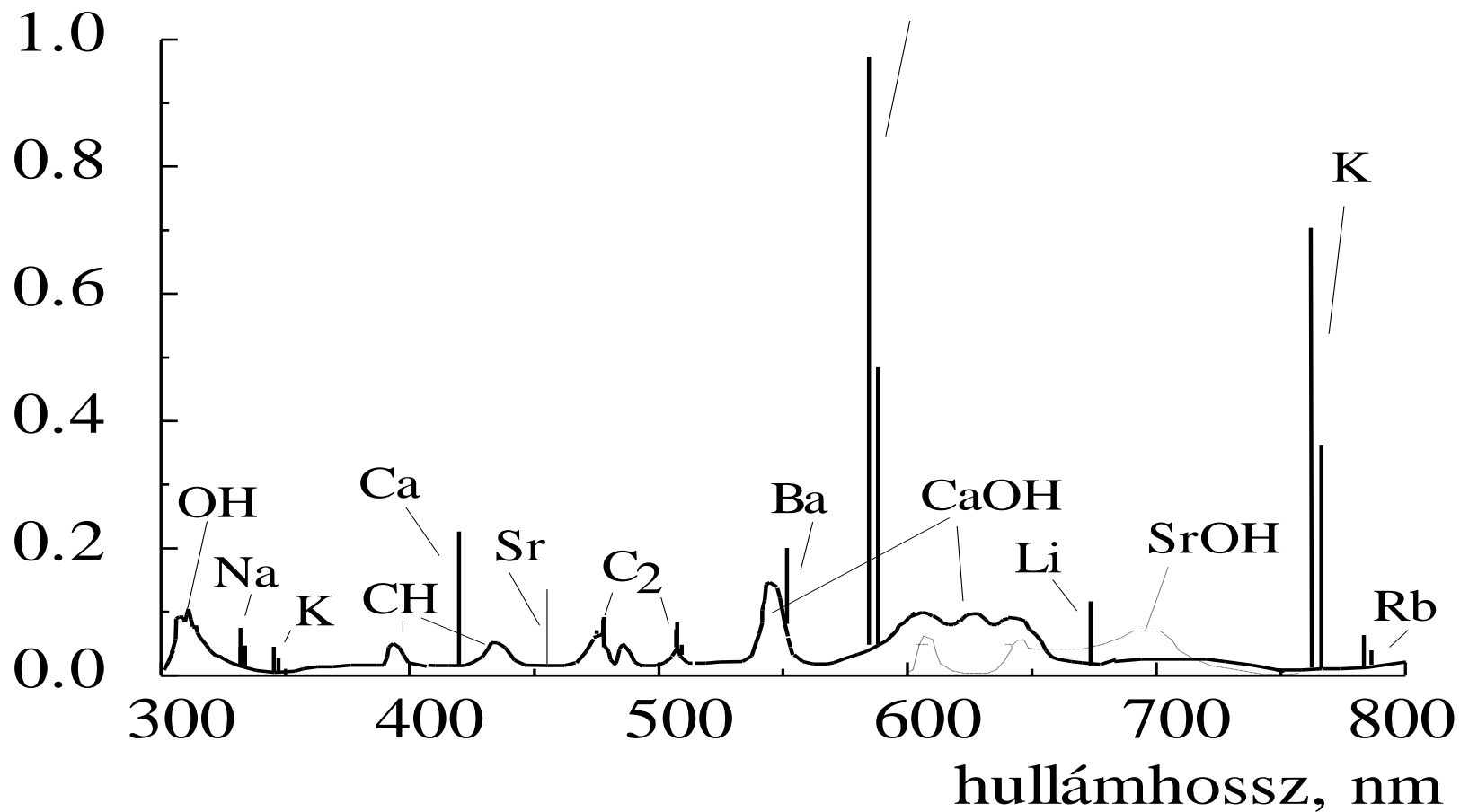


Ha forrás energiája kellően nagy a szabad atomok mellett egyszeres, vagy kétszeres töltésű szabad ionok is keletkeznek:



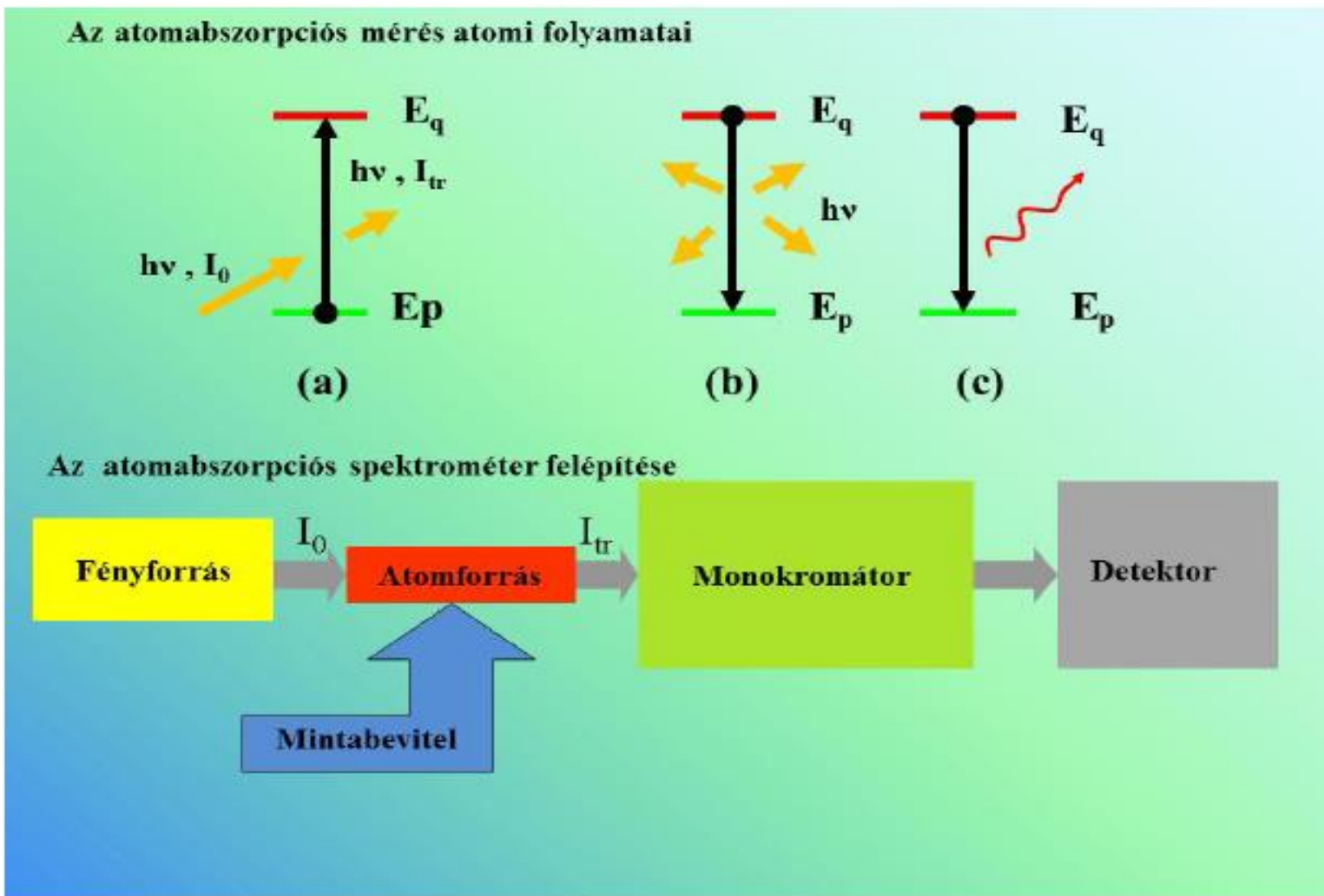
10. ábra. Alkáli- és alkáliföldfémek emissziós spektruma levegő-acetilén lángban

intenzitás



5. Atomabszorpciós módszerek

11. ábra. Az AAS mérés atomi folyamatai és mérési elrendezése



5.1. Az atomabszorpciós módszerek csoportosítása

A csoportosítás alapja: atomforrás

Az atomforrásokban több lépésben a minta **atomizálása** (ionizálása) történik. Az atomok gerjesztéshez szükséges energiát nem az atomforrás, hanem külső energiaforrás (fényforrás → vájtkatódú lámpa) biztosítja.

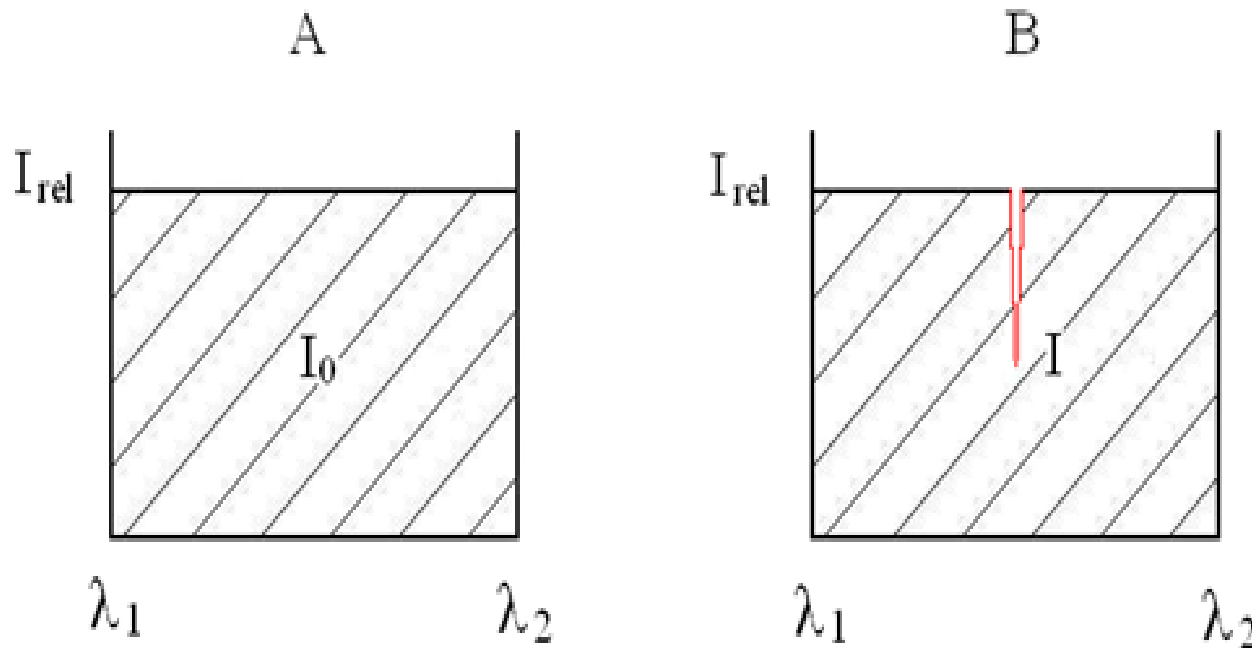
Atomforrások:

- **Lángok:** stacioner, lamináris lángok (ua., mint az AES módszereknél, de a láng csak atomizálásra szolgál).
- **A láng atom(sugár)források hátránya:** a porlasztásos mintabevitel
- **Elektrotermikus atomforrás** (grafitkemence): az elektromosan fűtött grafitcsőbe helyezett (folyadék, vagy szilárd) minta termikus úton atomizálódik.
- **Kémiai atomizáció:**
 - **Hideg gőzös módszer:** higany meghatározására
 - **Hidrid módszer:** kovalens hidridet képező elemek (As, Sb, Sn, Pb, Se) meghatározására

(A szobahőmérsékleten gáz halmazállapotba vitt Hg, ill. hidridek nagy hatékonysággal vihetők láng-AAS készülék atomforrásába, vagy ICP-OES készülék plazma sugárforrásába.)

5.2. Az atomok gerjesztése az atomforrásban

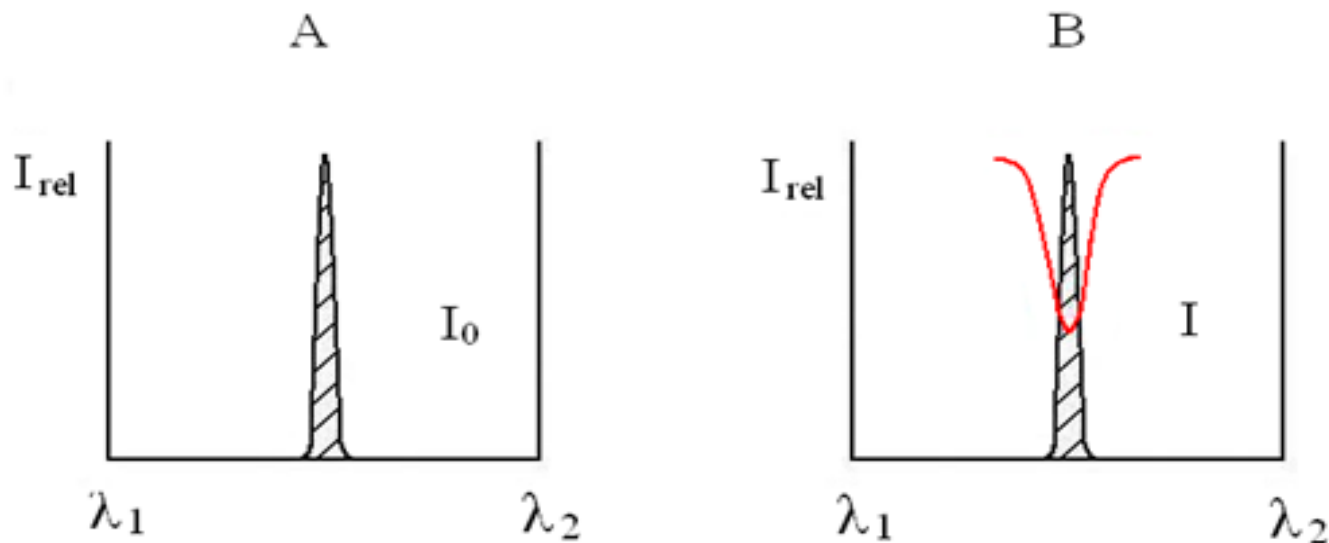
- A gerjesztést külső energiaforrásban (fényforrás) előállított elektromágneses sugárzással (fotonokkal) végezzük.
- Nehézséget okoz, hogy a szabad atomok abszorpciós csúcsának félértékszélessége csak $\sim 5\text{-}20$ pm ($0.005\text{-}0.02$ nm), míg egy közepes felbontású monokromátor félértékszélessége ≥ 100 pm (0.1 nm),
- Ezért: folytonos megvilágító fényforrás esetén a belépő gerjesztő sugár intenzitása (I_0) és a kilépő (transzmittált) sugár (I_{tr}) intenzitása között kicsi a különbség:



5.2. Az atomok gerjesztése az atomforrásban

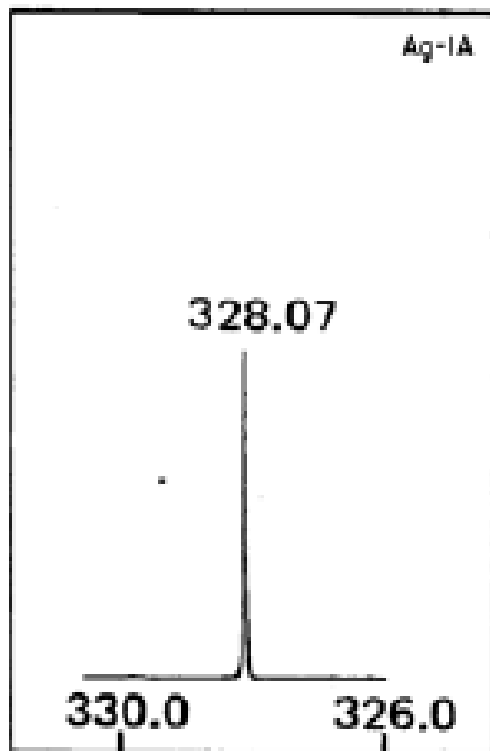
Megoldás (1965 óta): elemspecifikus fényforrás (**vájtkatódú lámpa**)

A lámpa katódja a vizsgálni kívánt elem anyagából (vagy annak ötvözetéből) készül, vagy annak vegyületével van bevonva, így ugyanazon hullámhosszokon, ugyanolyan kis félértékszélességű sugárzást bocsájt ki, mint amilyent a mérendő szabad atom elnyel, ezért az intenzitás változása jelentős \rightarrow **T** kisebb, **A** nagyobb lesz. Így elegendő egy közepes felbontású (0.1-2 nm) monokromátor is (amelyik már képes különválasztani a méréshez szükséges vonalat a fényforrás vonalas spektrumából).

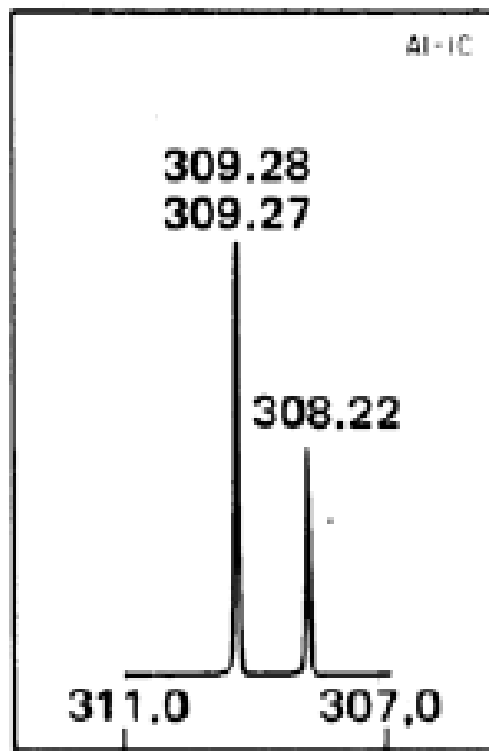


Újabb megoldás (2003 óta): nagy intenzitású folytonos fényforrás (**xenon lámpa**)
+ kettős felbontású monokromátor (0.002 nm)

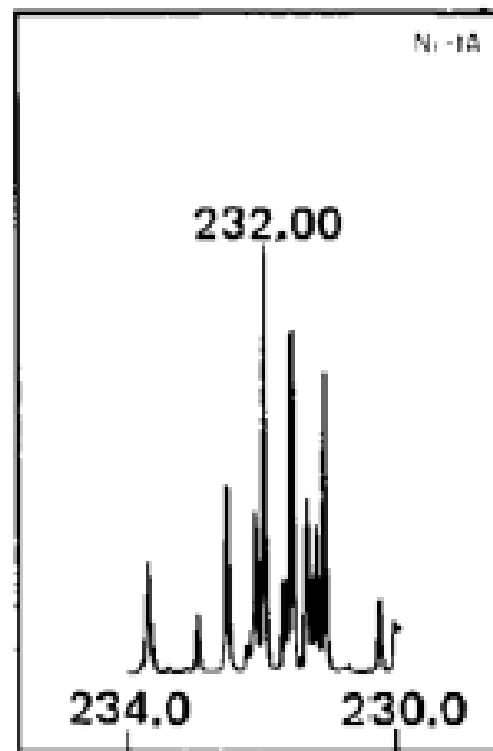
12. ábra. Vájtkatódú lámpák vonalas spektruma



Ag 328,07 nm

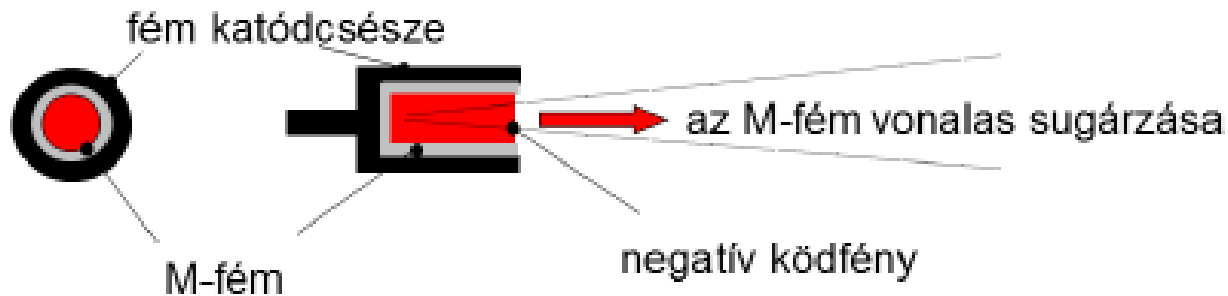
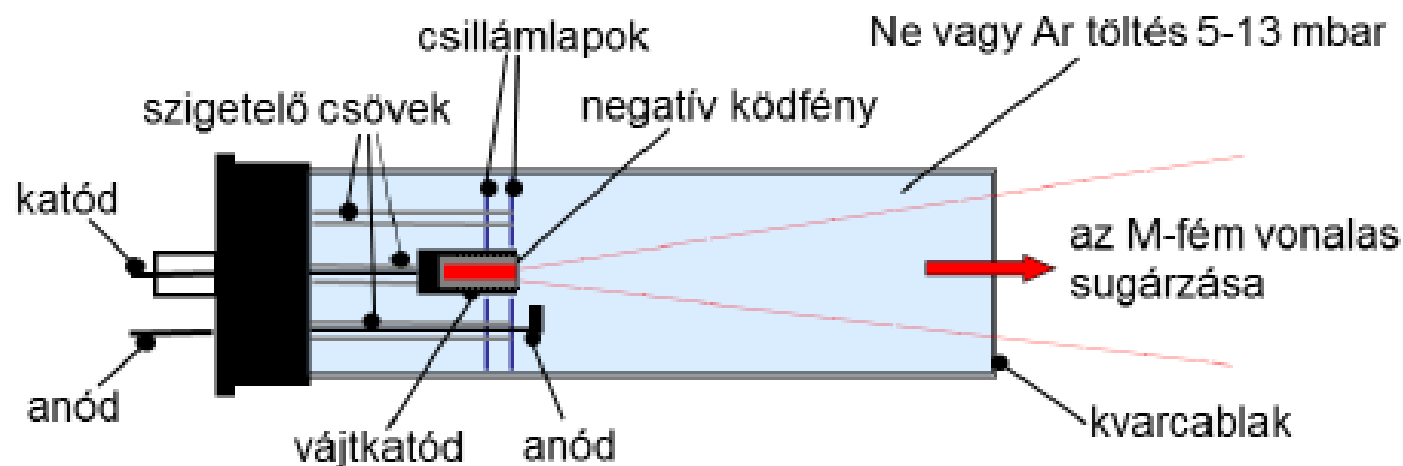


Al 309,28 nm



Ni 232,00 nm

13. ábra. Vájtkatódú lámpa felépítése



M = az adott VKL-val mérhető elem

5.3. Monokromátorok

Szerepük: a megfelelő, keskeny hullámhossztartomány kiválasztása

Felépítésük: be- és kilépő réseket, tükröket, lencséket és fényfelbontó elemeket tartalmaznak. A fényfelbontó elemek alapján **prizmás** ill. **rácsos** monokromátorokat különböztetünk meg.

Működésük alapja: a fényforrás (sugárforrás) polikromatikus sugárzásának különböző hullámhosszúságú komponenseit a fényfelbontó egység a térben különböző irányokba téríti el (diszperzió), melyek közül egy adott hullámhosszú és sáv szélességű monokromatikus sugárzás kiválasztható.

A fényfelbontó elemek jellemzése:

- felbontóképesség : $R = \lambda/\Delta\lambda$
- spektrális tartomány: hullámhossztartomány, ahol használható
ahol λ (nm) a felbontott vonal hullámhossza ,
 $\Delta\lambda$ (nm) a két szomszédos, még egymástól megkülönböztethető hullámhossz különbsége,

14. ábra. A prizma működési elve

Működésének alapja: az üveg törésmutatója (n) változik a hullámhosszal (λ), a kisebb hullámhosszakhoz nagyobb, míg nagyobbakhoz kisebb törésmutató tartozik, ezért a prizma az összetett fényt képes komponenseire bontani (**diszperzió**)

Előnye, hogy nem csökken a fényintenzitás. Hátránya, hogy a diszperzió nem lineáris, ill. vannak olyan hullámhossz-tartományok, ahol a prizma anyaga is elnyel (anomális diszperzió), itt a prizma nem használható.

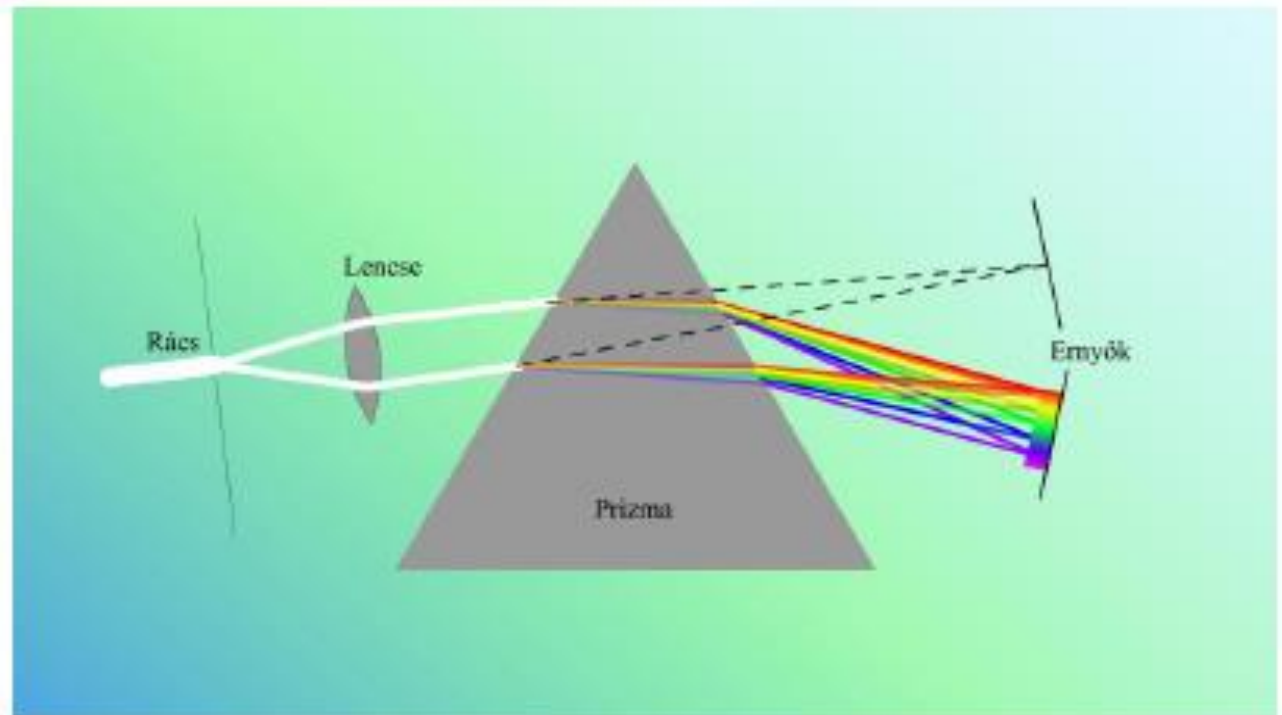
Egy prizma felbontása (R) egy hullámhossztartományban annál jobb, minél nagyobb a diszperziója (D) és a bázishossza (b).

A prizma felbontása:

$$R = \lambda / \Delta\lambda = b \cdot D$$

és diszperziója

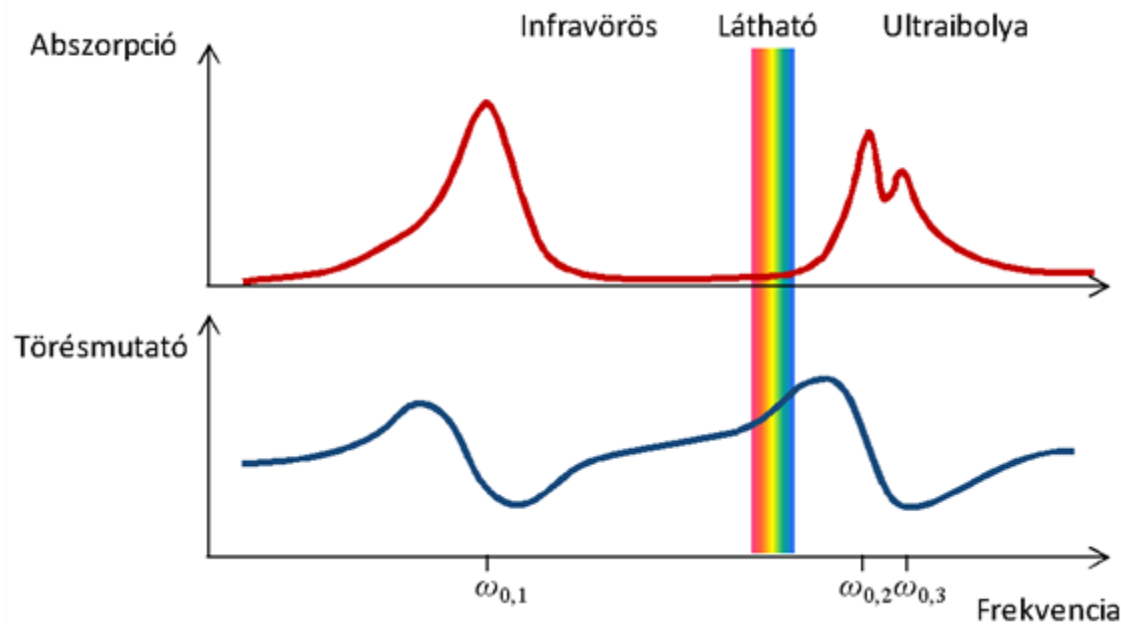
$$D = dn/d\lambda$$



15. ábra. Üveg abszorpciójának (A) és törésmutatójának (n) változása a fény frekvenciájának függvényében

Normális tartomány: nincs (vagy minimális) az elnyelés, n értéke változik a frekvenciával (így a hullámhosszal) → ebben a tartományban az üveg használható prizmaként.

Anomális tartomány: ahol az üveg elnyel, ott jelentősen csökken az átmenő fény intenzitása, ill. két frekvenciához ugyanolyan n tartozik (a csúcs két oldalán).



16. ábra. Reflexiós optikai rács működési elve

Reflexiós optikai rácsok: olyan tükrök, amelyek sűrűn, egymástól egyenlő távolságban (**d**) lévő karcolatokkal vannak ellátva: d értéke összemérhető a sugárzás hullámhosszával (IR ~ 20 vonal/mm, UV ~ 4000 vonal/mm)

Működésének alapja: diffrakció

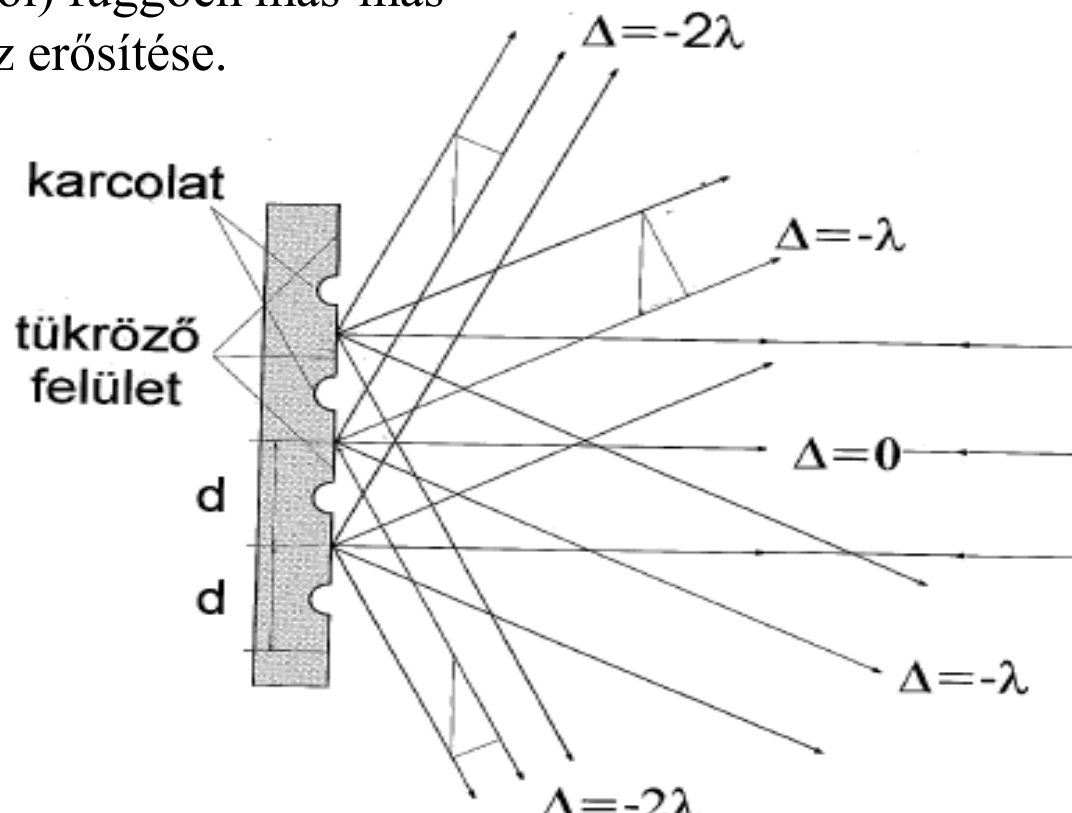
- A rácspontokon a beeső sugárzás minden irányba szóródik és a különböző rácspontokból egy irányba tartó sugarak interferálnak.

- Az iránytól (útkülönbségtől) függően más-más hullámhosszú sugárnak lesz erősítése.

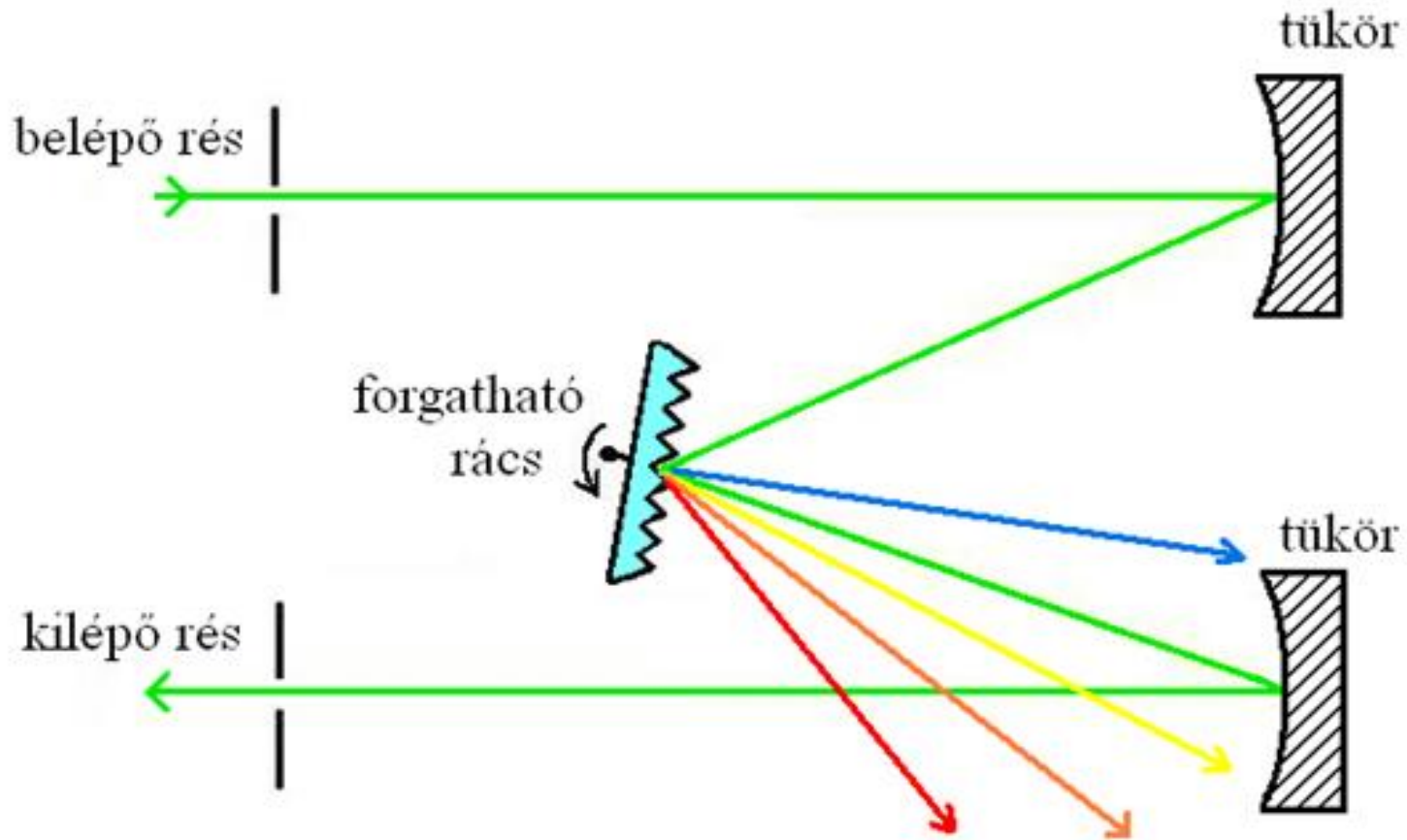
Az erősítés feltétele:

$$\Delta s = k \cdot \frac{\lambda}{2}$$

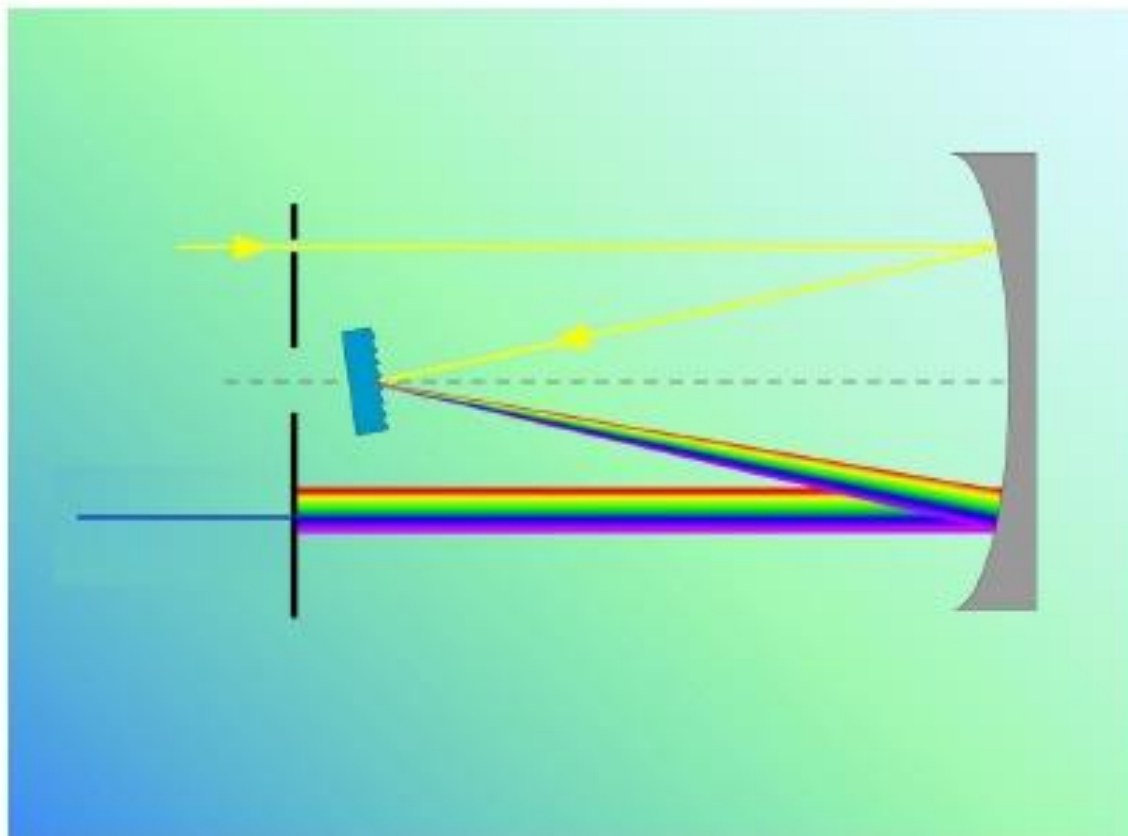
ahol k páros egész szám



17. ábra. Síkrácsos monokromátor (Czerny-Turner rendszerű)



12. ábra. Síkrácsos monokromátor (Ebert rendszerű)



5.4. Detektorok

A detektor feladata: a fényintenzitás mérése, vagyis a sugárforrásból (AES), vagy fényforrásból (AAS) a detektorba jutó **(tetszőleges hullámhosszúságú)** fotonok számával arányos (elektromos) jel (áram, vagy feszültség) előállítása.

Az UV-VIS tartományban alkalmazott detektortípusok:

a. külső fényelektromos hatás elvén működők:

- fotocella
- fotoelektronsokszorozó (**Photo Multi Player**)

b. belső fényelektromos hatás elvén működők:

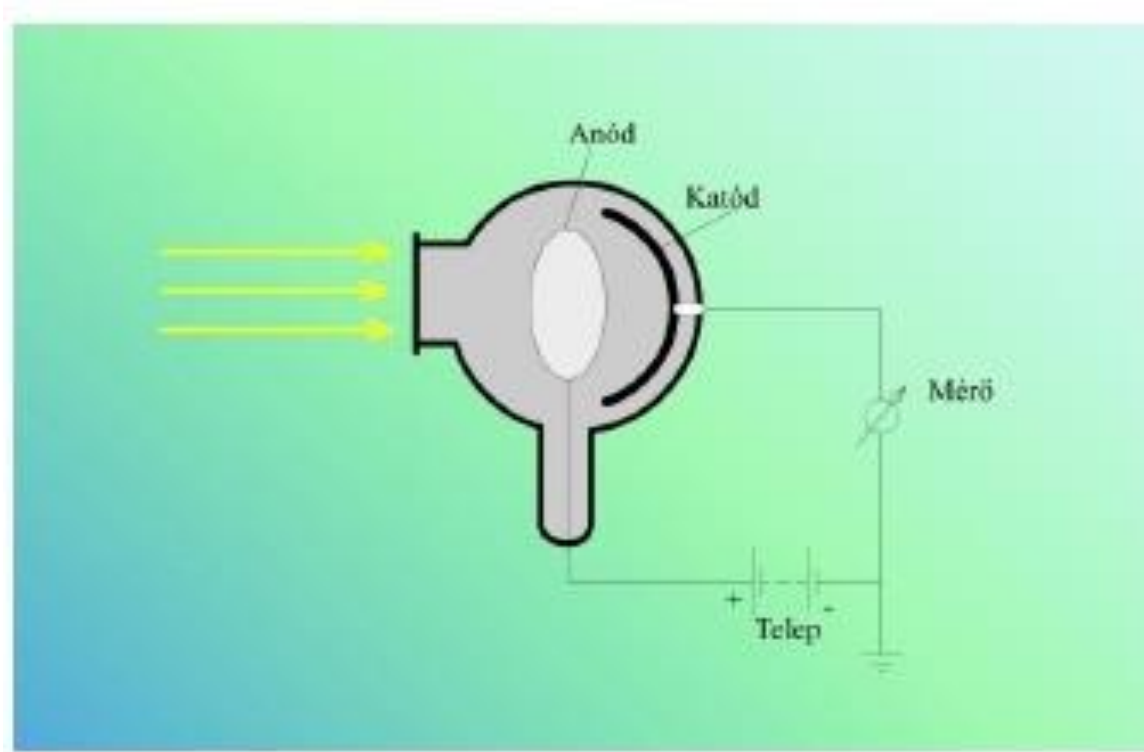
félvezetőkől vannak kialakítva

- fotodióda , fotodióda sor
- CCD (**C**harge **C**oupled **D**evice)

Láng-AES, ill. AAS készülékekben a leggyakrabban fotoelektronsokszorozót használnak.

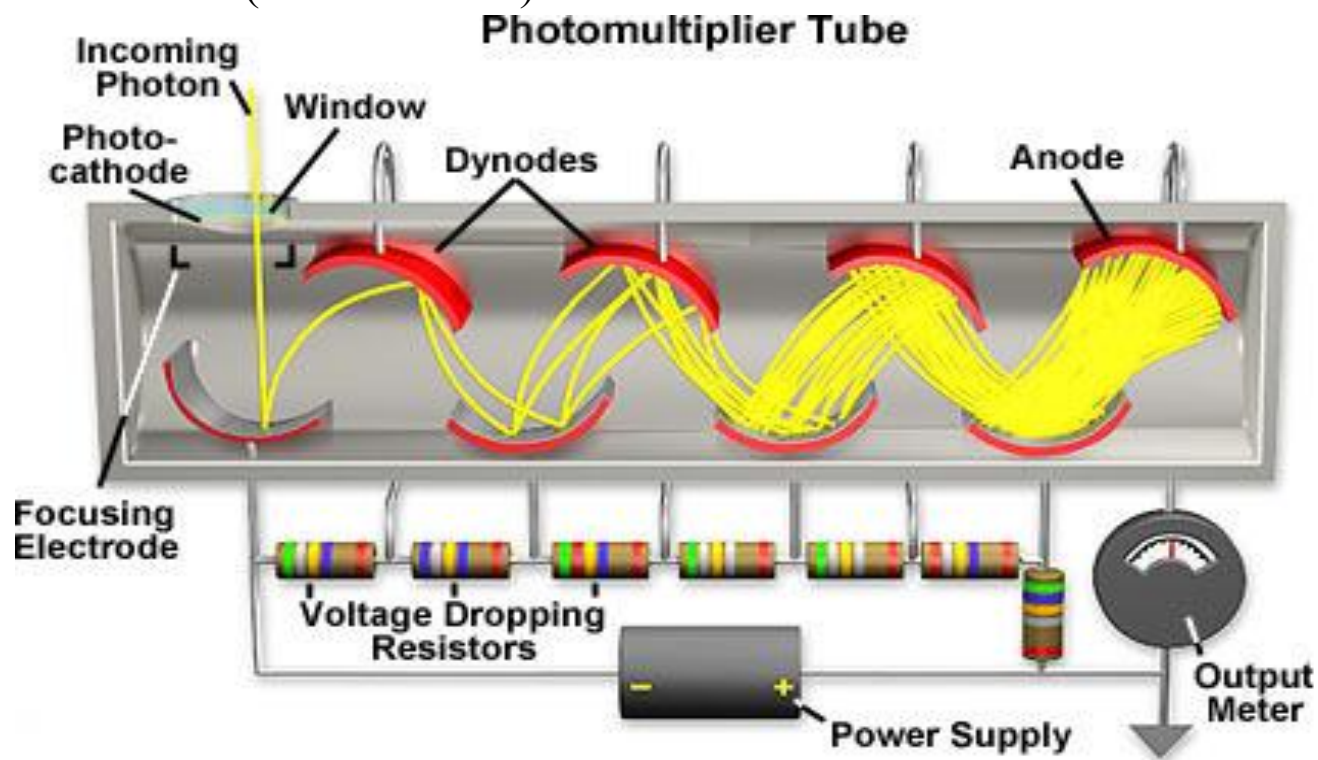
5.4.1. A fotocella működési elve (külső fényelektromos hatás)

- a fotokatódba ütköző fotonok elektronokat szabadítanak ki a katódból (ionizálják)
- a kiszabaduló elektronok (melyek száma arányos a fotonok számával) az anódba csapódva az áramkörben elektromos áramot hoznak létre
- a keletkező áram nagyobb, ha vákuum alatt lévő burában kis nyomású nemesgáz van



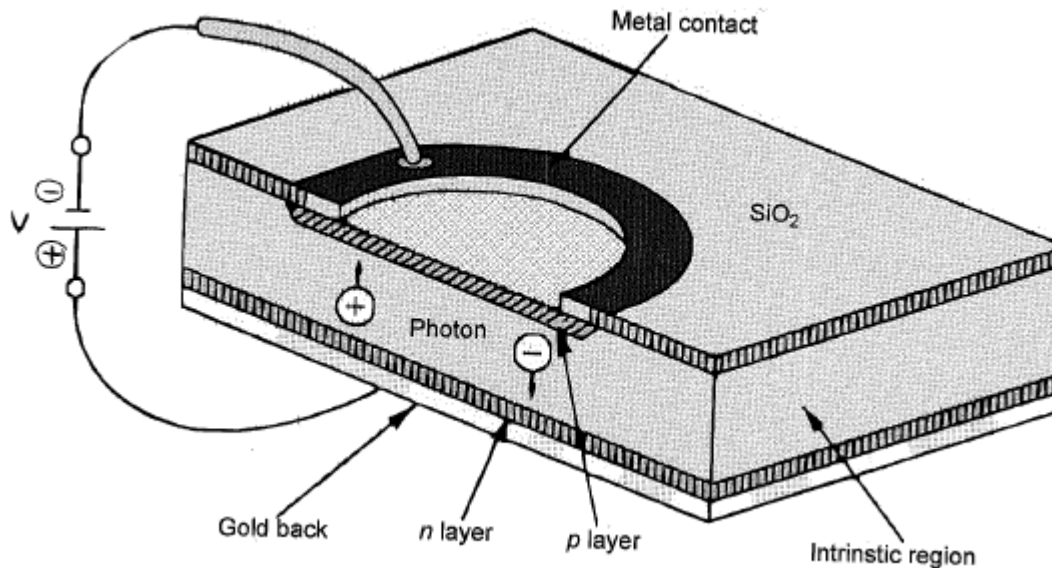
5.4.2. A fotoelektron sokszorozó működési elve

- A fotokatódba ütköző fotonok elektronokat szabadítanak ki a katódból (ionizálják)
- A kiszabaduló elektronok a katódhoz és egymáshoz képest +100 V-al nagyobb feszültségre kapcsolt dinóda felé repülnek, miközben az elektromos térben gyorsulnak (kinetikus energiájuk nő) és a dinódába becsapódva onnan egy elektron már 4-5 elektront képes kiütni.
- A folyamat a következő dinódákon sorra megismétlődik, így az anódon kilépő elektronok száma (az elektromos áram) hatványozódik, 10^6 - 10^{10} -szerese az első dinódán keletkezőének (belső erősítés).

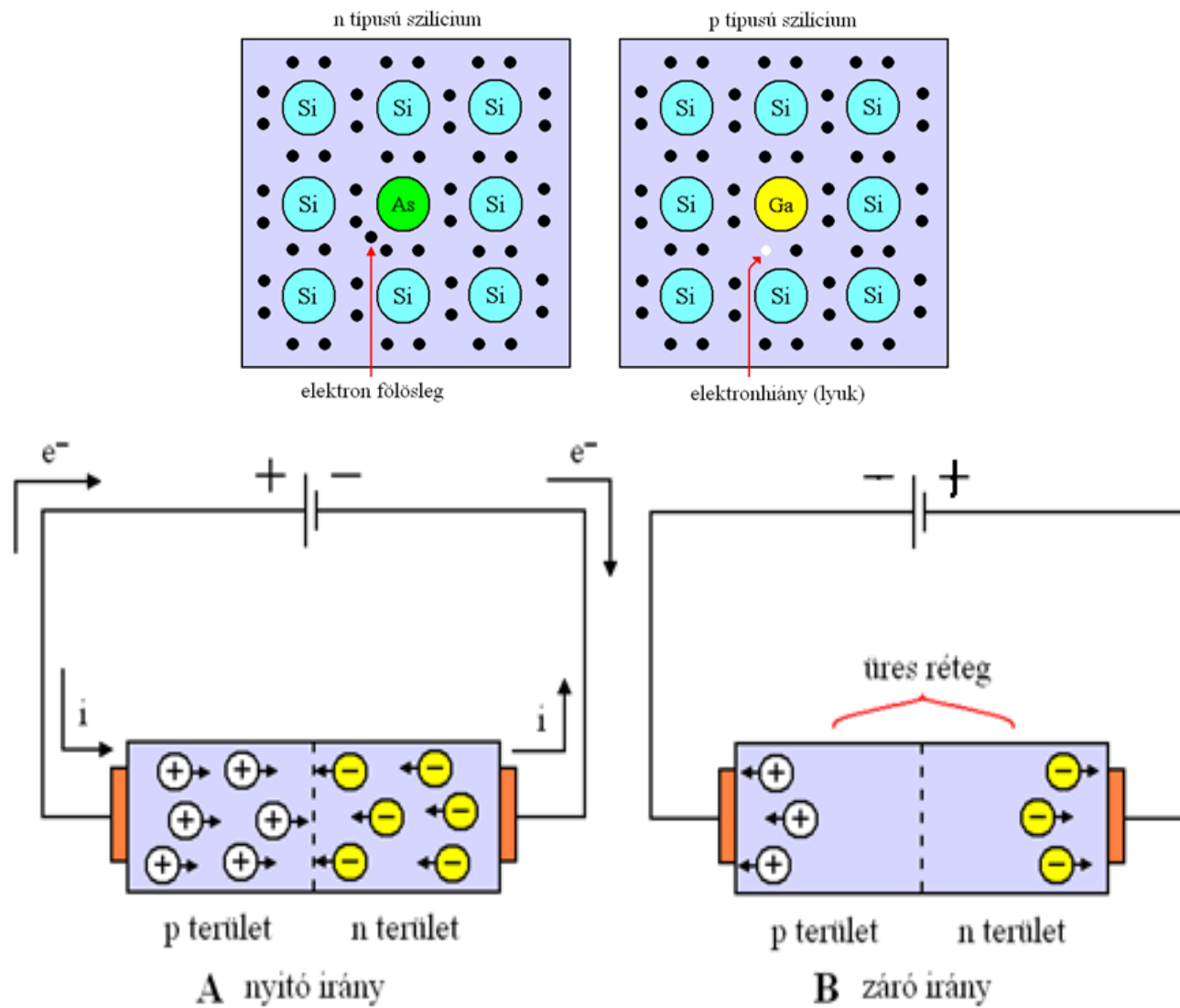


45.4.3. A fotodióda működési elve (belső fényelektromos hatás)

- A p-rétegben (pozitív réteg) elektronhiány (lyuk), az n-rétegben (negatív réteg) elektronfelesleg van, míg a középső, **záró réteg** (tiszta félvezető, pl. Si) töltésmentes
- Ha p-réteget az áramkör negatív, az n-réteget a pozitív sarkára kötjük (**záró irányú kapcsolás**) a diódán nem folyik áram, mert a középső réteg kiürül.
- Fény (a becsapódó fotonok energiájának) hatására a záró rétegben szabad elektron-lyuk párok keletkeznek, melyek a megfelelő elektróda felé vándorolva zárják az áramkört, melyben így a fotonok számával arányos elektromos áram mérhető.



17. ábra. Félvezető dióda kialakítása és kapcsolása



5.4.4. A CCD felépítése és működési elve (I.)

1. A MOS tárolóegység (a CCD alapeleme)

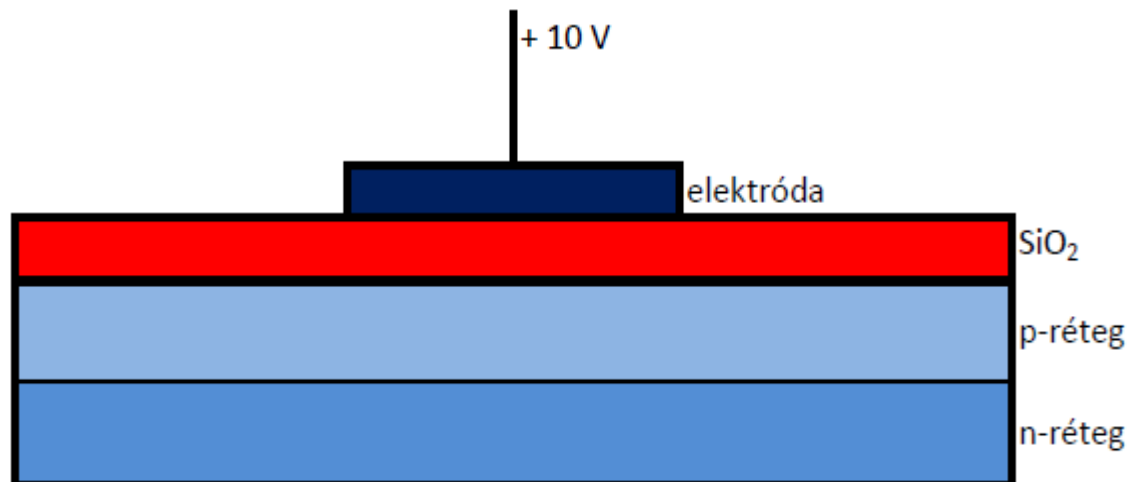
Metal (fém): elektróda

Oxid: szigetelő réteg

Semiconductor (félvezető): töltések forrása és tárolása

A MOS egy félvezető kondenzátor, amely a fotonok által keltett (felszabadított) elektronok tárolására szolgál.

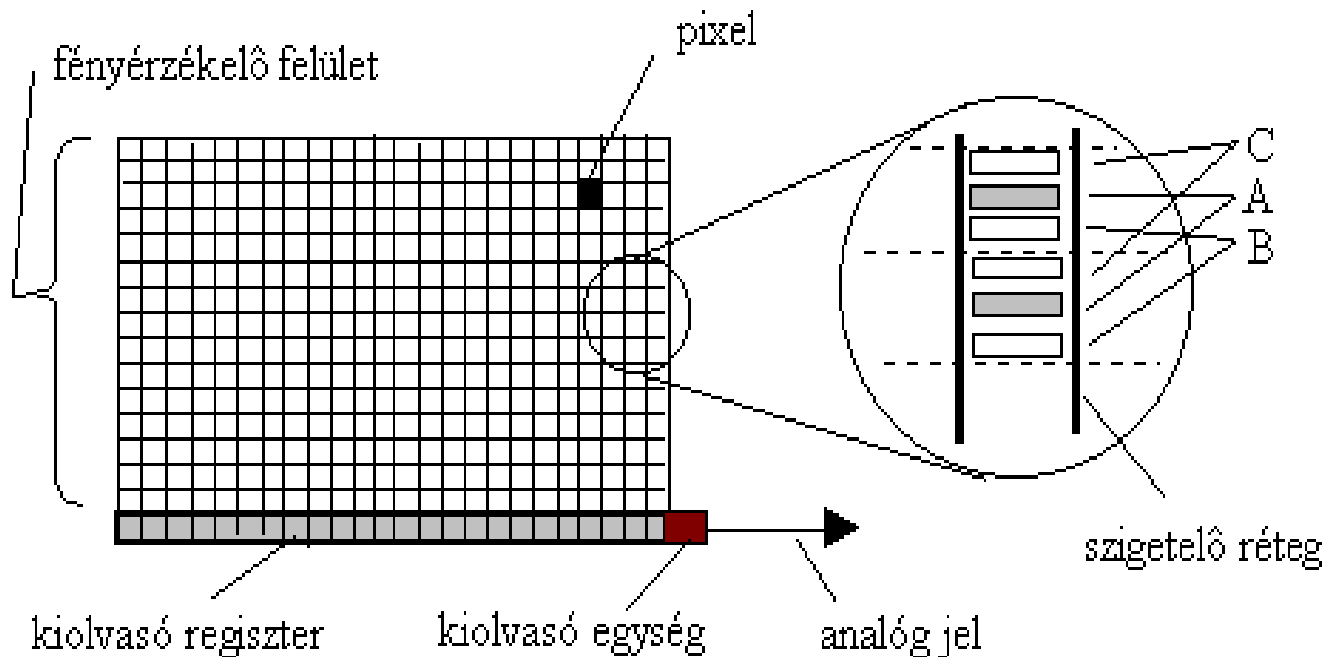
- Működése:**
- az elektródára + 10 V feszültséget kapcsolnak,
 - megvilágítás hatására a p-rétegben elektron-lyuk párok keletkeznek,
 - az elektronok a szigetelőnél gyűlnek össze, míg a lyukak az n-rétegbe vándorolnak és ott rekombinálódnak.



5.4.4. A CCD felépítése, működése (II.)

CCD = Charge Coupled Device (töltés csatolt eszköz)

A CCD érzékelő sok apró képelemből (pixel) épül fel. A pixelek tartalmazzák a MOS egységeket. Míg az egyes pixel oszlopok szigetelő rétegekkel vannak elválasztva egymástól, az oszlopon belül csak elektromosan vannak elválasztva a tárolóegységek, mert csak így lehet a pixelek tartalmát (az elektron csomagokat) az oszlop alján lévő kiolvasó egység felé léptetni. Az ábrán a három fázisú töltéscsatolás elvén működő CCD látható: minden pixelhez 3db elektróda (A, B, C) tartozik.



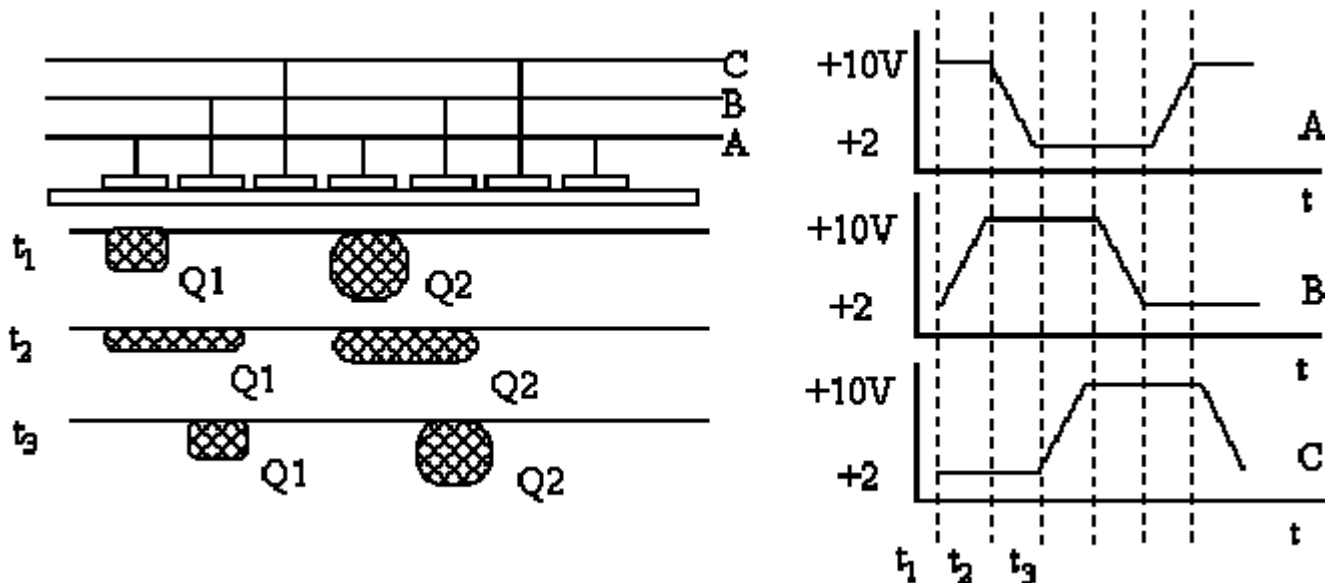
5.4.4. A CCD felépítése és működése (III.)

Az ábrán a három fázisú töltéscsatolás működési elve, ill. feszültség-idő programja látható. Minden pixelhez 3 db elektróda tartozik, az azonos jelűek (A,B,C) vannak egyidejűleg azonos feszültségre kapcsolva. Az elektródák feszültségét az idő függvényében az ábra szerint változtatják:

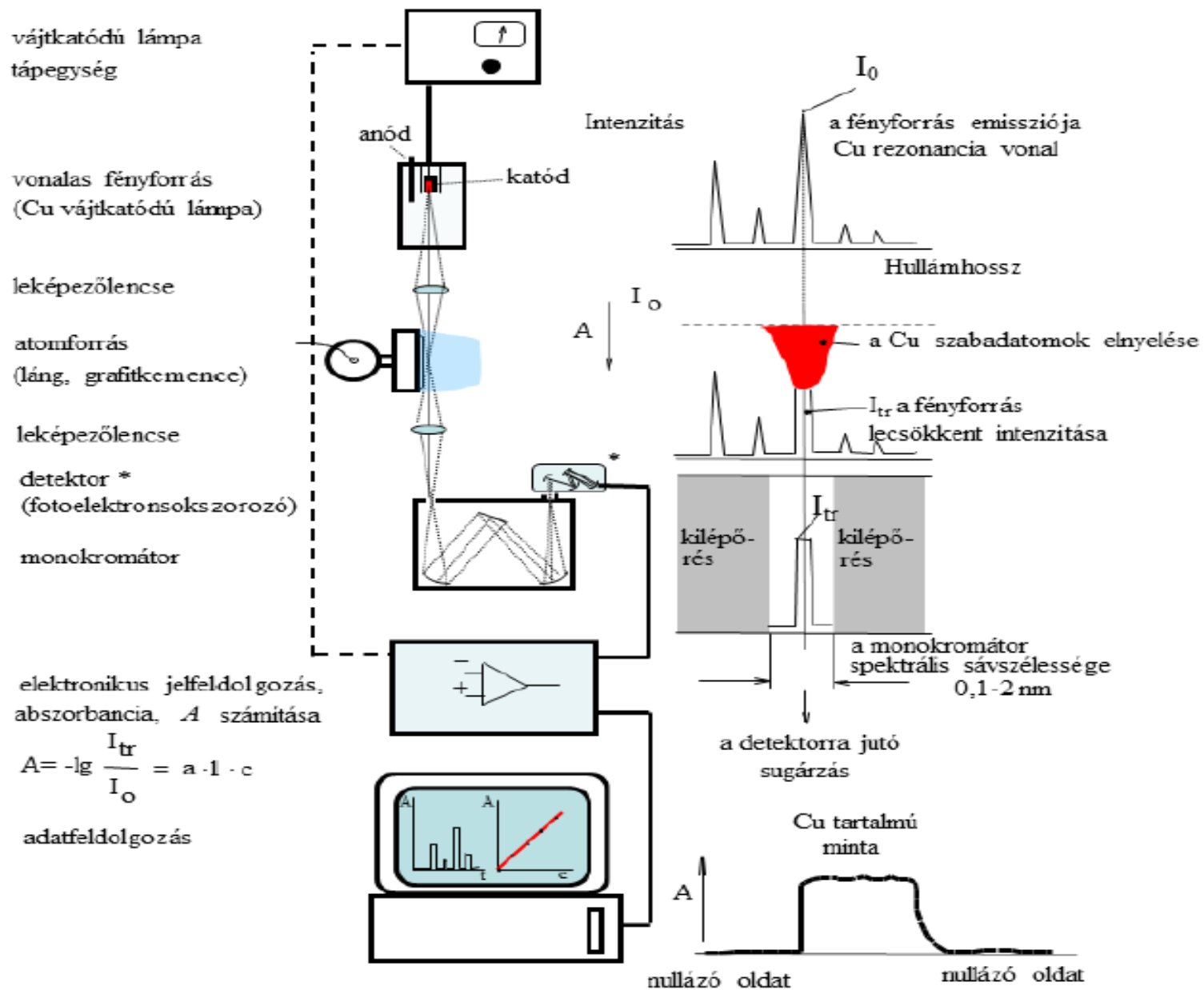
t_1 : az A elektródák (+10 V) tárolják a begyűjtött (a fotonok által „termelt”) elektronokat,

t_2 : a B elektródák feszültsége nő, elkezd áthúzni az elektron-csomagot az alatta lévő pixelbe,

t_3 : a C elektróda feszültsége nő, tovább húzza az elektroncsomagot az alatta lévő pixelbe

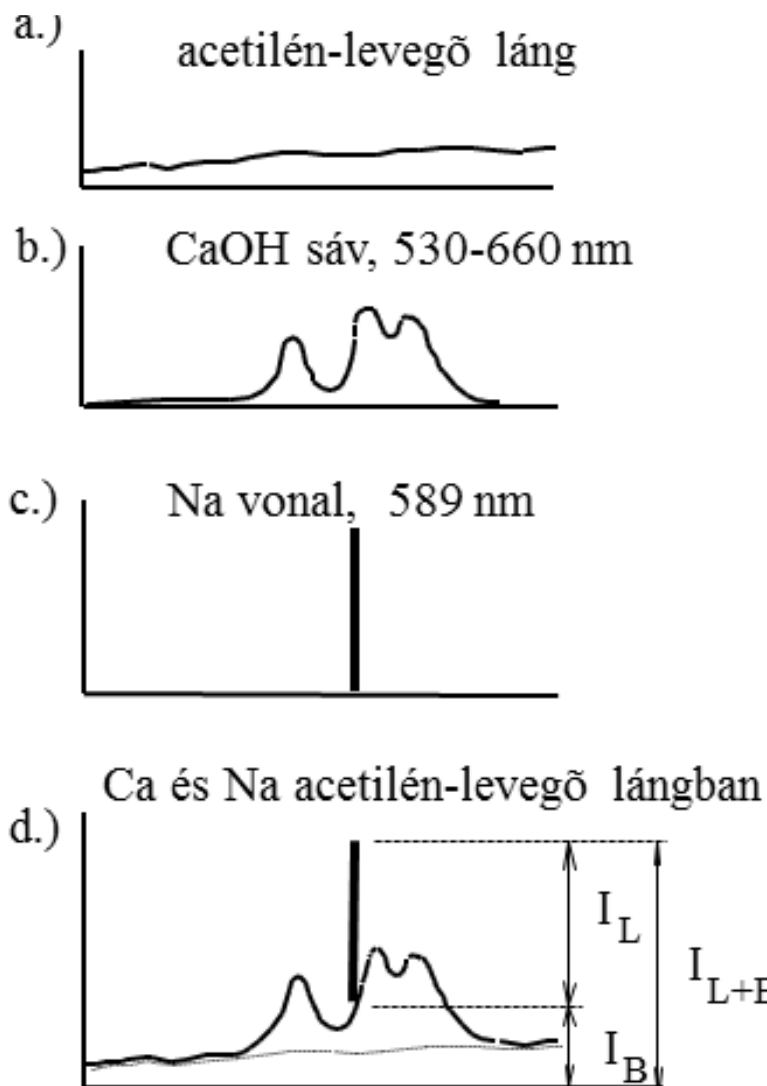


18. ábra. Az atomabszorpciós készülék működése



5.5. Zavarások a láng sugárforrásban, ill. atomforrásban (I.)

5.5.1.a. Háttérzavarás AES mérésnél



Az emissziós módszereknél a sugárforrás saját **folytonos emissziója** (a), a termikusan stabil molekuláktól származó **sávos emisszió** (b) és a szabadatomoktól, szabadionoktól származó **vonalas emisszió** (c) adódik össze és adja az **eredő spektrumot** (d).

Háttérkorrekció:

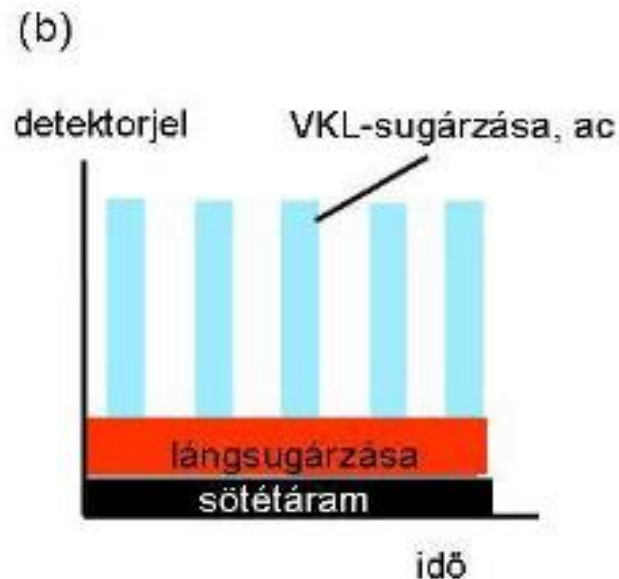
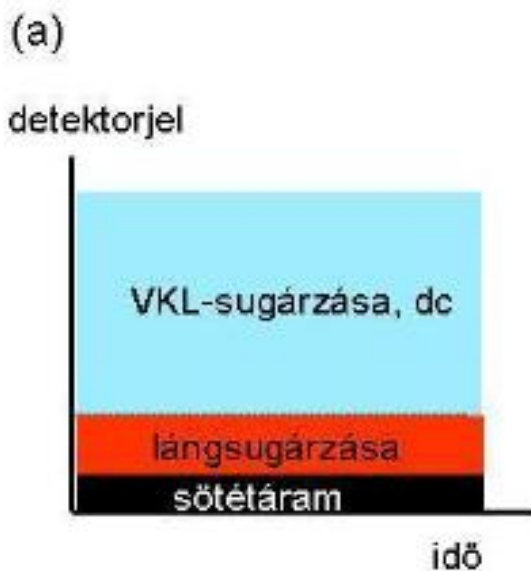
a hasznos jel (I_L) megszabadítása a zavaró jelektől (I_B) : az összes intenzitás (I_{L+B}) és a háttérintenzitás (I_B) külön-külön mérését követően a hasznos jelet számítással határozzuk meg.

5.5.2. Zavarások a láng sugárforrásban, ill. atomforrásban (II.)

5.5.1.b. Háttérzavarás AAS mérésnél

Vájtkatódú lámpa alkalmazása esetén a detektor jele három komponensből, a **sötétáramból**, a **láng sugárzásából** és a **vájtkatódú lámpa sugárzásából** adódik össze, melyek közül az analitikai információt a vájtkatódú lámpa **elemspecifikus sugárzása** hordozza.

Háttérkorrekció: vájtkatódú lámpa sugárzásának modulálásával (szaggatás): a nem modulált (dc = direct current, egyenáram) és a modulált (ac = alternating current, váltóáram) komponens elektronikusan elválasztható.



5.5. Zavarások a láng sugárforrásban, ill. atomforrásban (III.)

A mátrix által okozott zavarások (mátrixhatás)

5.5.2. Mintabeviteli zavarás:

A különböző koncentrációjú minták (kalibráló oldatok) fizikai tulajdonságai (sűrűség, viszkozitás, felületi feszültség) jelentősen különbözhetnek (pl. cukoroldatoknál) és ez befolyásolja a porlasztás hatásfokát (mátrixhatás).

Megoldás: megfelelő adalékok (pl. tenzidek) hozzáadása a mintaoldathoz

5.5.3. Ionizációs zavarás:

Ha az analát könnyen ionizálódó fém (pl. alkálifém) az atomizáció, ill. gerjesztés továbbmegy → ionok, gerjesztett ionok keletkezhetnek, amelyek emissziós (abszorpciós) hullámhossza más mint az atomé.

Megoldás: alacsonyabb láng hőmérséklet beállítása, ionizációs puffer (könnyen ionizálódó alkálifém) hozzáadása a mintaoldathoz nagy koncentrációban.

5.5.4. Termikusan stabil vegyületek keletkezése:

A mátrixban lévő bizonyos ionok (pl. szulfátok, foszfátok) nehezen párologó vegyületet képeznek a mérendő ionnal, vagy az atomizáció utolsó lépésében nehezen bontható, kétatomos oxidok (pl. AlO) keletkeznek az analátból.

Megoldás: magasabb láng hőmérséklet, vagy redukáló láng (acetilén-N₂O 1:2 arányban) alkalmazása.

5.6. A láng AES és AAS módszerek alkalmazásai

5.6.1. Láng atomemissziós módszer (F-AES, lángfotometria)

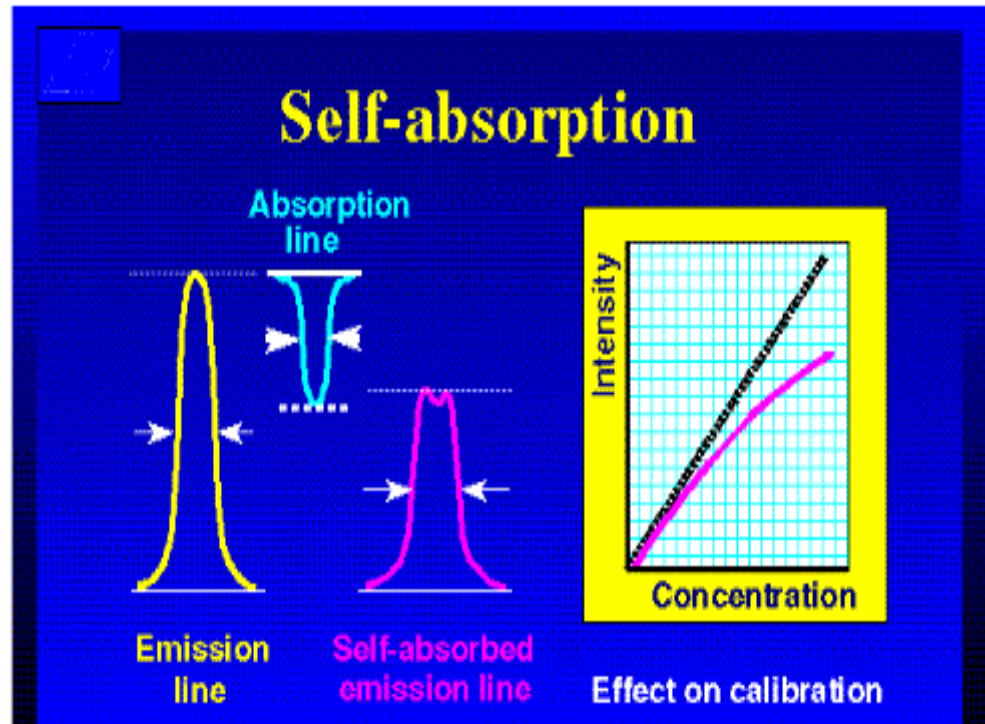
- Levegő propán láng: alkálifémek
- Levegő-acetilén láng: alkálifémek, alkáli földfémek ($c_{DL} = 0,1 - 10$ ppb)
- N_2O -acetilén láng: a fémek kb. 70 %-a. ($c_{DL} = 0,1 - 10000$ ppb)

A könnyen gerjeszthető alkálifémek meghatározásánál jobb kimutatási határ érhető el, mint a láng AAS módszernél, a többi fém esetén az AAS módszer az előnyösebb, így az F-AES visszaszorulóban van.

Kalibrációs függvény: $I = k \cdot c$

Önabszorpció:

A láng „hidegebb” részében lévő atomok elnyelik a „melegebb” részben gerjesztett atomok által kibocsájtott sugárzás egy részét, emiatt nagyobb koncentrációknál a kalibrációs egyenes lehajlik.



5.6. A láng AES és AAS módszerek alkalmazásai

5.6.2. Láng atomabszorpciós módszer (F-AAS)

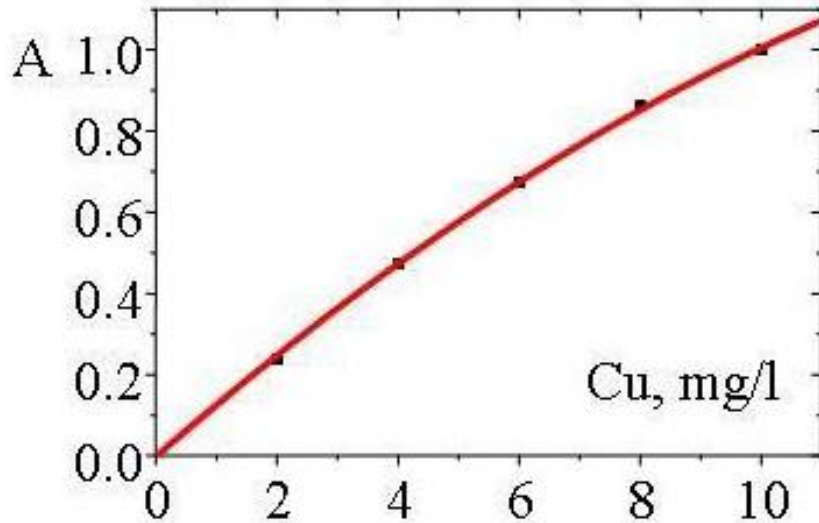
Ajánlott lángtípusok a különböző elemek vizsgálatához:

levegő-propán láng	levegő-acetilén láng	dinitrogén-oxid- acetilén láng
Li, Na, K, Rb, Cs	As, Au, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, Ga, Hg, In, Ir, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Pd, Pt, Rb, Rh, Ru, Sb, Sn, Sr, Tl, Zn	Al, B, Ba, Be, Ca, Dy, Er, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Os, Pr, Re, Sc, Si, Sm, Sr, Ta, Tb, Te, Ti, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr

Jellemző kimutatási határok:

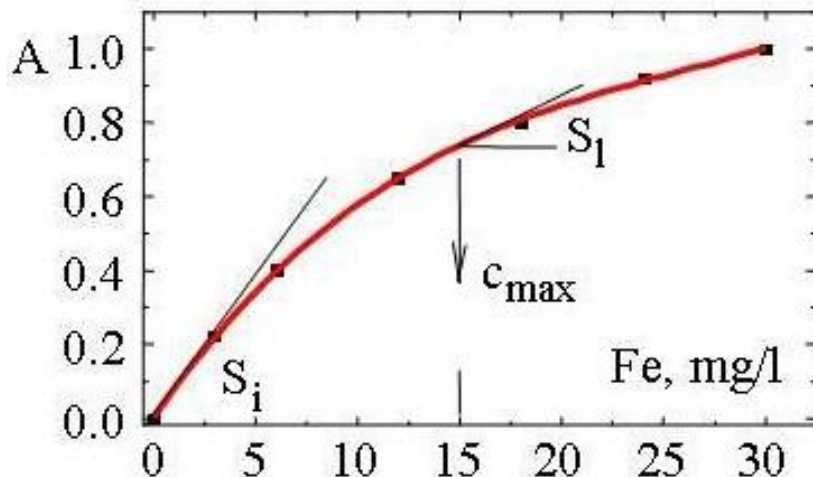
Zn: 1 ppb, Ni: 10 ppb, W: 750 ppb, Zr: 1500 ppb, U: 40.000 ppb

5.6.2. Láng atomabszorpciós módszer (F-AAS) Jellemző kalibrációs függvények



1. Cu meghatározás:

Kis koncentrációknál lineáris az összefüggés, nagyobb koncentrációknál a görbe lehajlik (önabszorpció).



2. Fe meghatározás:

A kis koncentrációtartományokban sem lineáris az összefüggés → a görbe közelítése másod, vagy harmadrendű polinomokkal ($A = a \cdot c_{Fe}^3 + b \cdot c_{Fe}^2 + c \cdot c_{Fe} + k$)
Lehetséges.

A meghatározás felső konc.határa

c_{max} : amikor a kezdeti meredekség (S_i)
harmadára csökken. (S_1)