

## Spektroszkópia elméleti alapjai

### Az atom szerkezete és az atomszínképek keletkezése

<http://www.tankonyvtar.hu/kemia/atomabszorpcios-080904-1>

<http://hu.wikipedia.org/wiki/Szerkesztő:SzDóri/képek>

A Környezet diagnosztika fizikai módszerei (Haladó Labor) azt a célt tűzte ki, hogy egy bizonyos átfogó képet adjon az atomi, molekuláris elektron szerkezet meghatározására kifejlesztett spektroszkópai technikákról, és bemutassa azt, hogyan lehet ezeket kvalitatív és kvantitatív analitikai célokra használni. Jelenleg a következő módszereket tartjuk nyilván:

### Műszeres analitikai módszerek

[http://hu.wikipedia.org/wiki/Műszeres\\_analitikai\\_módszerek](http://hu.wikipedia.org/wiki/Műszeres_analitikai_módszerek)

A **műszeres analitikai módszerek** az **analitikai kémia** mennyiségi elemzési módszereinek egy csoportja. Az analitikai kémia két ága a minőségi (kvalitatív) elemzés (analízis) és a mennyiségi elemzés. Ez utóbbi fő ágazatai a térfogati (volumetrikus) analízis vagy titrimetria, a súly szerinti (gravimetrikus) analízis vagy gravimetria és a műszeres analitikai módszerek. Közülük a **műszeres analitikai módszerek** csoportja, az ami a leggyorsabban fejlődött az utóbbi évtizedekben, és ez az, aminek mind technikai kivitelezésének, mind alkalmazási területének van a legnagyobb perspektívája. A műszeres analitikai módszerek területe persze nem korlátozódik a mennyiségi analízisre, hanem ma már a kémiai analitikának egész területére kiterjed.

Módszer	Angol megfelelő
Alfa részecske Röntgen spektrometria	<a href="#">en:Alpha particle X-ray spectrometer</a> (APXS)
<a href="#">Atomabszorpciós spektroszkópia</a>	<a href="#">en:Atomic absorption spectroscopy</a> (AAS)
<a href="#">Atomemissziós spektroszkópia</a>	<a href="#">en:Atomic emission spectroscopy</a> (AES)
Atomfluoreszcencia spektroszkópia	<a href="#">en:Atomic fluorescence spectroscopy</a> (AFS)
Transzmissziós elektronmikroszkópia	<a href="#">en:Transmission electron microscopy</a> (TEM)
Ciklikus voltammetria	<a href="#">en:Cyclic Voltammetry</a> (CV)
Differenciális pásztázó kalorimetria	<a href="#">en:Differential scanning calorimetry</a> (DSC)
<a href="#">Elektronspin rezonancia</a> spektroszkópia	<a href="#">en:Electron spin resonance</a> , (ESR), vagy <a href="#">en:Electron paramagnetic resonance</a> (EPR)
Energiadiszperzív spektroszkópia	<a href="#">en:Energy Dispersive Spectroscopy</a> (EDS/EDX)
Erőtérbeli folyó frakcionálás	<a href="#">en:Field-flow fractionation</a> (FFF)
Folyadékkromatográfia-tömegspektrometria	<a href="#">en:Liquid chromatography-mass spectrometry</a> (LC-MS)
Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia	<a href="#">en:Fourier transform spectroscopy</a> (FTIR)
<a href="#">Gázkromatográfia</a>	<a href="#">en:Gas chromatography</a> (GC)
Gázkromatográfia-tömegspektroszkópia	<a href="#">en:Gas chromatography-mass spectrometry</a> (GC-MS)
<a href="#">HPLC</a> Nagy teljesítményű folyadékkromatográfia	<a href="#">en:High Performance Liquid Chromatography</a> (HPLC)
<a href="#">Induktív csatolású plazma atomemissziós spektrometria</a>	<a href="#">en:Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy</a> (ICP-AES)
<a href="#">Induktív csatolású plazma tömegspektrometria</a>	<a href="#">en:Inductively coupled plasma mass spectrometry</a> (ICP-MS)
Ion mikrominta analízis	<a href="#">en:Ion Microprobe</a> (IM)
Ionszelektív elektródos analízis (pH)	<a href="#">en:Ion selective electrode</a> (ISE) eg. determination of <a href="#">pH</a>
<a href="#">Kapilláris elektroforézis</a>	<a href="#">en:Capillary electrophoresis</a> (CE)
Kolorimetria	<a href="#">en:Colorimetry</a>

<a href="#">Kromatográfia</a>		<a href="#">en:Chromatography</a>
Lézergerjesztett le bomlásos spektroszkópia		<a href="#">en:Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS)</a>
<a href="#">Mágneses magrezonancia</a>		<a href="#">en:Nuclear magnetic resonance (NMR)</a>
Mössbauer spektroszkópia		<a href="#">en:Mossbauer spectroscopy</a>
Neutronaktivációs analízis		<a href="#">en:Neutron activation analysis</a>
<a href="#">Pásztázó elektronmikroszkóp</a>		<a href="#">en:Scanning Electron Microscope (SEM)</a>
Pásztázó Röntgenmikroszkóp		<a href="#">en:Scanning X-ray microscope (SXM)</a>
Pirolízis – gázkromatográfia – tömegspektroszkópia		<a href="#">en:Pyrolysis:Gas chromatography:Mass spectrometry (PY-GC-MS)</a>
<a href="#">Polarimetria</a>		
Raman spektroszkópia		<a href="#">en:Raman spectroscopy</a>
<a href="#">Refraktometria</a> (törésmutató szerinti analízis)		<a href="#">en:Refractive index</a>
Rezonanciával erősített multifoton ionizálás		<a href="#">en:Resonance enhanced multiphoton ionization (REMPI)</a>
Protonindukált röntgenemissziós analízis		<a href="#">en:Particle induced X-ray emission spectroscopy (PIXE)</a>
Röntgen-fluoreszcencia spektrometria		<a href="#">en:X-ray fluorescence spectroscopy (XRF)</a>
Röntgen mikroszkópia		<a href="#">en:X-ray microscopy (XRM)</a>
<a href="#">Komputertomográfia</a>		<a href="#">en:Computed tomography</a>
<a href="#">Tömegspektrometria</a>		<a href="#">en:Mass spectrometry (MS)</a>

A laboratóriumi gyakorlatokat kíséri egy elméleti-gyakorlati leírás sorozat, amelynek a célja, hogy felkészítse a hallgatót a műszerek és a mérések fizikai alapjaira, a minta előkészítés szükségességére és a kiértékelések módszereire.

#### A Haladó Labor I. a következő méréseket foglalja magába:

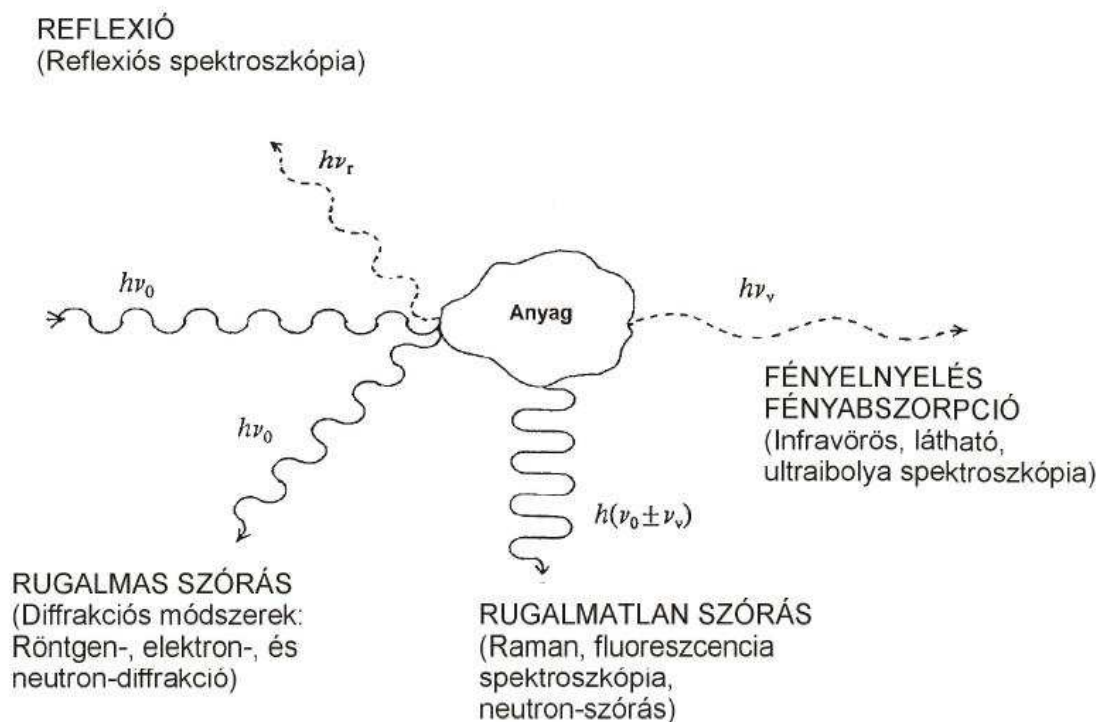
	Mérések, vizsgálatok megnevezése	Tartomány
1	Oldatbeli anyagok abszorpciós színekének mérése	UV, VIS
2	Oldatbeli anyagok gerjesztési és emissziós színekének mérése	UV, VIS
3	Oldatbeli anyagok csillapodási idejének meghatározása.	VIS
4	Lángionizációs atomabszorpciós mérés	UV, VIS
5	Elemanalízis ICP-AES spektrométerrel	UV, VIS
6	Fémötvözetek elemanalízise Lézer Indukált Plazma Emisszió méréssel	UV, VIS
7	Infravörös és Raman színek mérése	IR
8	Fourier-transzformációs infravörös spektroszkópia, FTIR	IR
9	Scanning Elektron mikroszkóp	VIS
10	Röntgen Fluoreszcencia Színek mérése	XUV
11	Talaj összetétel vizsgálat fényszórás méréssel (FRITSCH Analysette)	VIS
12	Mikrohullámú feltárás	IR

#### Tartalomjegyzék:

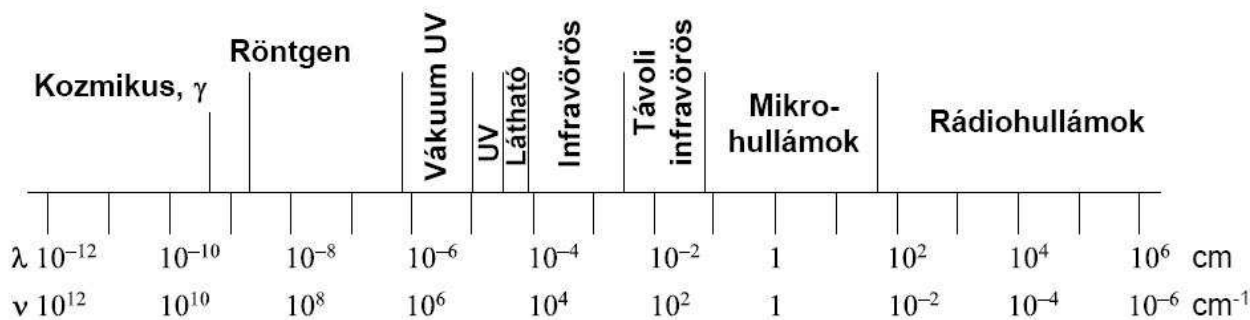
1. Elektromágneses sugárzás tartományai és anyaggal való kölcsönhatása
2. Elektromágneses sugárforrások
3. Vonalas színek, termséma, Grotrian diagram. Hidrogén, nátrium, magnézium, kalcium
4. Optikai mérési elrendezések

## 1. Elektromágneses sugárzás tartományai és anyaggal való kölcsönhatása

### ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁS ÉS ANYAG KÖLCSÖNHATÁSA

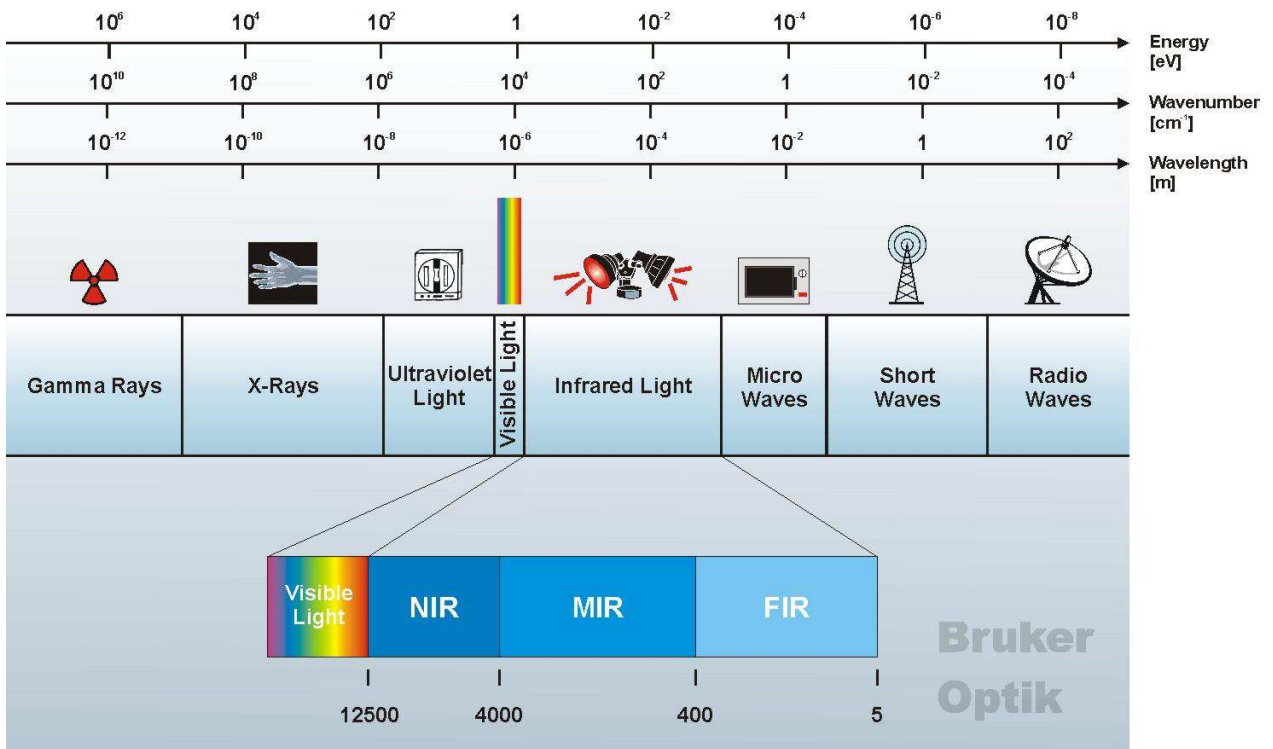


1. ábra: Elektromágneses sugárzás és az anyag kölcsönhatási formái



1.3. ábra. Az elektromágneses sugárzás tartományai.

2. ábra: A teljes elektromágneses színekép



3. ábra: A teljes elektromágneses színek energia egységeiben (eV, cm<sup>-1</sup>) és hullámhosszban (nm) megadva

Kvantum változás:	atommag konfiguráció változása	elektroneloszlás megváltozása	konfigurációs változás	orientáció változás	spinváltozás		
hullámszám	10 <sup>8</sup> cm <sup>-1</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>4</sup>	100	1	10 <sup>-2</sup>	
hullámhossz	100 pm	10 nm	1 μm	100 μm	1 cm	100 cm	10 m
frekvencia	3 x 10 <sup>18</sup> Hz	3 x 10 <sup>16</sup>	3 x 10 <sup>14</sup>	3 x 10 <sup>12</sup>	3 x 10 <sup>10</sup>	3 x 10 <sup>8</sup>	3 x 10 <sup>6</sup>
energia	10 <sup>9</sup> J/mol	10 <sup>7</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>3</sup>	10	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-3</sup>
Spektroszkópia:	γ-sugár	Röntgen	UV-VIS	IR	Mikrohullámú	ESR	NMR

4. ábra: Atomi, molekuláris jelenségek és az elektromágneses tér (spektroszkópiák) különböző tartományainak (négyféle skálán megadva) kölcsönhatása, a lejátszódó jelenségek megnevezése.

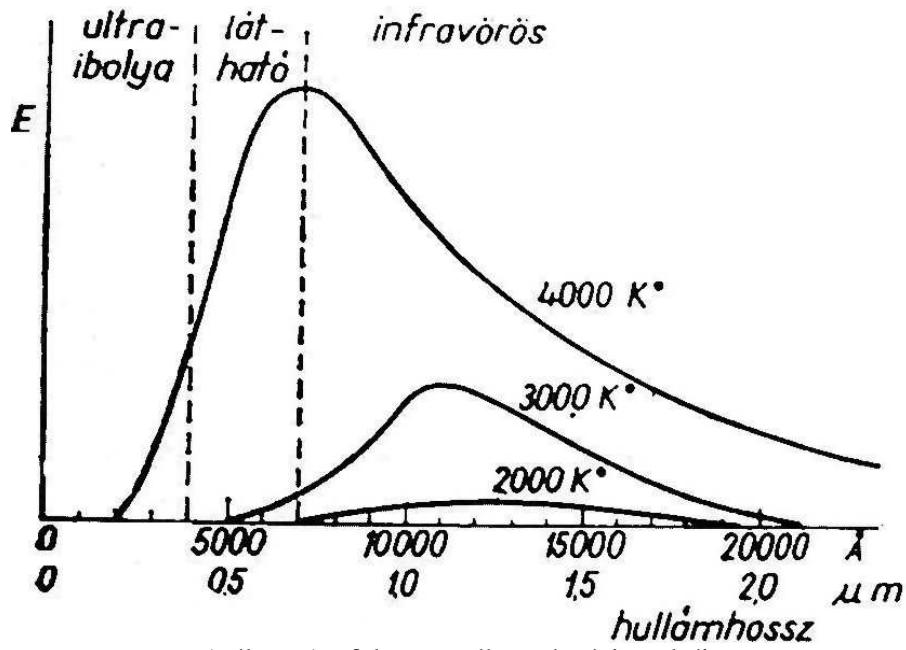
SPEKTROSKÓPIAI MÓDSZER	TARTOMÁNY		KVANTUM ÁTMENETEK TÍPUSAI
	HULLÁMHOSSZ	HULLÁMSZÁM	
Gamma-sugárzás (kozmosz sugárzás, emisszió)	0,005-1,5 Å	-	atommagok
Röntgen-abszorpció- emisszió, fluoreszcencia és diffrakció	0,1-100 Å	-	Belső elektronok atomspektroszkópia
Vákuum ultraibolya	10-200 nm	$10^6$ - $5 \cdot 10^4$	Kötő elektronok atomok (atomspektroszkópia)
Infravörös elnyelés emisszió, Raman szórás	0,8-1000 $\mu$ m	$10^4$ -10	Molekulák rezgése, forgása
Mikrohullámú elnyelés	0,1-100 cm	10-0,01	Molekulák forgása
ESR (elektronspin rezonancia)	3 cm	0,3	Elektronok spinje mágneses térben
NMR (mágneses- magrezonancia) és NQR (magkvadrupólos- rezonancia)	1-10 m	$10^{-2}$ - $10^{-3}$	Atommagok spinje mágneses térben

1. Táblázat, Elektromágneses sugárzás tartományai és a kvantumátmenetek típusai

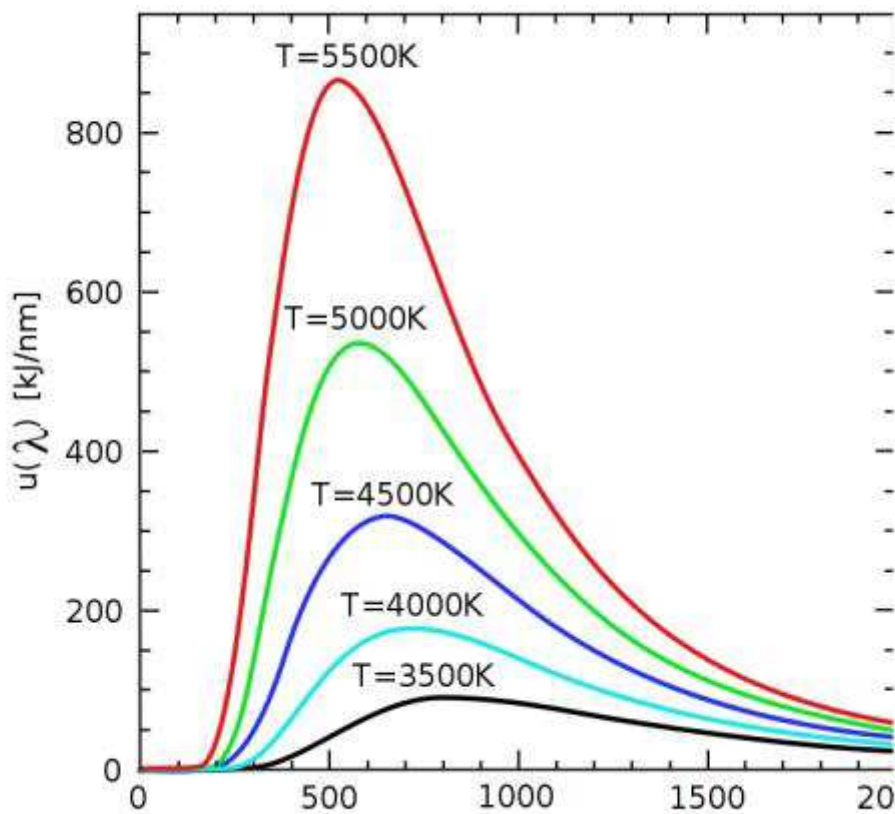
## 2. Elektromágneses sugárforrások

### 2.2. Hőmérsékleti sugárzók. Folytonos színeképű izzólámpák

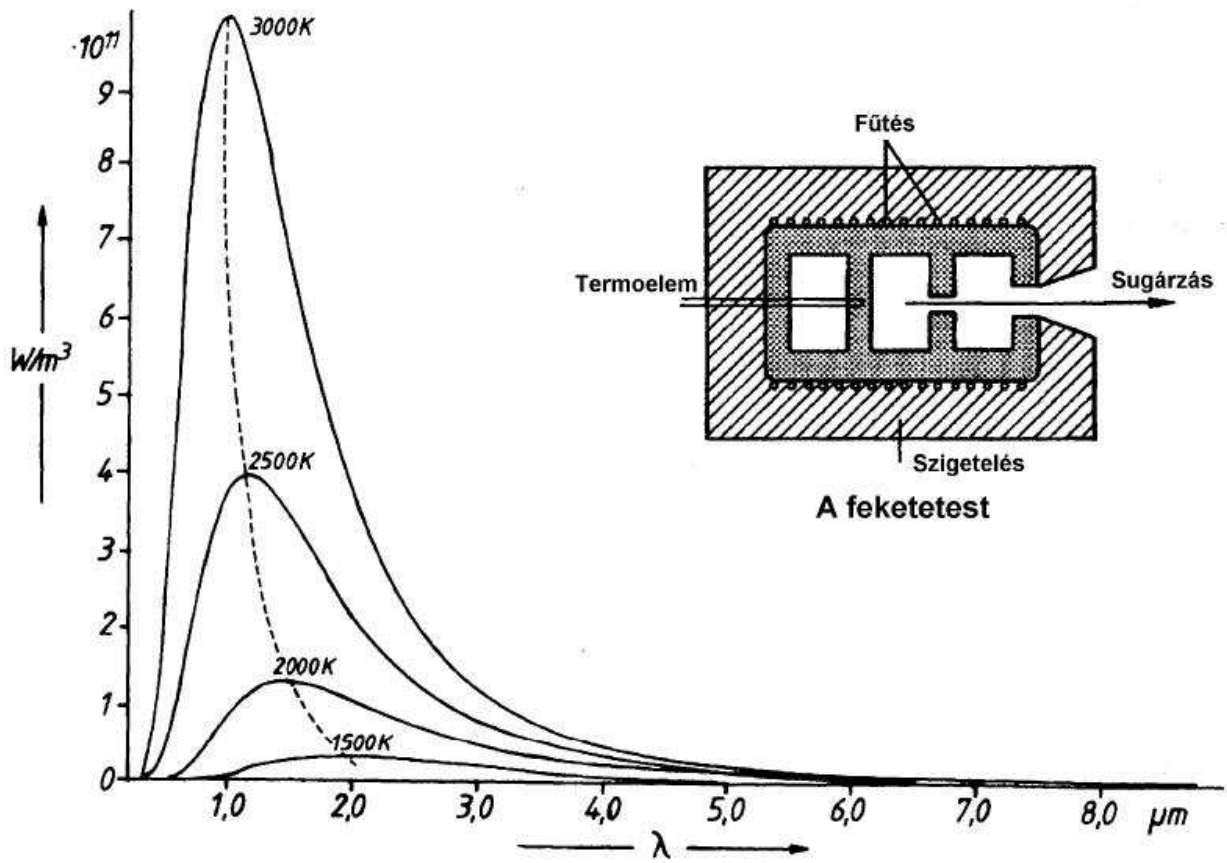
Az izzó test hőmérsékletére utal annak sugárzási görbéje (5-7. ábra). A hőmérséklet növelésével a sugárzás maximuma a rövidebb hullámhossz felé tolódik el (Wien-féle eltolódási törvény). Ebből következik, hogy hosszabb hullámhosszú infravörös sugárzást viszonylag alacsony hőmérsékletre hevített izzó test alkalmazásával kapunk. Általában 1000-1200°C-ra hevített szilícium-karbid (szilit) rudat vagy kb. 2000°C-ra hevített **cirkónium-, ittrium-, tórium-oxid elegyből álló izzót használnak**. Előbbit Globár-izzónak, utóbbit Nernst-izzónak nevezik. A sugárzásintenzitás maximuma a közeli infravörös tartományban van, a távoli infravörös tartomány felé haladva az intenzitás erősen csökken. Újabban **nikkel-króm spirálizzókat**, továbbá **nagynyomású higanygőzlámpákat** is használnak.



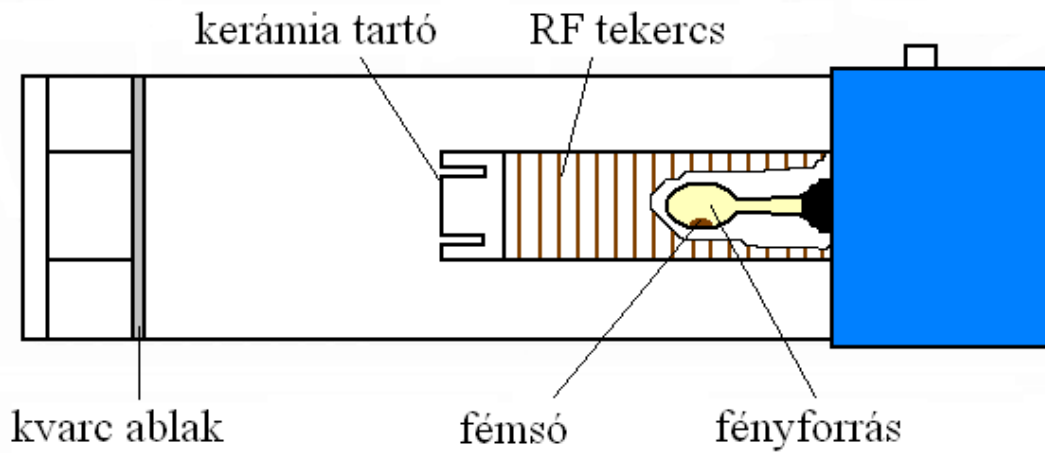
5. ábra: A „fekete test” sugárzási görbéje



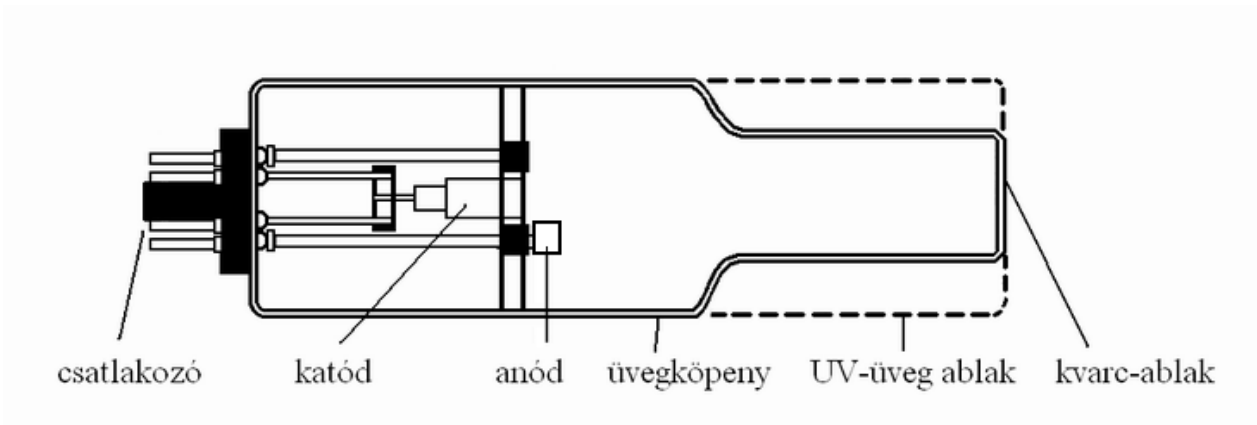
6. ábra: Különböző hőmérsékletű testek sugárzásának eloszlás görbéi



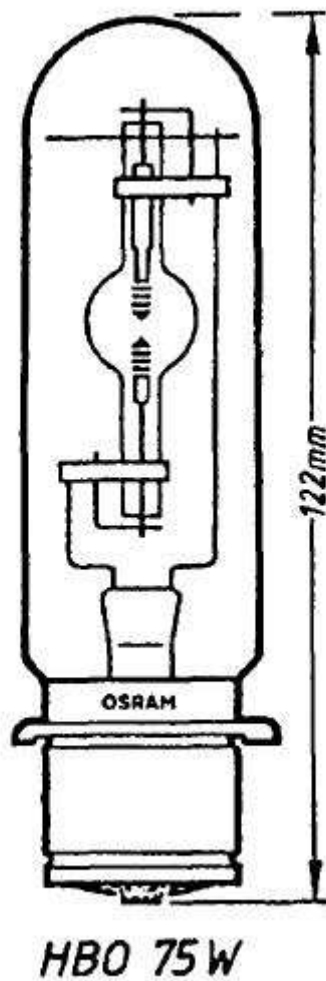
7. ábra: Wien-féle „eltolódási törvény”



8. ábra: Elektród nélküli lámpa atomabszorpcióhoz



9. ábra. Üreg katódú lámpa atomabszorpcióhoz



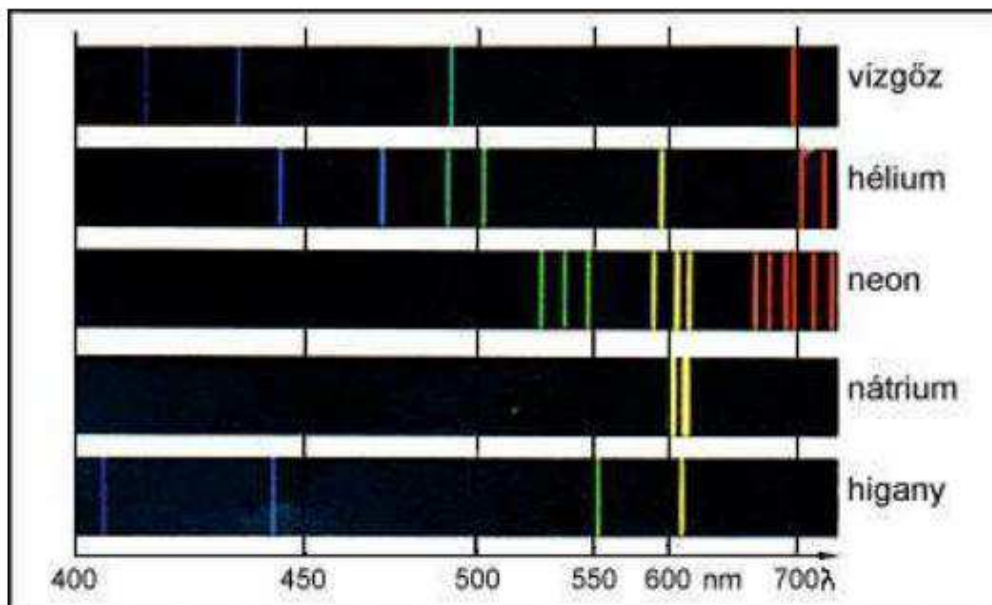
10. ábra Nagynyomású higanygőz lámpa fotolumineszcencia gerjesztéséhez



### 3. Vonalas színeképek, termséma, Grotrián diagram. H, Na, Mg, Ca

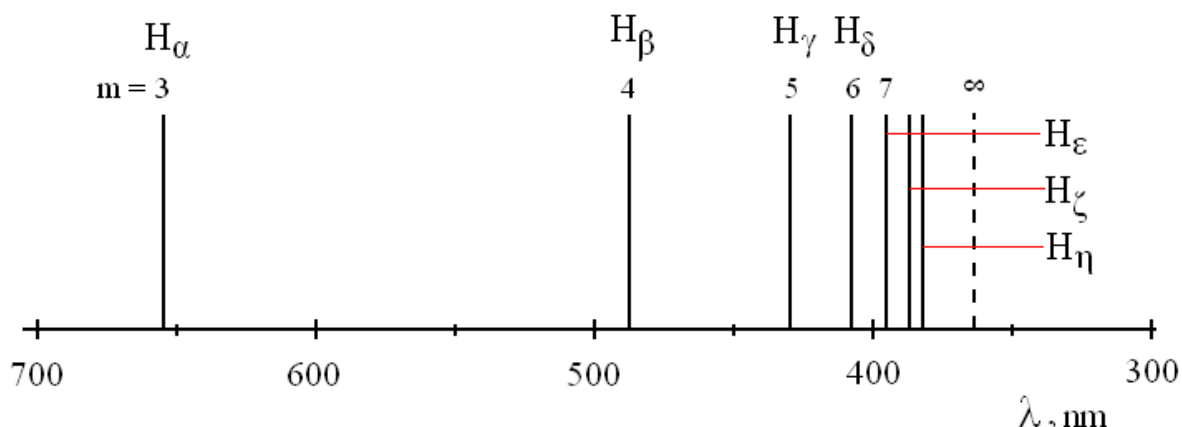
Fraunhofer designation	Wavelength (Å)	Identification
A	7594	O <sub>2</sub> band-head (terrestrial)
B	6867	O <sub>2</sub> band-head (terrestrial)
C	6563	H <sub>α</sub>
D1	5896	Na I
D2	5890	Na I
E1	5270	Fe I
E <sub>b</sub>	5183-5168	Mg (triplet)
F	4861	H <sub>β</sub>
G	4308	CH + Fe
H	3968	Ca II
K	3933	Ca II

2. Táblázat; Fraunhofer vonalak a Nap sugárzásában



11. ábra: Elemek termikus gerjesztést követő emissziós színeképei

Az 1880-as években az elemek emissziós atomszíneképe jelentette az alapot az **atomok elektronszerkezetének leírásához**. A **Bohr-féle atommodell** szerint az elektronok a nekik megfelelő alappályákon fény kibocsátás nélkül keringenek. Az ilyen energiaállapotú atomok tekinthetők alapállapotúaknak. Ha legalább egy elektron magasabb elektronpályára kerül, majd onnan egy alacsonyabbra, vagy az alappályára visszalép, a pályák közötti energiakülönbségnek megfelelő energiájú (rezgésszámú, hullámhosszúságú) foton, fotonokat bocsát ki. Bármelyik pályáról bármelyikre lép vissza az elektron, az mindig egy adott hullámhosszúságú színeképvonal keletkezésével jár.



12. ábra: A hidrogén emissziós színeke látható és ultraibolya tartományban

Legegyszerűbb a **hidrogén színeke** (12. ábra). A látható tartományban mindössze négy vonala jelenik meg, de az ultraibolya tartományban a sorozat további, egyre sűrűsödő vonalai figyelhetők meg. **1885-ben Balmer** felismerte, hogy az alábbi képlettel a vonalak  $\nu^*$  hullámszámai igen pontosan kifejezhetők. A **Balmer-szériánál** a 2 szám adott „jó megoldást”. Ezzel elkezdődött a spektroszkópia.

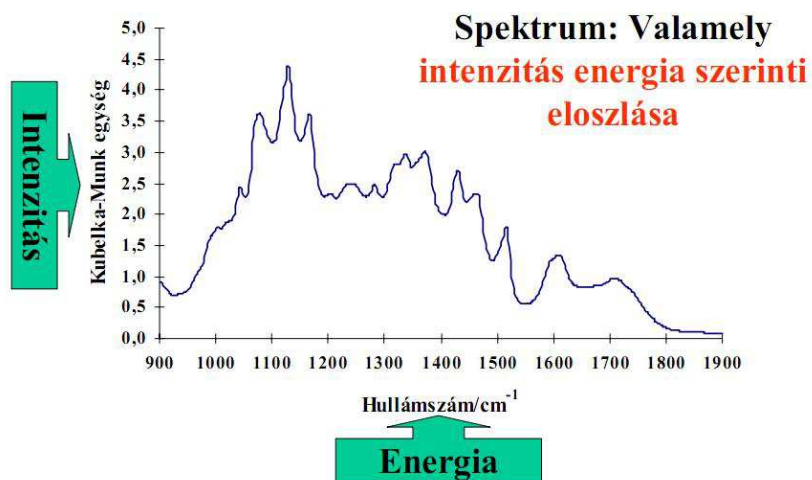
$$\nu^* = R \cdot (1/2^2 - 1/n^2) \quad (1)$$

ahol  $R = 109\,678\text{ cm}^{-1}$  és  $n = 3, 4, 5, \dots \infty$ .

Az  $R$  állandót (a svéd fizikus neve után) **Rydberg-állandónak** nevezzük.

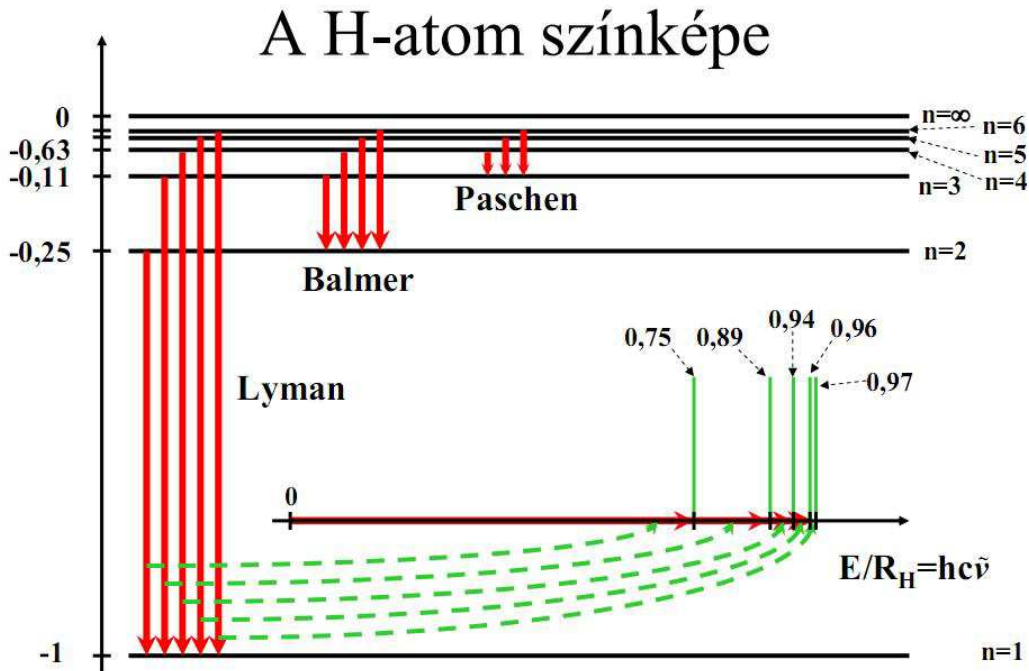
A **színeke** alatt a **sugárzás intenzitásának energia szerinti eloszlását** értjük.

## A színeke



13. ábra A SZÍNEKE definíciója

A hidrogén atom spektrumvonalainak „rendezése” során Balmer, Paschen és Lyman létrehozták a **termsémát**. A **termsémában** energia szinteket értelmeztek, amelyek közötti átmenetek energia értéke összekapcsolható a mért hullámhossz értékekkel. Ez volt a fenomenológiai leírás.



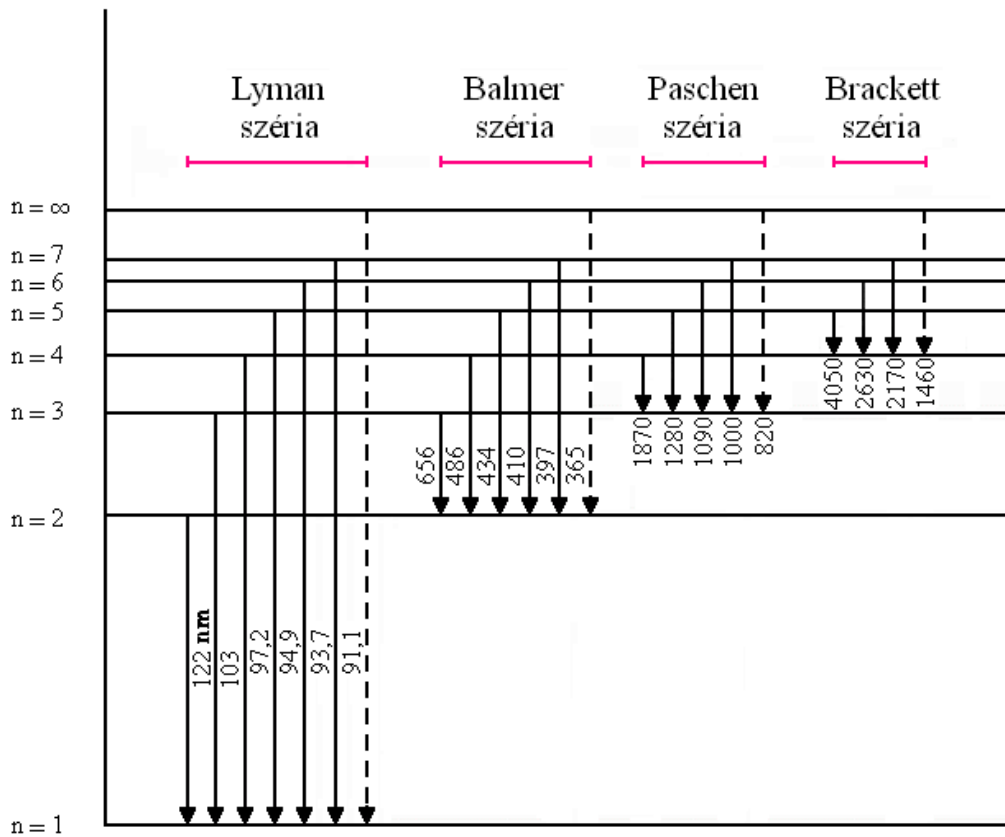
14. ábra: A hidrogén atom meghatározott spektrumvonalainak termsémába „rendezése”.

A hidrogén színekének későbbi (1890-es évek), részletesebb tanulmányozása a távoli ultraibolya és az infravörös tartományban további **színekészériák** felfedezéséhez vezetett. Ezeket a szériákat felfedezőikről **Lyman-, Paschen-, Bracket- és Pfund-szériának** nevezték el. Utóbbi sorozatok hullámszámának kiszámításához az (1-es) összefüggést annyiban kellett változtatni, hogy az első tagban a  $2^2$  helyett  $1^2$ ,  $3^2$ ,  $4^2$ ,  $5^2$  értékeket kellett helyettesíteni. Így a **hidrogén spektrumát kifejező általános képlet**

$$\nu^* = R \cdot \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2)$$

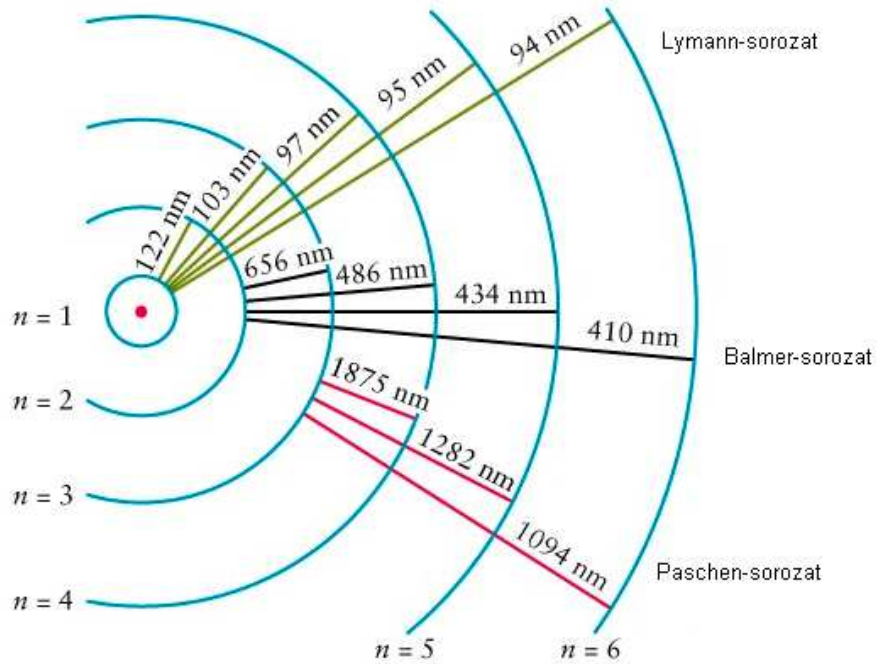
Az  $n > m$ . Az  $m$  számok (1–5) azt fejezik ki, hogy az adott szériánál az elektron bármely magasabb pályáról melyik pályára ugrik vissza.

Ezzel a hidrogén atom teljes termsémája a 15. ábrán látható.



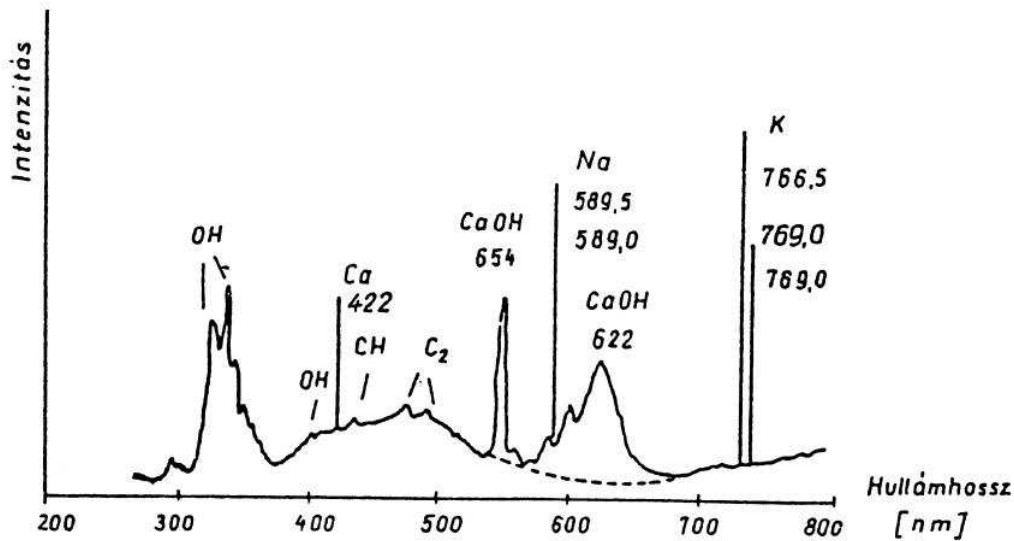
15. ábra: A hidrogén elektronszintjei, teljes termsémája.

A Balmer, **Lyman-**, **Paschen-**, **Bracket-** és **Pfund** által meghatározott színekp vonalakból **Bohr** (1916-ban) megalkothatta az atommodellt, amely elméleti leírás anyagi állandókkal kapcsolat össze a **Rydberg-állandót**. Ezzel bevezetésre kerültek ilyen fogalmak, mint fő kvantumszám (jele:  $n$ ). (Később mellék kvantumszám mágneses kvantumszám, majd spin kvantumszám).



16. ábra: Hidrogén atom Bohr féle atommodellje

A hidrogénhez hasonló vonalszériák a többi elem színekében is megfigyelhetők, de a színek jóval bonyolultabbak, mert az egyes szériák átfedésben vannak egymással.



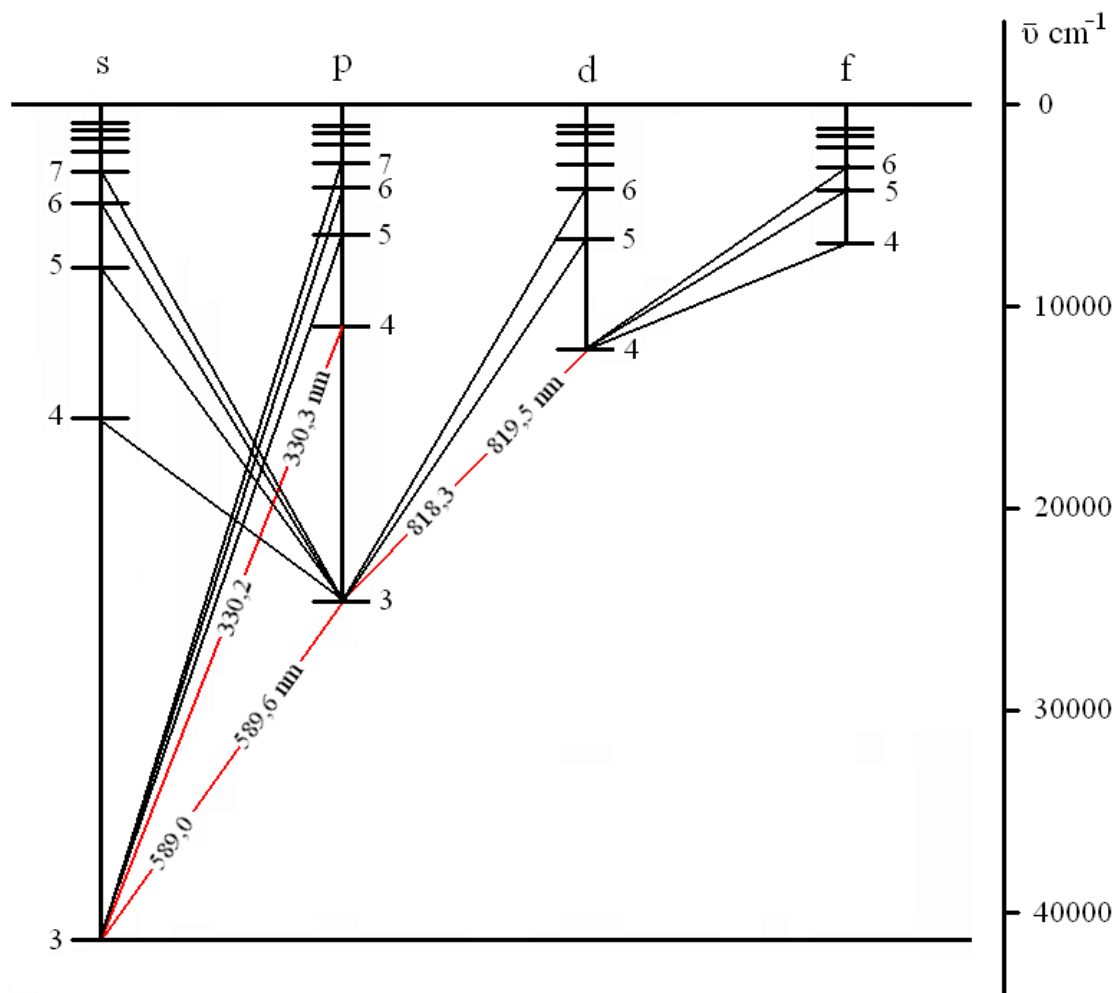
17. ábra Ca, Na, és K, valamint kétatomos molekulák színeképei

Itt is érvényes, hogy a vonalak hullámszáma két egész szám függvényének különbségként fejezhető ki, ahol  $n > m$ . E függvények számértékét termeknek nevezzük.

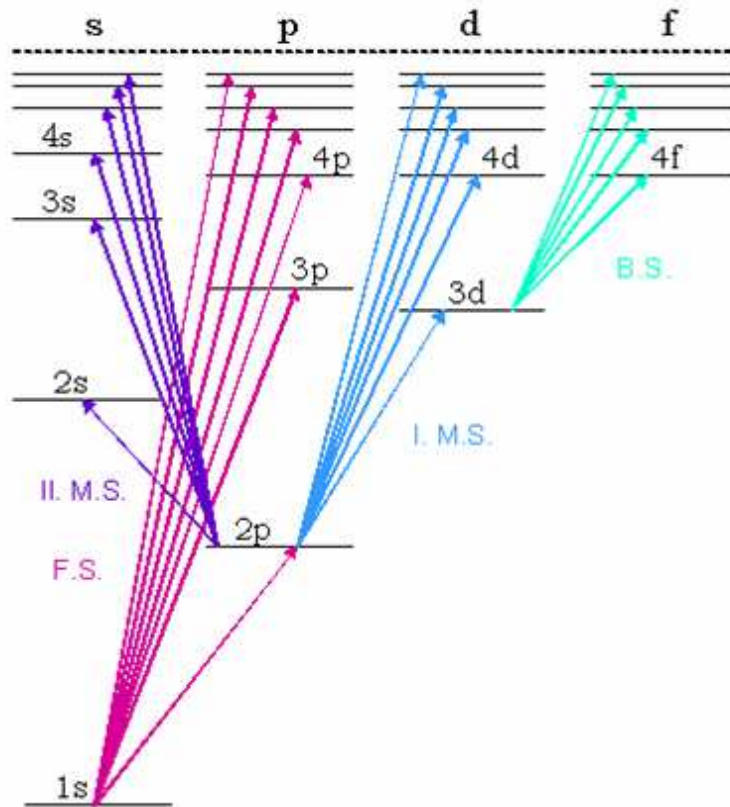
$$\nu^* = T(m) - T(n) \tag{3}$$

A különböző szériák jellegük miatt eltérő neveket kaptak. Az **s (sharp)**, **p (principal)**, **d (diffuse)**, **f (fundamental)** elnevezések jól mutatják, hogy őrizték meg az elektronpálya jelölések az eredetileg a színeképekre alkalmazott kifejezéseket.

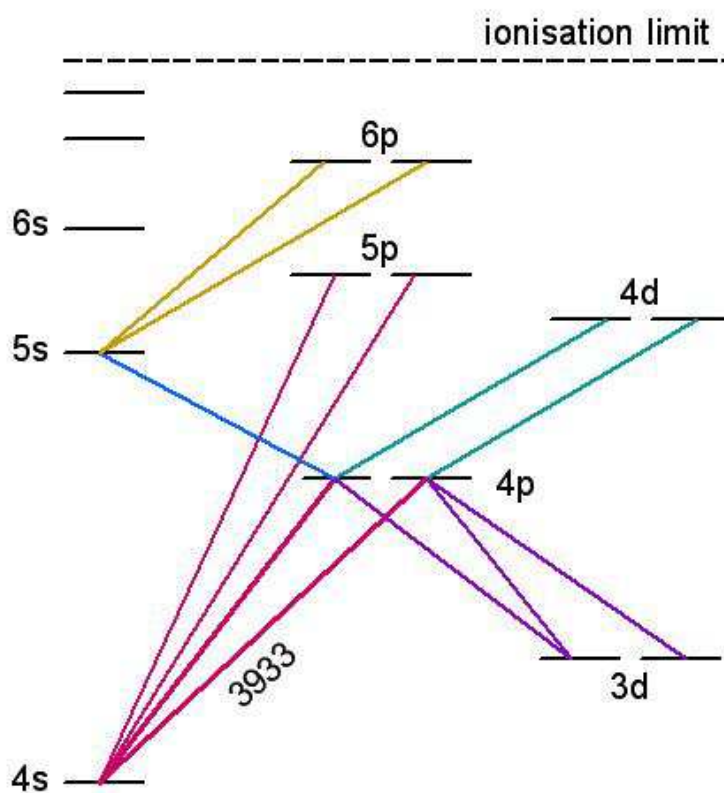
A elektronpálya átmeneteket a legszemléletesebben az úgynevezett **Grotrian diagramokon** lehet bemutatni. A diagram függőleges tengelyén a pályákat jellemző energiákat és az azokhoz tartozó elektronszinteket tüntetjük fel. Az egyes elektronszintek közti átmeneteket szimbolizáló nyilakra pedig az adott átmenetek által megjelenő színképvonal hullámhosszát írjuk. A 14-15 ábrán a **nátrium** atom, a 16. ábrán a **kálcium** atom, a 17. ábrán pedig a **magnézium** atom Grotrian diagramját tüntettük fel.



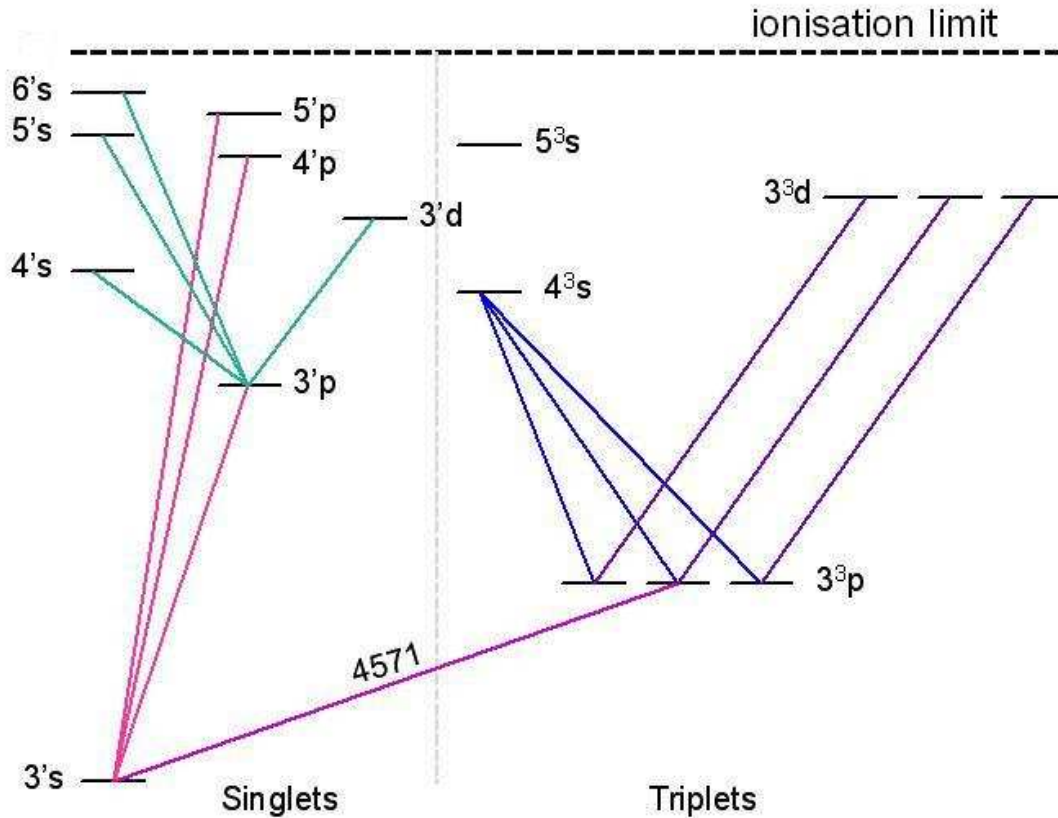
18. ábra: A nátriumatom elektronszintjeinek Grotrian diagramja



19. ábra: Nátrium atom Grotrian diagramja



20. ábra: Kalcium Grotrian diagramja



21. ábra: Magnézium Grotrian diagramja

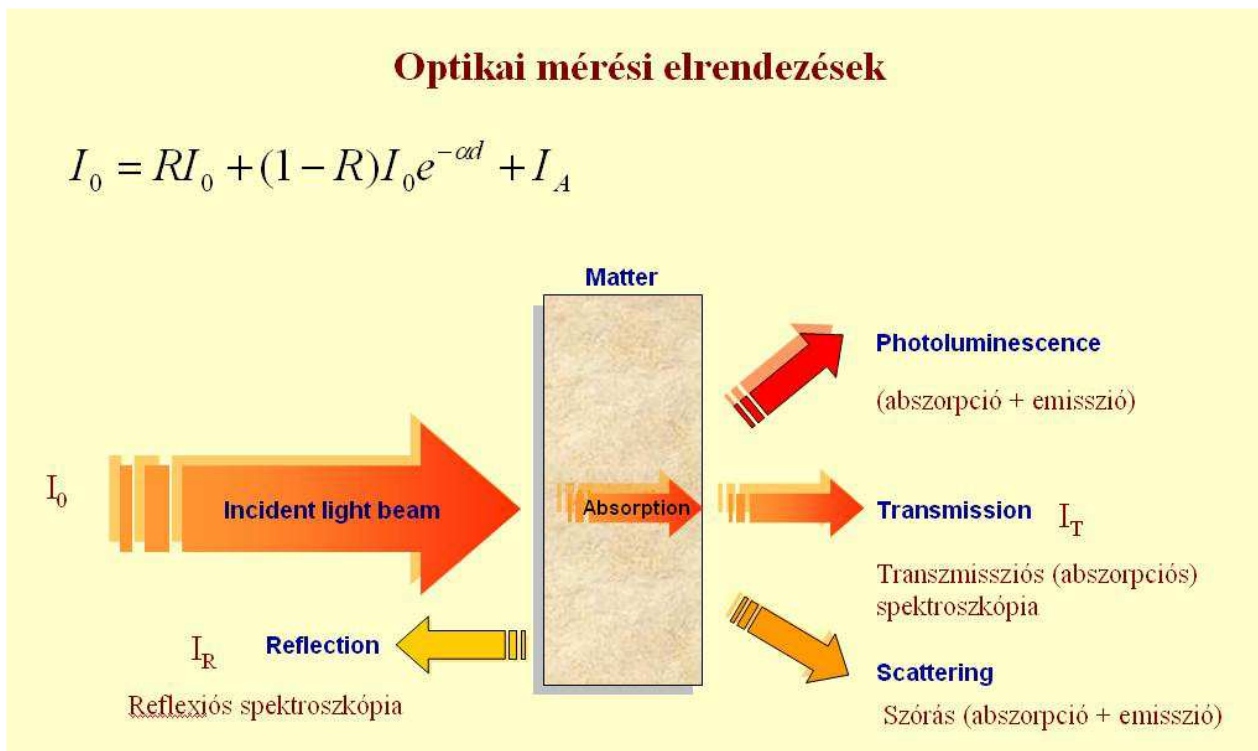
Összegezve, az atomok gerjesztésével nagyszámú színekvonalat tartalmazó spektrumot kapunk. A vasnak például mintegy 10 000 vonalát tartalmazzák a színek-táblázatok. Az **atomabszorpciós spektrometriában** e nagyszámú vonal közül rendszerint **csak a legkisebb gerjesztési energiával rendelkező egyetlen vonalat használjuk mennyiségi elemzésre**. Minden elemnek van még néhány további vonala, amely ugyancsak abszorbeálódik az elem alapállapotú atomjain, de ezeken a vonalakon mérve a módszer analitikai érzékenysége jóval kisebb, mint az optimális elemző vonalon.



#### 4. Optikai mérési elrendezések

Az **optikai mérési elrendezések** az alapján különböznek leginkább, hogy a mintára érkező fény (incident light beam) és az anyag (matter) kölcsönhatását követően milyen jelenség következik be. Ezek a következők lehetnek:

- Visszaverődés a beérkező felületről (reflection)
- Elnyelődés a mintában (Absorption)
- Kilépés a minta túlsó oldalán (Transmission)
- Fotolumineszcencia (Photoluminescence)
- Fényszórás (Scattering)

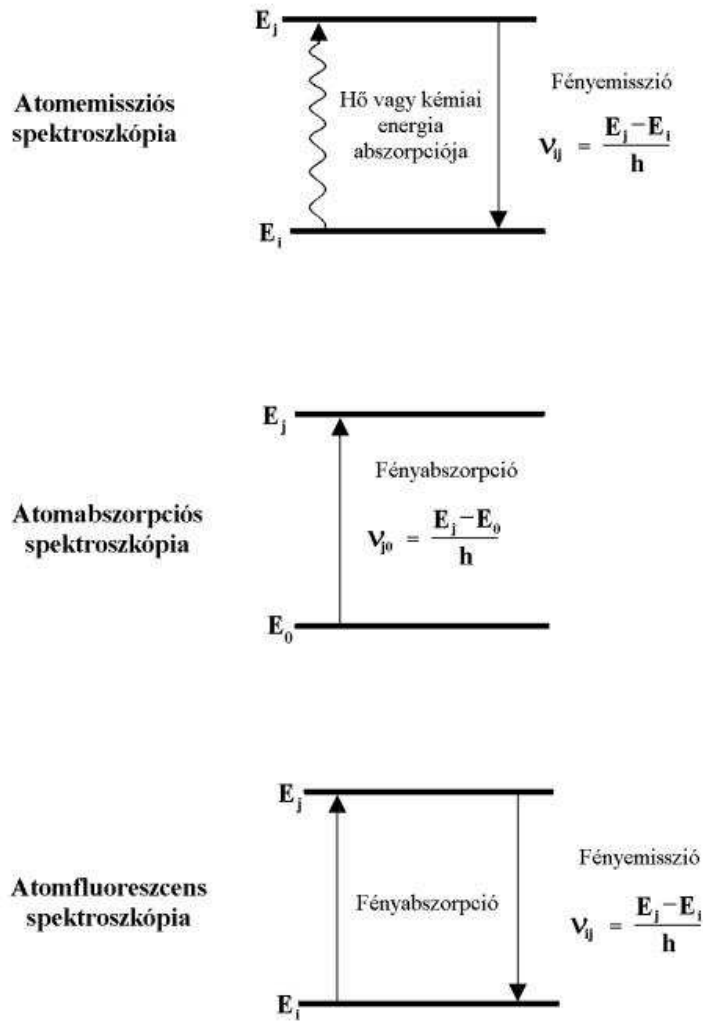


22. ábra. Fény és anyag kölcsönhatását követő optikai jelenségek

Ezeknek a jelenségeknek az elméleti, kvantummechanikai leírása során a 23. ábrán mutatott, kétszintes termsémákat szokták „alkalmazni”.

A 22. ábrán jelzett jelenségek alapján a 24. ábrán látható a legalapvetőbb spektroszkópiák felsorolása és azok termséma szerinti jellemzése.

A 22. ábrán felsorolt jelenségeknek mérőberendezésekkel történő megvalósításának blokkját a 25. ábrán látható egyszerű blokk-sémán lehet ezeket összehasonlítani.



23. ábra. Kétszintes termsémák az alapvető fény anyag kölcsönhatások leírására.

**Spektroszkópia:** az anyag elektromágneses sugárzással való (frekvenciafüggő) kölcsönhatásának megfigyelése

**abszorpció**

**emisszió**

**szórás**

Rayleigh

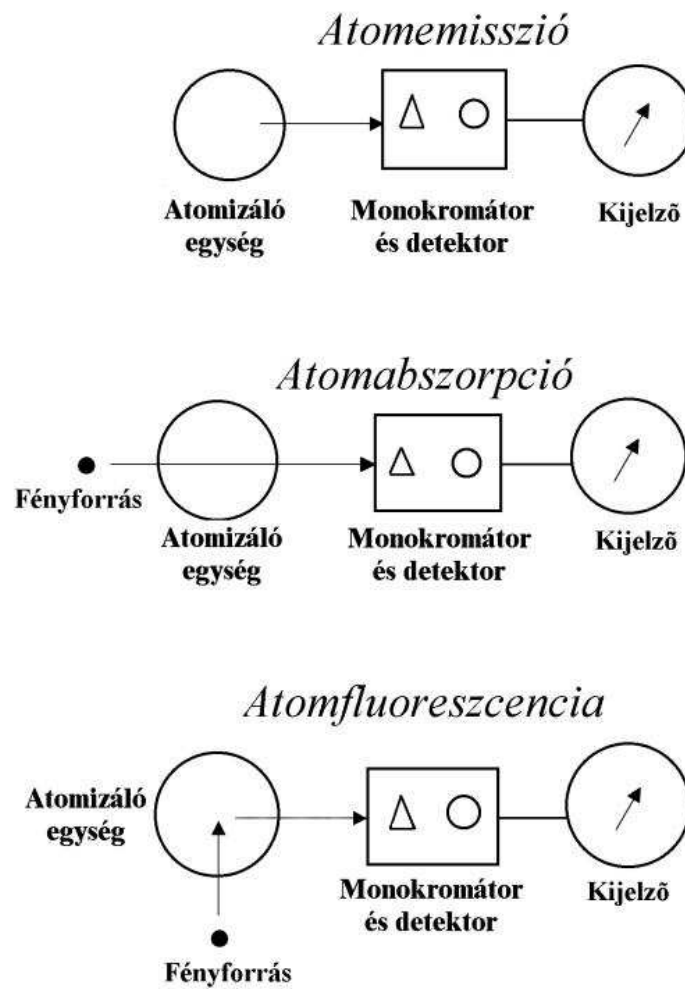
Stokes

anti-Stokes

The diagram illustrates the following processes:

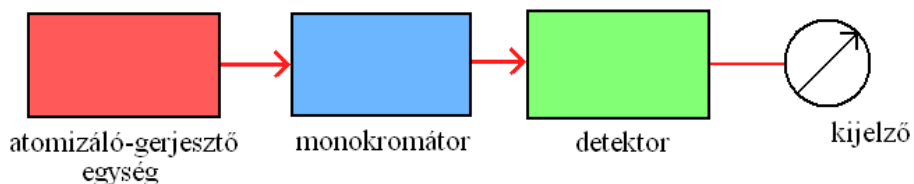
- abszorpció:** An atom transitions from a lower energy state to a higher one by absorbing a photon with energy  $h\nu$ .
- emisszió:** An atom transitions from a higher energy state to a lower one by emitting a photon with energy  $h\nu$ .
- szórás:**
  - Rayleigh:** An atom transitions from a higher energy state to a higher one (excited) by absorbing a photon with energy  $h\nu_0$ , and then transitions back to the original state by emitting a photon with energy  $h\nu_0$ .
  - Stokes:** An atom transitions from a higher energy state to a lower one (excited) by absorbing a photon with energy  $h\nu_0$ , and then transitions to an even lower state by emitting a photon with energy  $h(\nu_0 - \nu)$ .
  - anti-Stokes:** An atom transitions from a lower energy state to a higher one (excited) by absorbing a photon with energy  $h\nu$ , and then transitions to an even higher state by emitting a photon with energy  $h(\nu_0 + \nu)$ .

24. ábra A legalapvetőbb optikai spektroszkópiák és azok termséma szerinti jellemzése

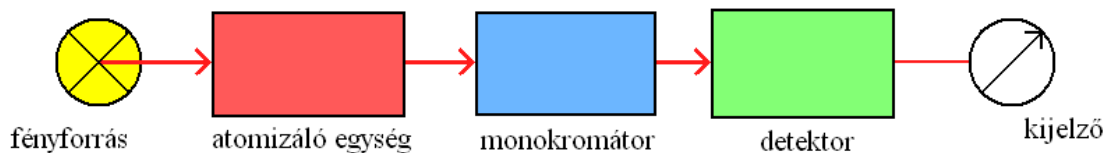


25. ábra Az egyes optikai spektroszkópiák mérőberendezésekkel történő megvalósításának blokksémái

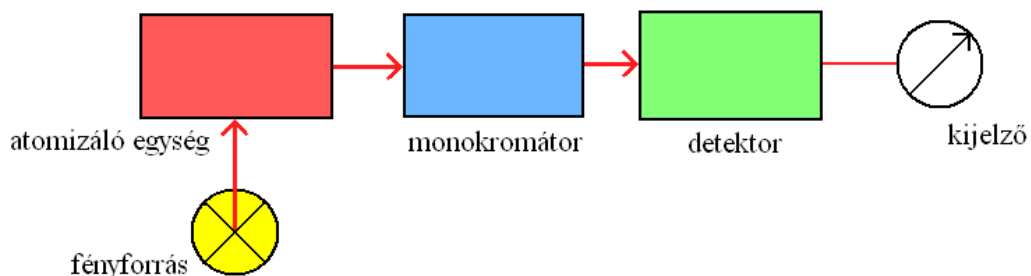
Atomemisszió



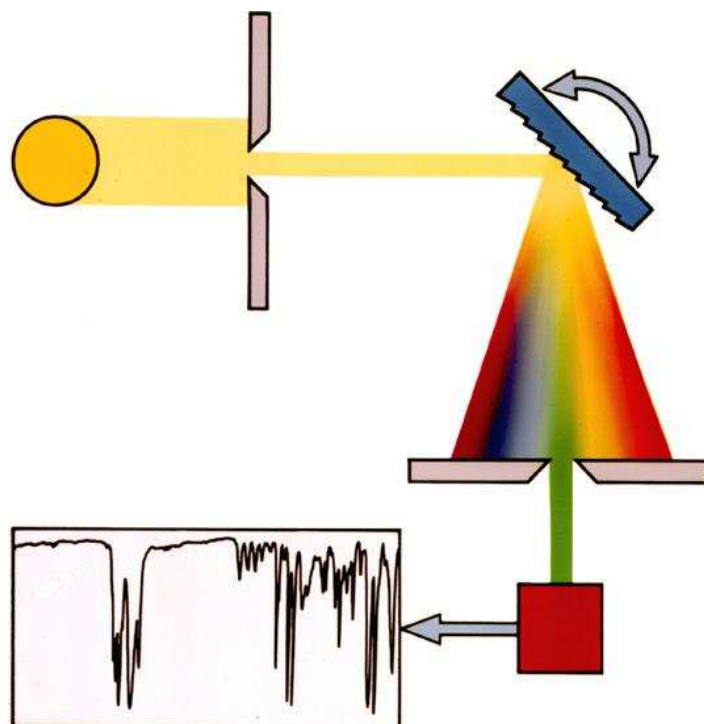
Atomabszorpció



Atomfluoreszcencia



26. ábra: Az atomemissziós (A), atomabszorpciós (B) és atomfluoreszcens (C) spektrométerek elvi vázolata



27. ábra Egy széles spektrális fényforrást és egy forgatható optikai rácst alkalmazó gerjesztő rendszer sémája.

## Kérdések

- 1.1. Sorolja fel az elektromágneses sugárzás és az anyag kölcsönhatása során azokat a jelenségeket, amelyek vizsgálatai optikai spektroszkópiai módszerekhez vezetnek!
- 1.2. Sorolja fel a teljes elektromágneses színekép főbb tartományait (adja meg hullámhosszban ezek alsó és felső határát!
- 1.3. Nevezze meg a teljes elektromágneses színekép azon tartományait, amelyeken kialakultak spektroszkópiai módszerek!
- 1.4. Soroljon fel fényforrásokat, jellemezze azokat spektrális tartomány szerint!
- 1.5. Adja meg a folytonos színeképű izzólámpák izzószálnak összetevő elemeit, üzemi hőmérsékletét!
- 1.6. Adja meg, hogyan függ a hőmérsékleti sugárzók spektrális eloszlása a hőmérséklettől!
- 1.7. Nevezzen meg keskeny spektrális vonalszélességet biztosító fényforrásokat, írja le felépítésüket!
- 1.8. Milyen fényforrásokat használunk atomabszorpciós méréseknél és milyeneket fotolumineszcencia gerjesztésére?
- 1.9. Adja meg a hidrogén, a higany, a nátrium látható tartományba eső spektrumvonalainak hullámhosszát!
- 1.10. Adja meg a színekép definícióját!
- 1.11. Adja meg a hidrogén spektrumát leíró általános képletet!
- 1.12. ismertesse, mi az a termséma!
- 1.13. Ismertesse, mi az a Grotrian diagram
- 1.14. Az elemeknek az atomabszorpciós spektrometriában milyen (melyik) vonalát alkalmazzák?
- 1.15. Mi alapján különböznek az egyes optikai mérőberendezések egymástól?
- 1.16. Melyek az alapvető optikai spektroszkópiai módszerek?
- 1.17. Hogyan „dolgozik” a spektroszkópiai?
- 1.18. Milyen szerepet tölt be az egyes spektroszkópiai elrendezésben a monokromátor?
- 1.19. Vesse össze az elvi vázlatok alapján az atomemissziós (A), az atomabszorpciós (B) és atomfluoreszcenciás (C) spektrométereket!
- 1.20. Rajzolja fel egy széles spektrális fényforrást és egy forgatható optikai rácsot alkalmazó gerjesztő rendszer sémáját!

---

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