

## A színkép előállításához szükséges optikai elemek

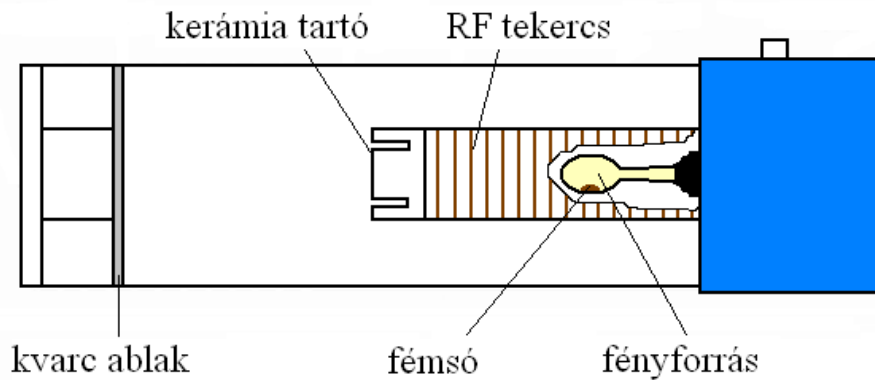
Ez a fejezet áttekinti a színképi bontás lehetséges megvalósításában szerepet játszó optikai elemeket.

### Tartalomjegyzék

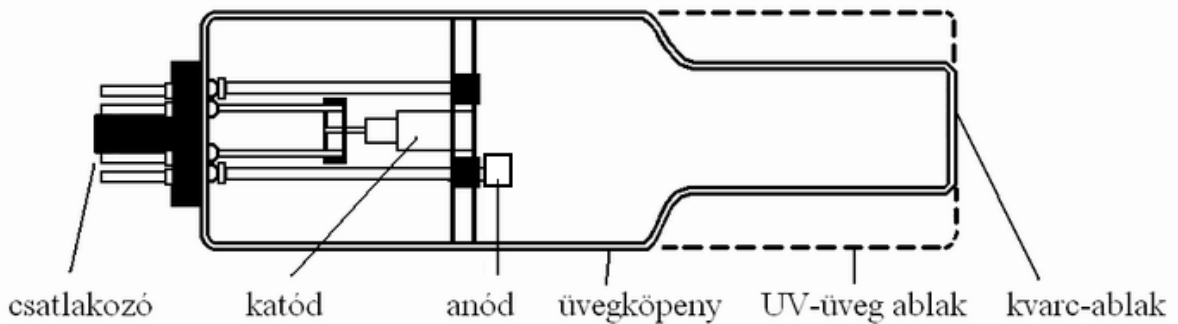
1. Fényforrások
2. Színképi bontó elemek
3. Az elemző vonal kiválasztása, mono- és polikromátorok.

### 1. Fényforrások

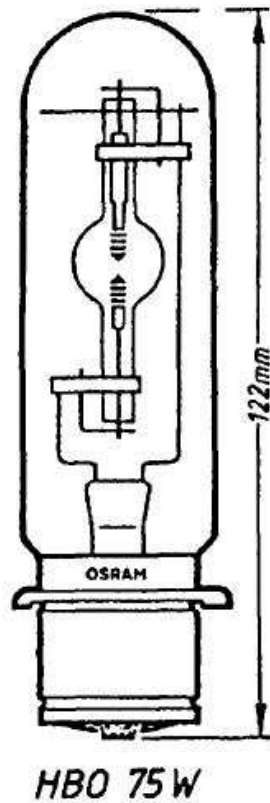
A fényforrásoknál egyik követelmény, hogy minél kisebb spektrális szélességűek legyenek (atomspektroszkópia, ), másrészt pedig minél szélesebb spektrális tartományon lehessen őket használni



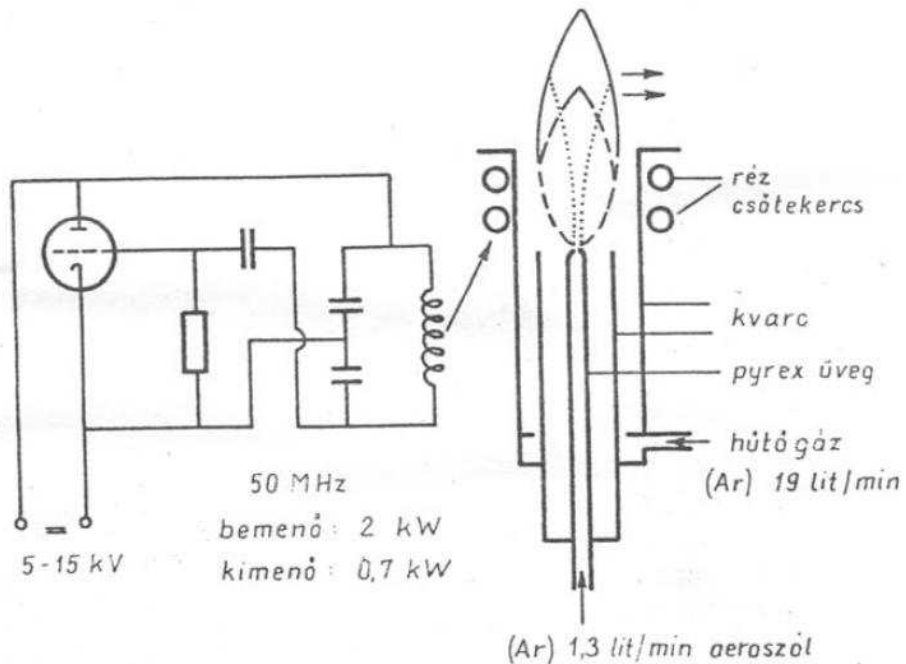
1. ábra. Elektród nélküli lámpa



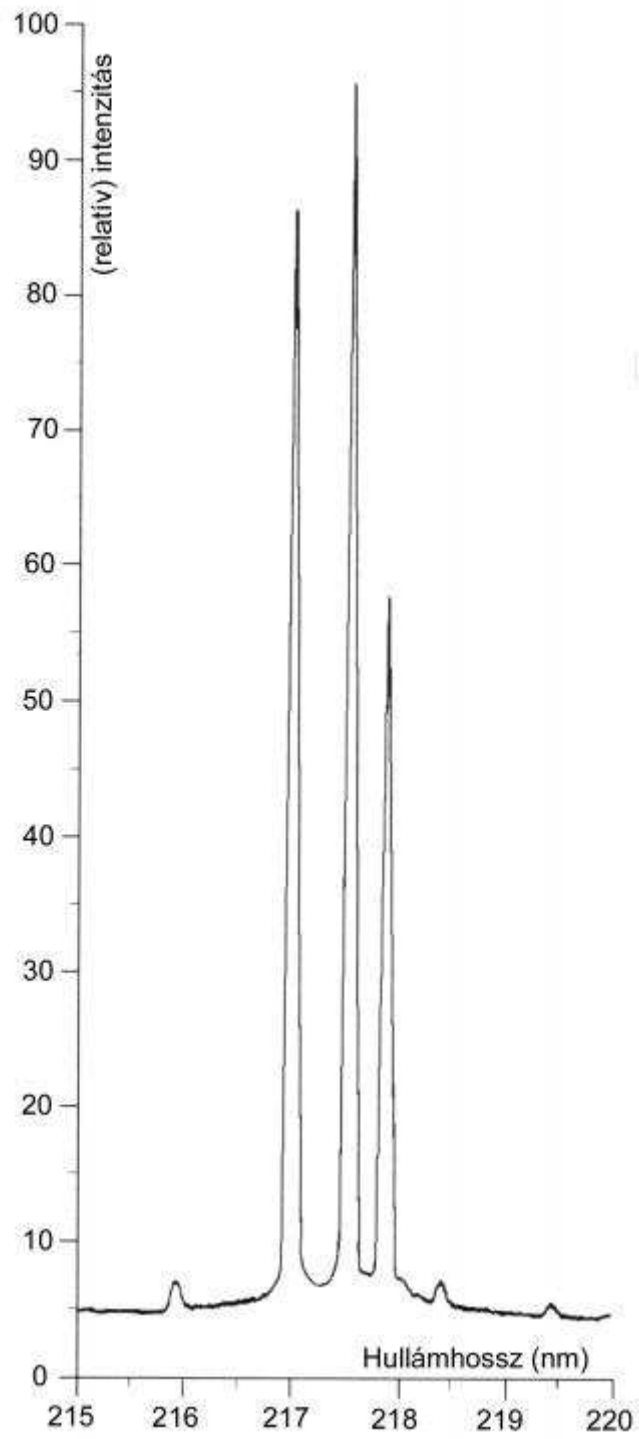
2. ábra. Üregkatódú lámpa



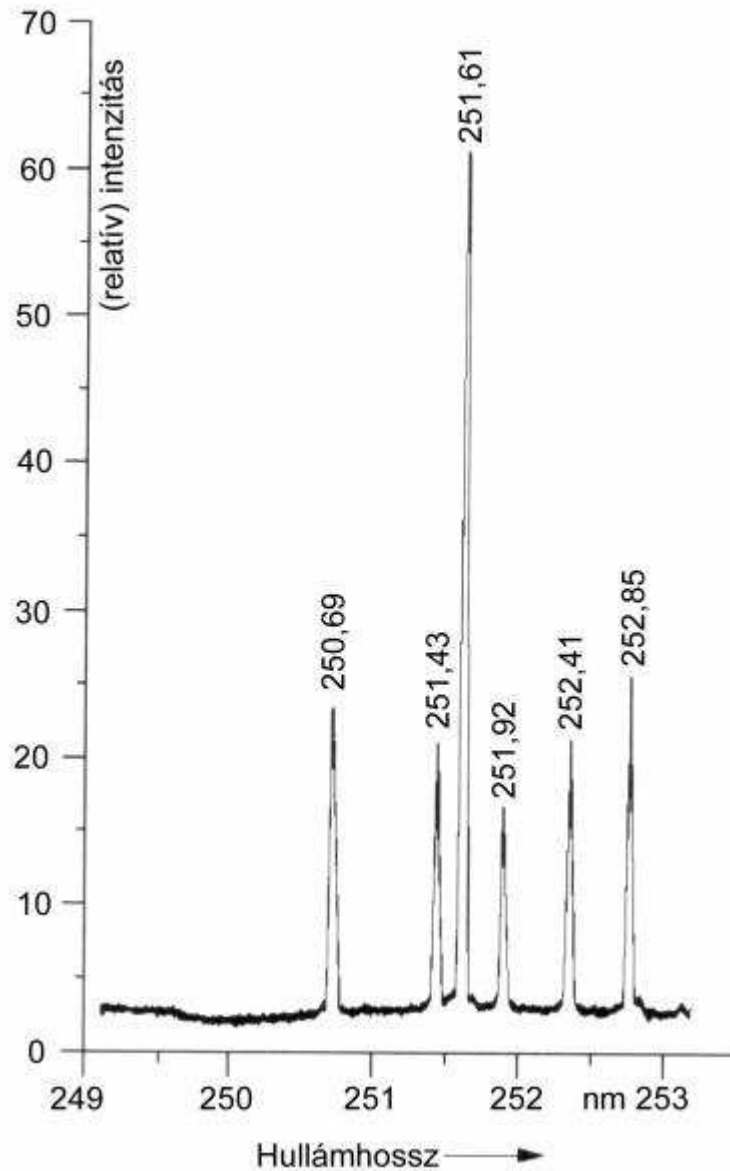
3. ábra Nagynyomású higanygőz lámpa fotolumineszcencia gerjesztéséhez



Az indukciósan csatolt nagyfrekvenciás plazmaégő (ICP-égő) működési elve  
4. ábra. Indukciósan csatolt nagyfrekvenciás plazmaégő (ICP-égő)



5. ábra. Üreg katódú Antimon lámpa



6. ábra. Üreg katódú szilícium lámpa

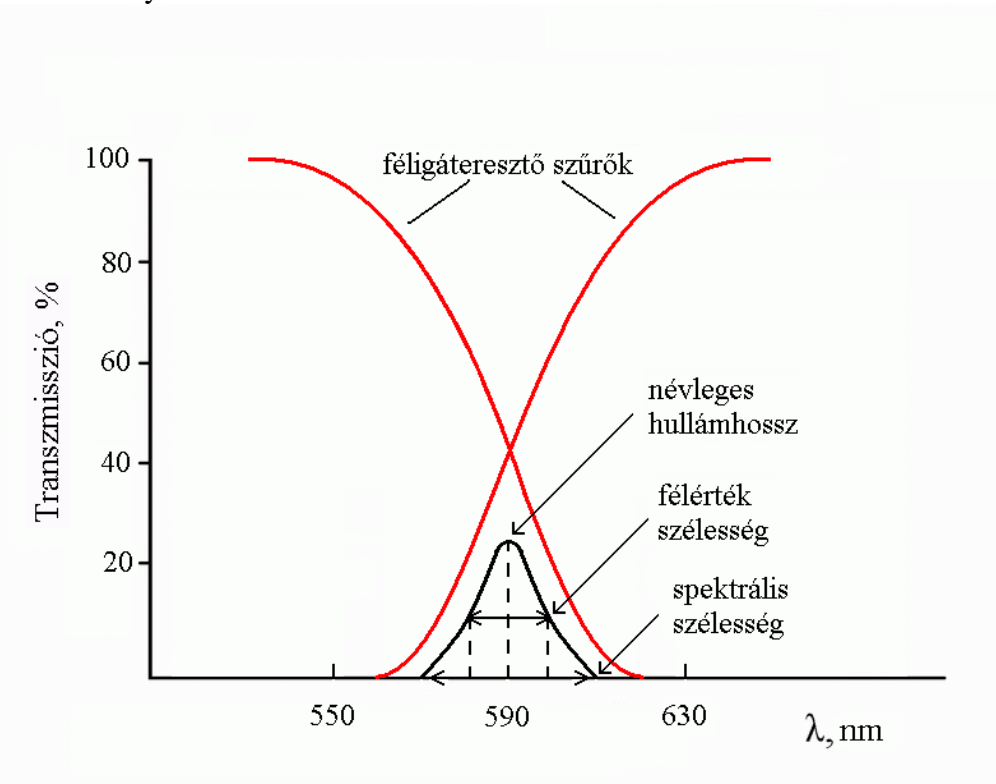
## 2. Színképi bontó elemek

Az **üregkatód lámpa fénye összetett fény**. Tartalmazza a vizsgált elemnek, azaz a **katód anyagának**, különböző gerjesztettségi szinthez tartozó **atomvonalait**, valamint a **töltőgáz (argon vagy neon) nagyszámú vonalát is**. Az atomabszorpciós elemzéshez viszont csupán egyetlen vonalra van szükség. Ez leggyakrabban az adott elem atomjának az alappálya és az első gerjesztett szint közötti elektronátmenetnek megfelelő vonala. Ez az a vonal, amit az alapállapotú atom a legnagyobb valószínűséggel elnyel. Az üregkatód lámpa olykor több ezer vonalából ezt az egy vonalat kell kiválasztani.

Adott színképrészletek kiválasztására szolgálhatnak a festékszűrők, **interferencia-szűrők**, a **prizmát** illetve **optikai rácst** alkalmazó **monokromátorok** vagy **polikromátorok**.

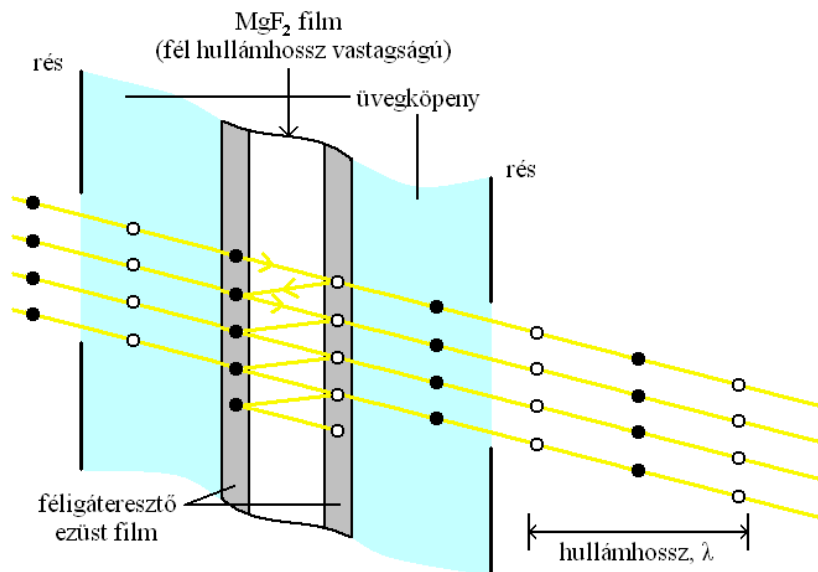
A **festékszűrő** két olyan színes üveg kombinációja, amelynél az egyik a kisebb, a másik a nagyobb hullámhosszúságú fénytartományt engedi át. Ha ezeket egymásra helyezjük, akkor a szűrőn csak az a hullámhossz-tartomány juthat keresztül, amelyikre nézve mindkét üveg

fényáteresztő (21. ábra). A festékszűrők hátránya a továbbiakban tárgyalt hullámhossz-kiválasztó egységekkel szemben, hogy egyrészt viszonylag széles (35-50 nm) az áteresztett fény hullámhossz-tartománya, másrészt a szűrőn áthaladó fény intenzitásában jelentősen veszteség lép fel. Az áteresztett fény intenzitása az eredetinek 5-20 %-a.



7. ábra: A festékszűrők fénykiválasztása

Az **interferencia-szűrők** a fényinterferencia jelenségén alapulnak. A rajtuk áthaladó adott hullámhosszúságú fényt erősítik, más hullámhossztartományok fényintenzitását gyengítik, illetve kioltják. Ilyen interferencia-szűrő szerkezetét a 8. ábrán láthatjuk.



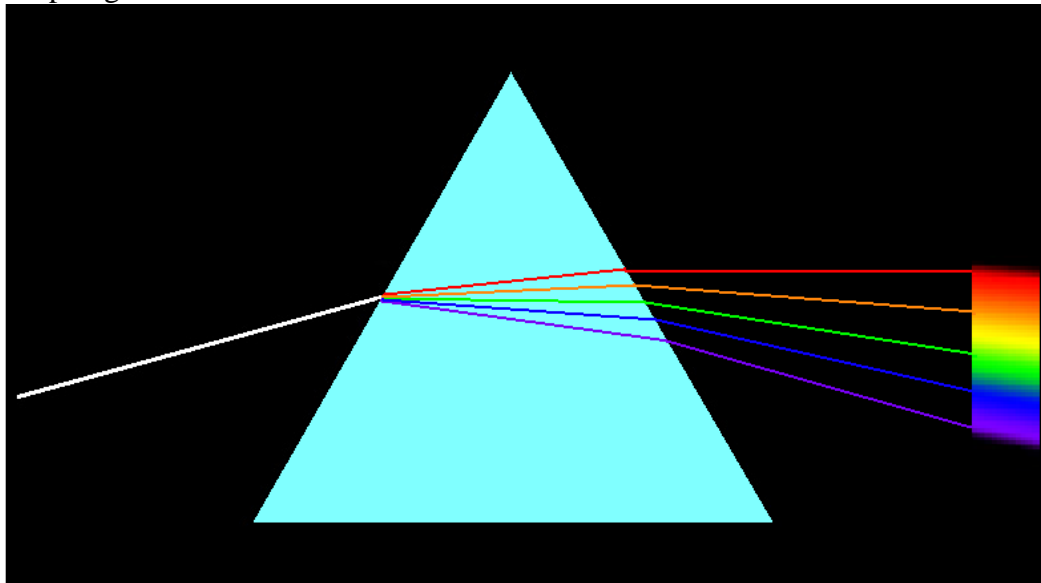
8. ábra: Az interferenciaszűrő szerkezete

A **szűrő több rétegből** áll. A középső rétege szilícium-oxidból vagy magnézium-difluoridból készül, melynek **vastagsága a kiválasztani kívánt fény hullámhosszának a fele**. E „**dielektrikum**” két oldalát félig áteresztő fémréteggel (ezüsttel) vonják be. E vékony rétegeket két oldalról két üveg- vagy kvarclap közé helyezik, amely megvédi azokat a mechanikai károsodásoktól.

Ha erre a szűrőre különböző hullámhosszúságú fénynyalábot ejtünk, akkor a fény az első fémrétegen áthaladva a „dielektrikum”-ban a két fémréteg között oda-vissza reflektálódik és a második fémrétegen csak az a fénykomponens tud kilépni, amelyiknek a hullámhossza, vagy annak egészszámú többszöröse ( $n \cdot \lambda$ ) megfelel a dielektrikum vastagságának. A más hullámhosszúságú fénykomponensek az ide-oda reflektálás alatt nem azonos fázisban haladnak. Emiatt gyengítik, illetve kioltják egymást. Az interferencia-szűrők által áteresztett fény **spektrális sávszélessége 10-15 nm**, és az eredeti fényintenzitás 40-60 %-át eresztik át.

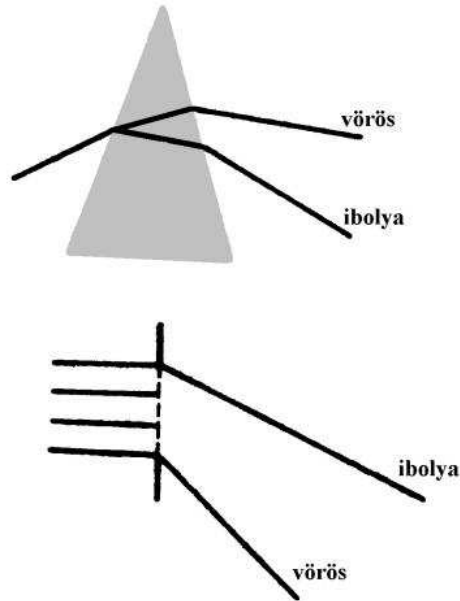
### 3. Az elemző vonal kiválasztása, mono- és polikromátorok.

A **prizmával** történő fényfelbontás azon alapszik, hogy a **különböző hullámhosszúságú fénynek eltérő a törésmutatója**. Ahogy az a 9. ábrán látható, az egyenlő oldalú prizma egyik lapjára eső fehér fényből a másik oldalon a legnagyobb mértékben az ibolya törik meg, legkevésbé pedig a vörös.



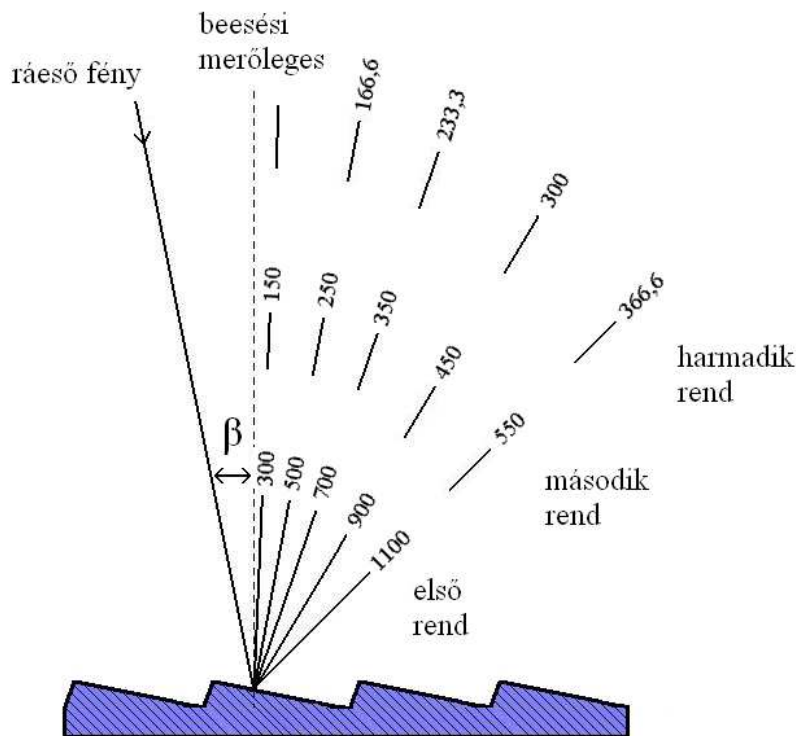
9. ábra: A prizmás fényfelbontás

A **prizma anyagát** a vizsgált színképtartomány szabja meg. Mivel az AAS módszernél az elemző vonalak hullámhossza 190-860 nm tartományba esik, **elsősorban kvarcból** készült prizmát alkalmazunk. A **prizmák nagy erénye**, hogy a felbontott színképnek **nagy a fényereje**. Ez azért van, mert az optikai rácsokkal ellentétben a fényenergia nem oszlik meg a különböző színképrendek között. A prizmás fényfelbontás hátránya viszont, hogy a **fényfelbontó képesség**, azaz a **diszperzió mértéke** erősen függ a hullámhossztól. Egy kvarcprizma esetén, például, két színképvonal 200 nm körül, azaz az ultraibolya alsó tartományaiban különül el a legnagyobb mértékben egymástól. A hullámhossz növekedésével az azonos  $\Delta\lambda$  távolságú két vonal a színképben egyre közelebb kerül egymáshoz.



10. ábra. Prizma és a rés „fénybontása”, a fehér fényből „származó színek megjelenési irányai”

Az **optikai rács** a ma legmodernebbnek számító fényfelbontó egység. Eredeti formájában annak idején üveglapra párhuzamos barázdákat karcoltak. A barázdált lapon áteső fény a fényinterferencia jelensége miatt színképére bomlott, a különböző hullámhosszú fénykomponensek különböző irányban haladtak tovább. A ma használatos optikai rácsok **reflexiós rácsok**. A nagy fényfelbontás érdekében nagyszámú (1000-4000 vonal/mm) párhuzamos barázdát alakítanak ki egy nagy reflexiójú tükröző felületen, amit vagy fémből készítenek, vagy más anyag (üveg, kvarc) felületén fém-ráparlást alkalmaznak.

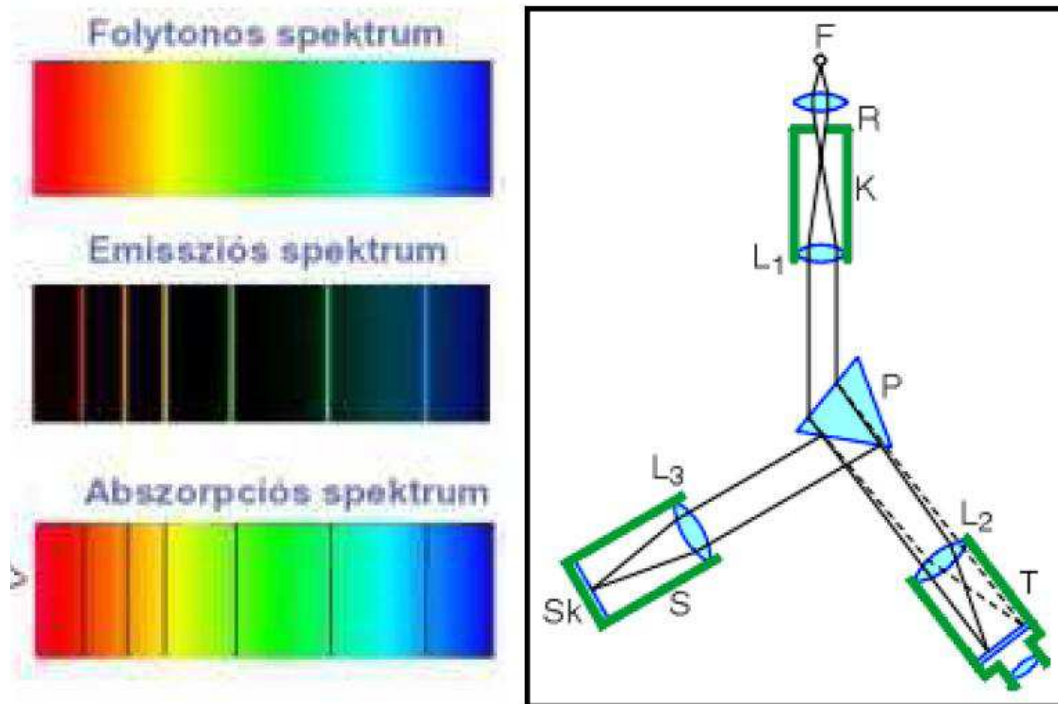


11. ábra. Fényfelbontás optikai ráccsal

A 11. ábrán látható módon a felületre eső visszaverődő fény, különböző komponensei különböző irányban, eltérő szögben verődnek vissza. A fényfelbontás a fényinterferencia jelenségén alapszik. Az adott hullámhosszúságú fény a barázdák okozta útkülönbség miatt adott reflexiós szögben erősítik, más szögben kioltják egymást. A 11. ábrán az is látható, hogy a barázdák nagy számuk ellenére szabályos profillal rendelkeznek. A barázdák lejtésszöge az úgynevezett **csillogási szög**, amely megszabja, hogy az adott rácsnak mely színképtartományban a legnagyobb a fényereje. Ma ezeket a pontos szögállású rácsokat különleges mikrotechnikával, kristálynövesztéssel alakítják ki.

Az optikai rácsok **fényfelbontása**, **diszperziója** a prizmákkal ellentétben a hullámhossz függvényében egyenletes. A fényinterferencia törvényéből adódóan a rácson adott irányban nemcsak egy hullámhosszúságú fény, hanem annak  **$n \cdot \lambda$  szerint az egészszámú többszöröse** is megjelennek. Optikai rács esetén ezek a többszörösök alkotják a különböző **színképrendeket**. Az egyre növekvő sorszámú **színképrendek egyre kisebb fényerejűek, de egyre nagyobb fényfelbontást biztosítanak**. Ahhoz, hogy az  $n \cdot \lambda$  összetett fényből a megfelelő hullámhosszúságú színképvonalat kiválasszathassuk, egy **nagy áteresztőképességű festékszűrőt** alkalmazhatunk.

### Az elemző vonal kiválasztása, mono- és polikromátorok



12. ábra. Színképi illusztrációk és egy spektroszkóp elvi felépítése

A kívánt hullámhosszúságú színképvonal kiválasztása szempontjából a prizma vagy az optikai rács csak, mint fényfelbontó elem szerepel a monokromátorban. A „monokromátor” szó szerint „egy szín”, egy hullámhossz kiválasztására szolgáló optikai egység. A monokromátor több optikai elemből áll.

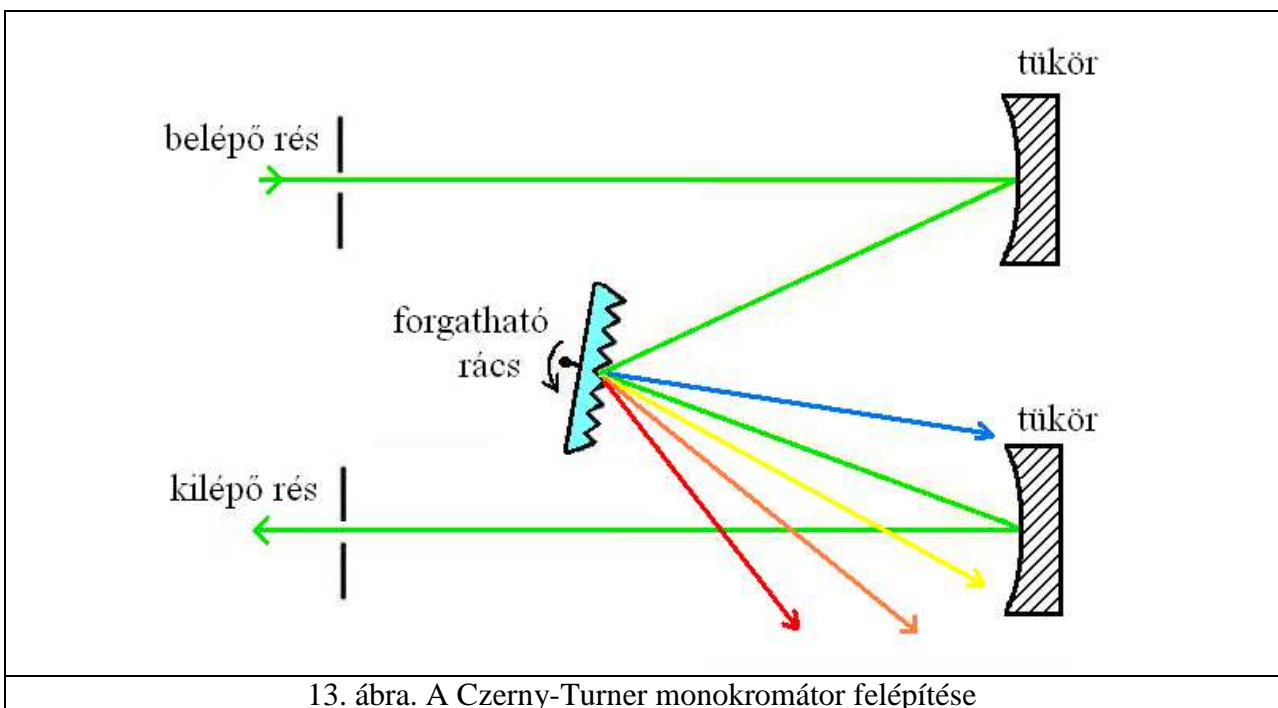
Leggyakoribb monokromátor elrendezések a következők: **Litrow monokromátor**, **Czerny-Turner monokromátor**, **Ebert monokromátor**, **Seya-Namioka monokromátor**.

A 13. ábrán egy Czerny-Turner típusú rácsoú monokromátoron mutatjuk be az adott hullámhosszú fény kiválasztás menetét.



Optika	Rácson lévő vonalak száma (vonal/mm)	Hullámhossz-tartomány (nm)	Reciprok diszperzió 1./2. rend (nm/mm)
<i>Levegő optikák</i> Polikromátorok	1800	200-800	0,67/0,33
	2400	200-590	0,50/0,25
	3600	200-410	0,33/-
Monokromátor	2400	200-480	0,50/-
<i>Vákuum optika</i> polikromátor	3600	165-200	0,33/-

1. táblázat: Optikai rácsok barázdaszáma és az alkalmazott spektrális tartományok



13. ábra. A Czerny-Turner monokromátor felépítése

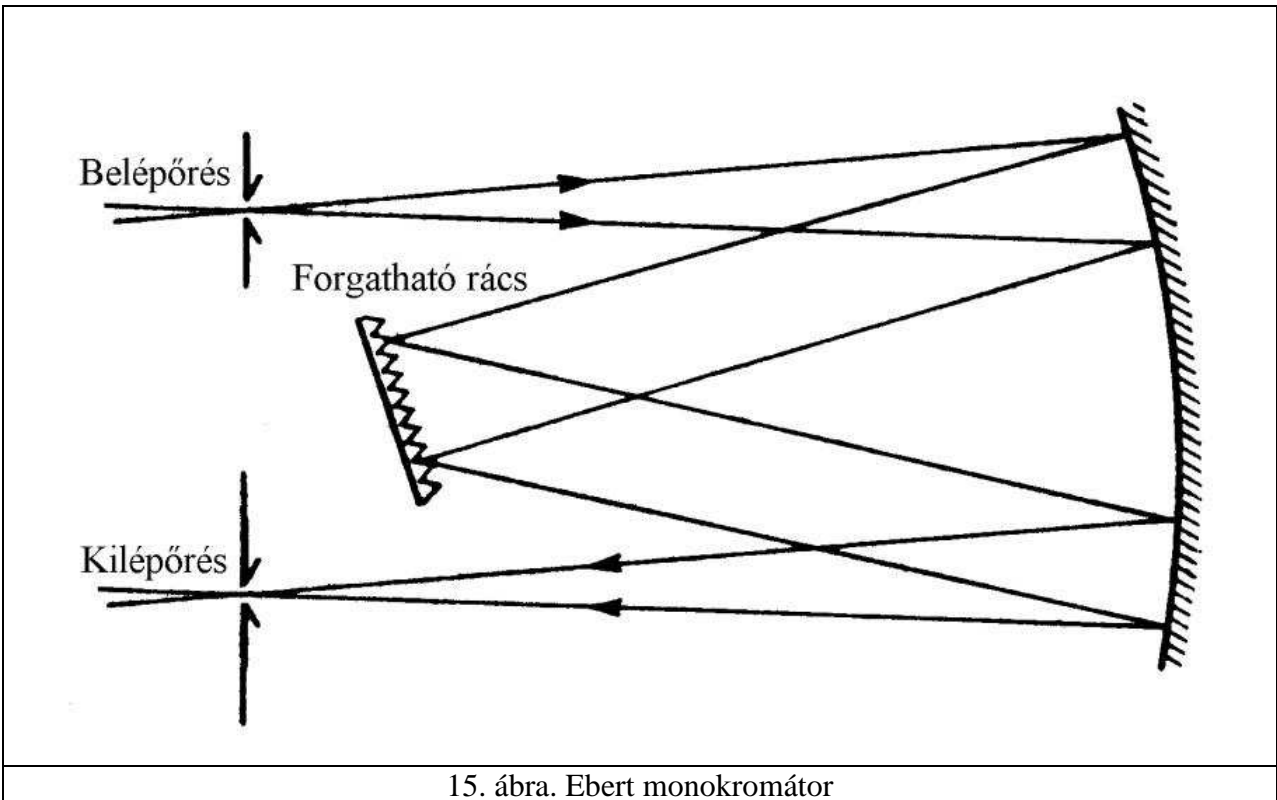
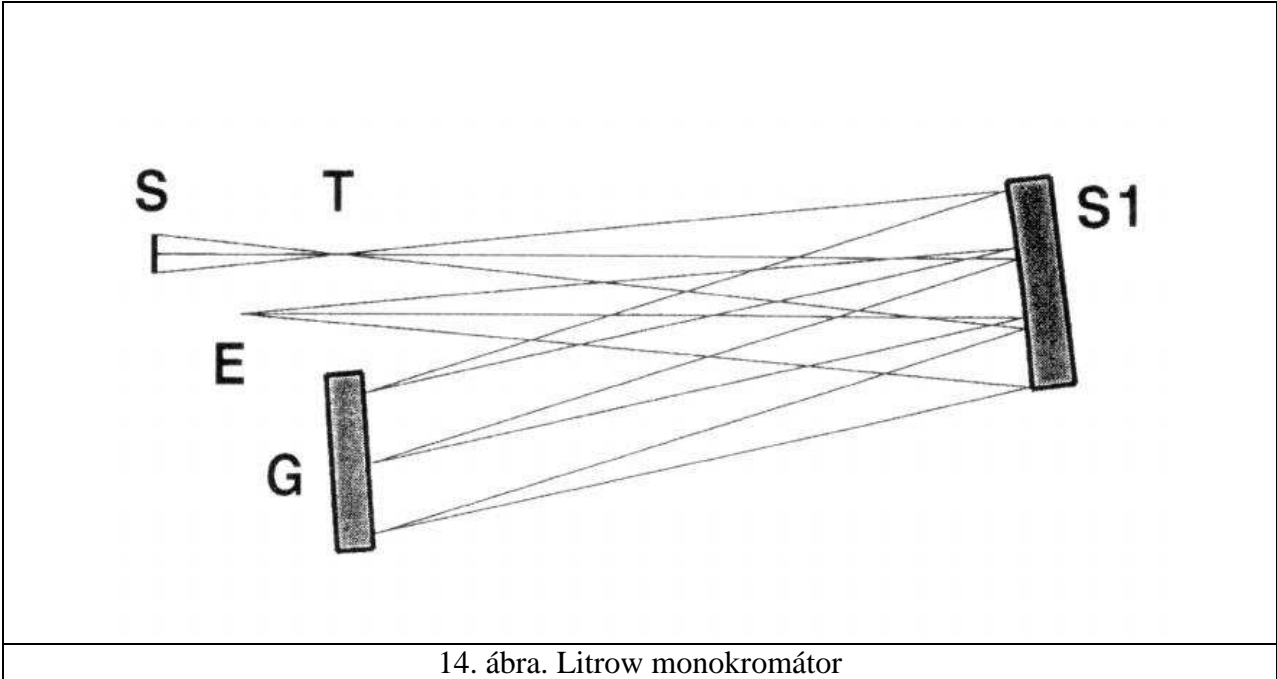
A felbontandó fénysugár a belépő résen jut be a monokromátorba. A fény egy homorú tükörrre esik, amely a fókuszált fényt a fényfelbontó elemre, az optikai rácra vetíti. A rács által reflektált, felbontott fény egy másik homorú tükörrre jut, amelyikről az ugyancsak fókuszált fény a kilépő résre, onnan pedig a detektorra kerül. Az optikai rács adott pozíciója esetén a felbontott fénynek csak az a hullámhosszúságú eleme jut a kilépő résre, illetve a detektorra, amelyik éppen a kilépő réssel szemben álló második tükör középpontjára esik. Ahhoz, hogy bármely elem vonalát ki lehessen választani, az optikai rácot tengelye körül mozgatójuk. Így a rács a szögállásától függően más-más hullámhosszú vonalat vetít a tükörrre, azon keresztül a kilépő résre.

Az atomabszorpciós készülékekben használt monokromátortól nem kívánunk meg nagy felbontást. Az üregkatód lámpák fénye ugyanis vonalas szerkezetű. A lámpa által emittált egymástól jól elkülönülő színképvonalak félértékszélessége 1-3 pm (pikométer), az abszorpciós vonalaké pedig 2-5 pm.

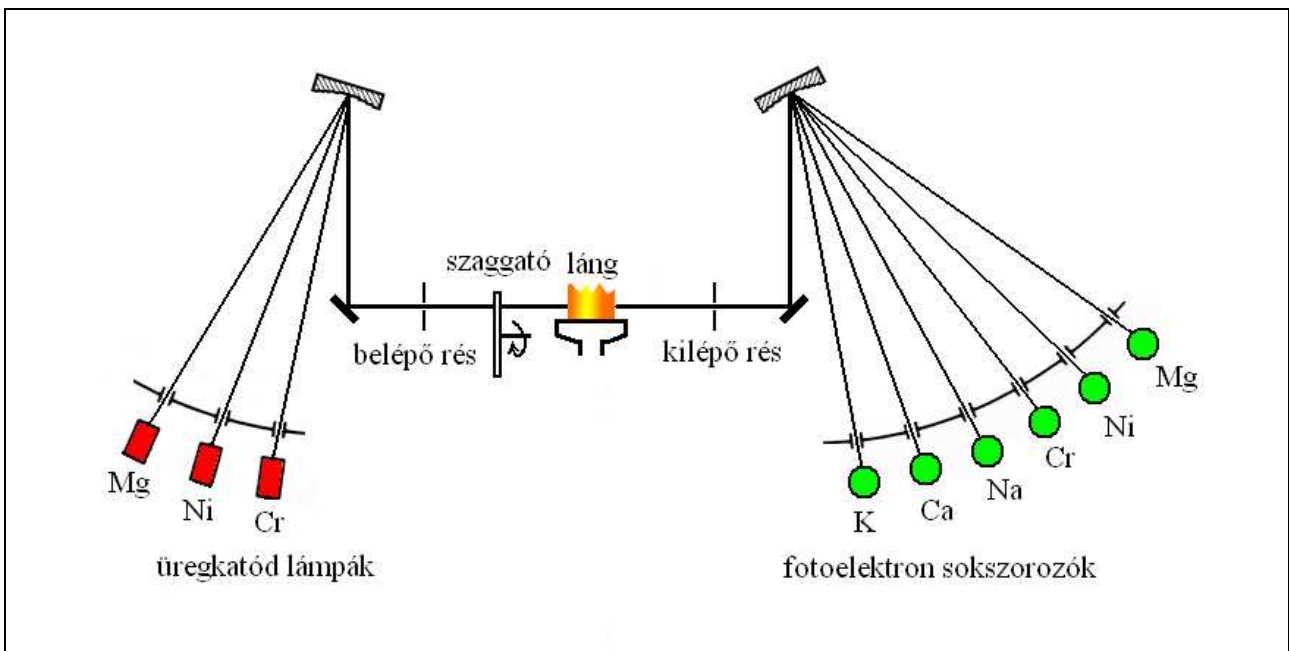
Bár az AAS készülék nem kíván különleges monokromátort, de a készülék teljesítőképességét jelentősen befolyásolja a monokromátor belépő és kilépő részének a szélessége. A belépő rést (20-50  $\mu\text{m}$ ) általában a gyár előre beállítja. Azt a felhasználó általában nem tudja szabályozni. A

kilépő rést viszont a vizsgált elem, illetve üreghatózó lámpa optikai tulajdonságaitól függően a mérést végző analitikus célszerűen változtathatja. Abban az esetben ugyanis, amikor az elemző vonal közelében más vonalak jelentkeznek az üreghatózó lámpa spektrumában, akkor a kilépő rést olyan szűkre célszerű választani, hogy csak az elemző vonal jusson át a résen a detektorra. Ha viszont az elemző vonal 1-2 nm környezetében nincs más vonal, akkor célszerű nagyra választani a kilépő rést, mert így a detektorra jutó fényenergia nagyobb, a készülék fényerősebb, kisebb elektromos erősítésre van szükség, azaz a jel/zaj viszony kedvezőbb.

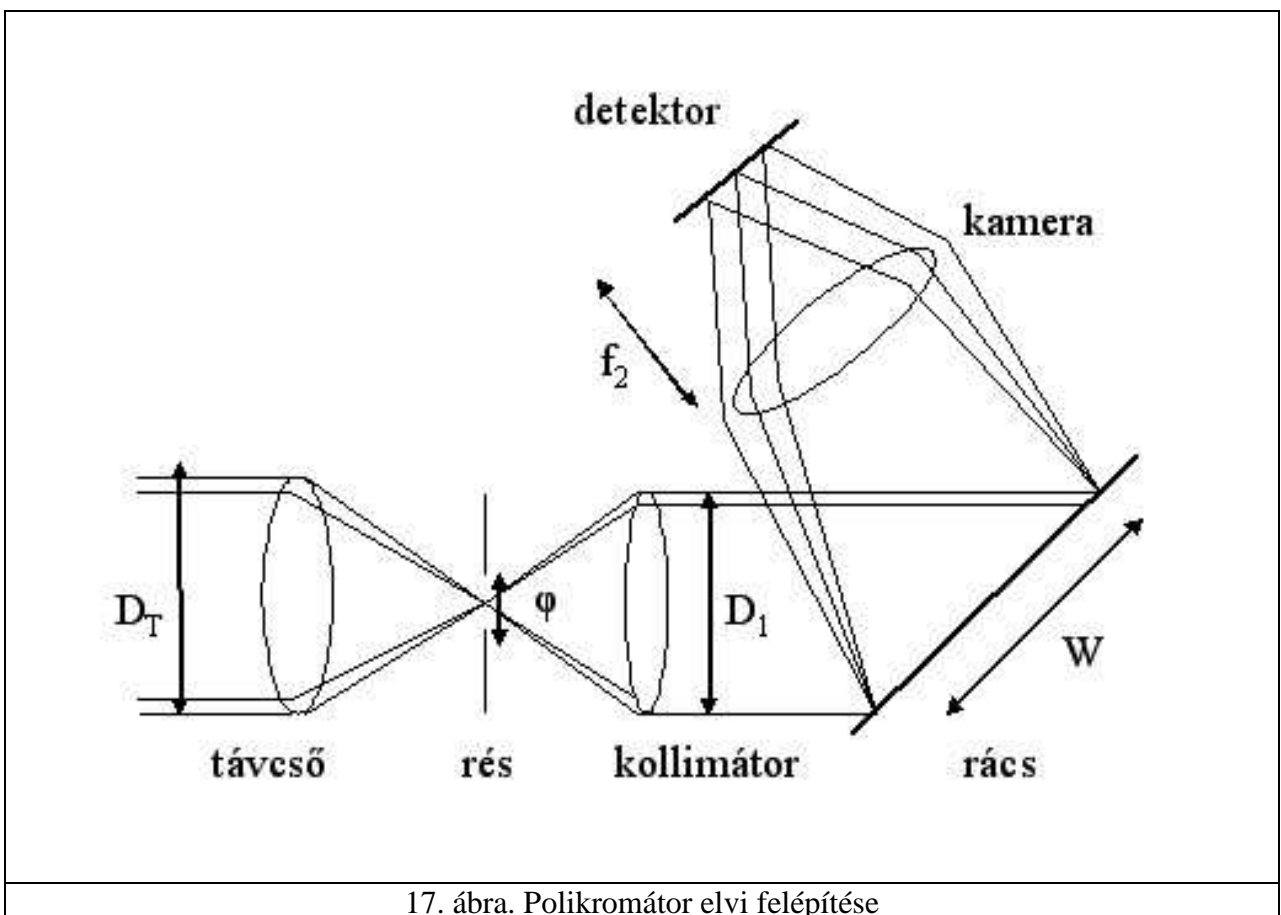
#### További monokromátor elrendezések



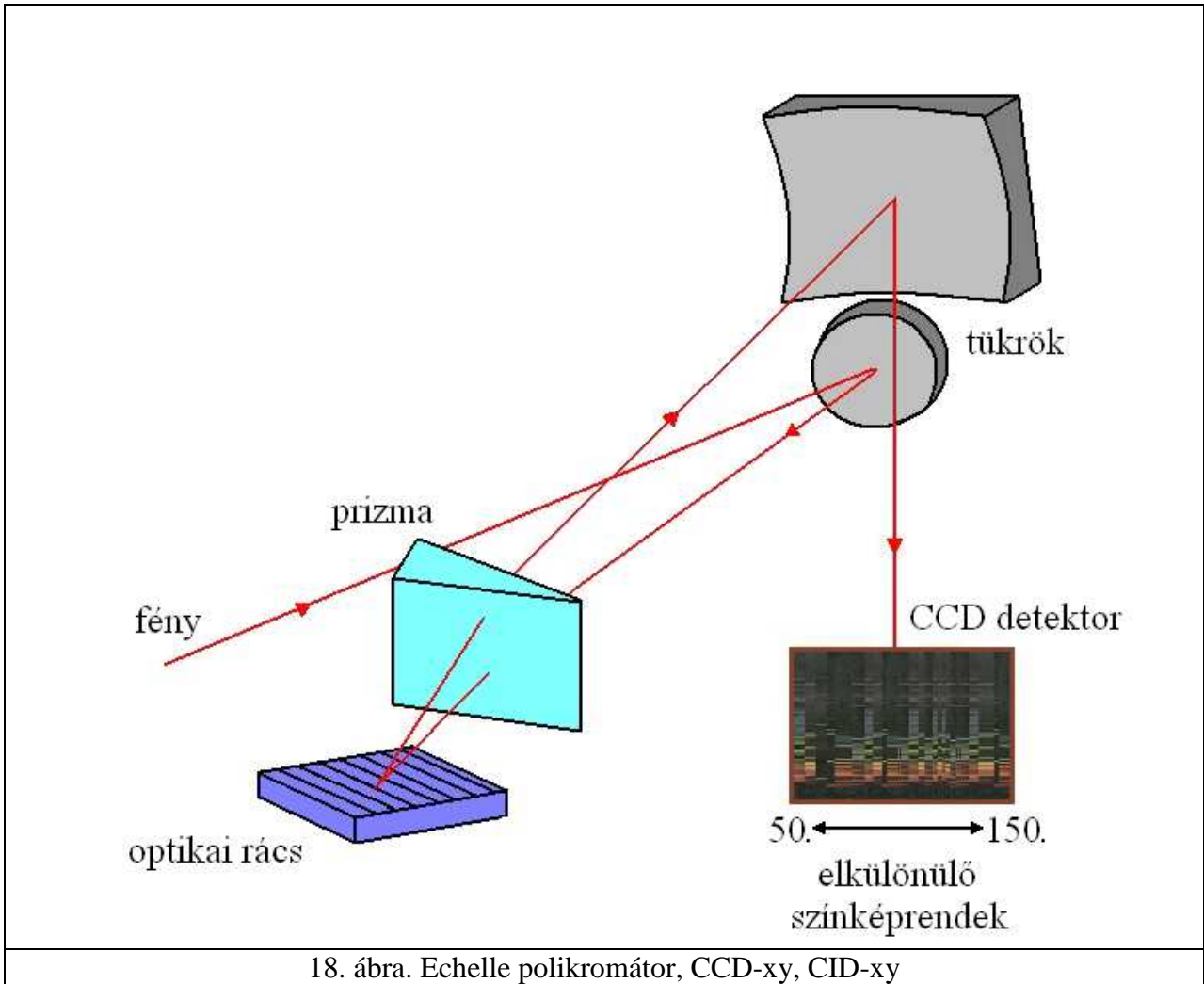
**Szimultán többsatornás színképfelvétel, multielem analízis**



16. ábra. Többsatornás atomabszorpciós spektrométer



17. ábra. Polikromátor elvi felépítése



### **Kérdések:**

- 3.1. Sorolja fel az atomabszorpciónál és az atomemisszióknál használható fényforrásokat!
- 3.2. Ismertesse az indukciósan csatolt nagyfrekvenciás plazmaégető (ICP-égető) működési elvét!
- 3.3. Milyen spektrális összetételű az üreghatár lámpa fénye?
- 3.4. Milyen színképi szűrő, bontó elemeket alkalmaznak abból a célból, hogy kiválasszák az üreghatár lámpa fényéből az analitikai vonalnak az átvilágításához szükséges spektrumvonalat?
- 3.5. Hogyan épül fel, „hogyan működik” a „festékszűrő”, mennyi a spektrális sávszélessége?
- 3.6. Hogyan épül fel, „hogyan működik” az interferencia-szűrő, mennyi a spektrális sávszélessége, és a beeső fényintenzitás hány %-át engedi át?
- 3.7. Min alapszik a prizma által történő fényfelbontás, melyik fénykomponens térül el legjobban?
- 3.8. Melyik spektrális tartományon nagyobb a prizma diszperziója?
- 3.9. Mekkora „karcolatszám” (barázda) készítenek ma optikai reflexiós rácsokat, és melyik fénykomponens térül el legjobban?
- 3.10. Mi a különbség a diszperziót tekintve a prizma és a rács között?
- 3.11. Hogyan választják ki optikai rács esetében az azonos irányban „érkező” különböző rendek esetében a kívánt rendet?
- 3.12. Mit jelent ez a kifejezés, hogy monokromátor és mit a polikromátor?
- 3.13. Melyek a leggyakoribb monokromátor elrendezések?
- 3.14. Rajzolja fel a Czerny-Turner monokromátor felépítését!
- 3.15. Rajzolja fel a Litrow monokromátor felépítését!
- 3.16. Rajzolja fel a Ebert monokromátor felépítését!
- 3.17. Rajzolja fel a polikromátor elvi felépítését!
- 3.18. Rajzolja fel az Echelle polikromátor, és a CCD detektálás sémáját!

---

Összeállította az interneten megtalálható, hivatkozott anyagokból:  
Dr. Német Béla, PTE, TTK, Környezetfizika és Lézerspektroszkópia Tanszék  
Pécs, 2010. február 26.