

Példát arra, hogy miként old meg egy rekurzív függvény egy olyan feladatot amely egy számsorozat elemenkénti feldolgozását követeli meg, a következő részben olvashatsz!

**Kátai Zoltán**

## Optikai anyagvizsgálati módszerek

### II. rész

A XIX sz. közepére a fény sokféle tulajdonságát ismerték már a fizikusok, de ezek egy részét még nem tudták magyarázni, sem megfelelően alkalmazni. Ezeket röviden így foglalhatjuk össze:

A fény izzó fényforrásból származó, hullámmozgást végző részecskék vonulata, mely egy közeg határára érve visszaverődhet, szóródhat, s behatolva a közegbe irányt változtatva (fénytörés) erősségéből veszítve (részben vagy teljesen) elnyelődhet (abszorbeálódik), s a megmaradt része továbbhaladhat. Mutatja a fényelhajlás, interferencia jelenségeket, polarizálható. A terjedő fényt ugyanazokkal a fizikai mennyiségekkel jellemezték, mint a mechanikai hullámokat:

- ? hullámhossz (?): két szomszédos azonos fázisú pont távolsága, ma *nm* egységben adják meg
- ? periódus (T): az az idő, amely alatt egy teljes rezgés végbemegy
- ? frekvencia (?): egy másodperc alatt végzett rezgések száma  $\lambda \cdot \frac{1}{T}$

A fénysebesség nagysága függ a terjedési közegtől, vákuumban a jele *c*, bármilyen anyagi közegben értéke kisebb, mint *c*. A fénysebesség első számszerű meghatározását I. O. Römer végezte 1676-ban, mérve azt az időtartamot, amely a Jupiter egyik holdjának a Jupiter árnyékából való két egymás utáni kilépése közt eltelik akkor, amikor a Föld a Nap-körüli pályán a legközelebb, illetve a legtávolabb van a Jupitertől. A földpálya átmérőjének és a fényjel késésének ismeretében kiszámítható volt a fény terjedési sebessége. Römer a ma ismert legpontosabb értékkel ( $c=2,99793 \cdot 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) jól egyező adatot kapott. A fény terjedési sebessége függ a hullámhosszától:  $v = \lambda \cdot T$ , illetve  $v = \lambda \cdot f$

A  $c/v = n$  arány a közeg törésmutatója, nagysága függ a hullámhosszától.

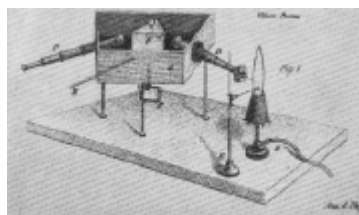
Törésmutató meghatározást már rég végeztek a fizikusok, de kémiai elemzésre, mérésre alkalmas készüléket először *E. Abbe* (1840 – 1905) szerkesztett. Készülékében a folyékony anyagok törésmutatójának meghatározására a mérési elv a teljes visszaverődés határszögének észlelésén alapszik. A műszerrel változtatható, jól meghatározott hőmérsékleten lehet mérni a mérőrendszer termosztatálásával. Skáláján közvetlenül törésmutató értékek olvashatók le (1,3 – 1,7 érték között  $\pm 0,0002$  hibával). Főleg szerves anyagok elemzésére, azonosítására használják.

A fényelnyelés jelenségét is már hosszabb ideje ismerték a fizikusok és próbálták hasznosítani. *Kirchhoff* és *Bunzen* felfigyelt arra, hogy a fényforrásként viselkedő izzó testek különböző színű fényt bocsátanak ki. Az izzó vas és az izzó platina fényét a prizma más összetevőkre bontja. 1855-ben *Bunzen* szerkesztett egy gázégot, amellyel

annyira növelhető a láng hőmérséklete, hogy az színtelené válik (ma ezt az égot nevezük Bunsen-égőnek) ami a színeképezés egyik feltétele.

A XIX. sz. derekáig a kutatók már megállapították, hogy a napszínkép fekete vonalai és a lángszínek színes vonalai azonosak. Vagyis az anyagok olyan hullámhosszúságú sugarakat nyelnek el, amelyeket gerjesztéskor maguk is kibocsátanak. Ezért az anyagok elnyelési (abszorpciós) és kibocsátási (emissziós) színeképe hasonló és rájuk jellemző. Először ez legegyszerűbben a nátrium D vonalára volt igazolható (az abszorpciós vonalaknak megfelelő hullámhosszakát latin betűkkel először Fraunhofer jelölte). Swan 1856-ban megállapította a nátrium D vonala alapján, hogy ha egy anyaghoz 1:2,5 milliomod arányban nátriumot adnak, akkor az a D vonala alapján kimutatható. Ilyen érzékenységu elemző módszerrel a kémikusok nem rendelkeztek.

A napszínkép alaposabb megismerésére több vizsgálatot végeztek (pl. Helmholtz kvarcprizmát használt, hogy az ibolyántúli tartományt is vizsgálhassa), de a színeképezés, mint analitikai módszer csak Kirchhoff és Bunsen 1859-ben elkészített spektroszkópja bemutatásától tekinthető létezőnek. A spektroszkóp nyújtotta lehetőségek jelentőségét Bunsen az első próbálkozásoknál már felmérte. Errol tanúskodik egyik tanítványának, Roscoenak írt levele:



Bunsen és Kirchhoff első spektroszkópja

„Pillanatnyilag Kirchhoffal együtt dolgozunk valamin, amitől aludni sem tudunk ... ez megnyitja az utját annak, hogy a Nap és állócsillagok összetételét ugyanolyan biztonsággal megállapítsuk, mint amilyenekkel reagenseinkkel kimutatjuk a szulfátot, vagy kloridot. Ugyanilyen pontossággal mutathatók ki az elemek a Földön is. ... ha vannak eddig meg nem talált új elemek, felfedezésükben a színeképezés fontos szerepet játszhat ... remélhető, hogy lángszíneképezés vizsgálatával még olyan kis mennyiségeket is fel lehet majd ismerni, amire közönséges kémiai észleléssel mód nem nyílik.” Módszerük jelentőségét bizonyította, hogy még azon évben felfedezték a céziumot és rubidiumot. Készüléküket tökéletesítették, s Kirchhoff-Bunsen-féle spektroszkóp néven forgalmazták is. Az általuk kidolgozott színeképezés lehetősége nagy lendületet adott a szervetlenkémiai kutatásoknak. Viszonylag rövid idő alatt sikerült felfedezni a ritkaföldfémek nagy részét. A nagy „elemvadászatban” még hibák is történtek, s rövid időre olyan elemek létét is feltételezték (pl. az ausztrium és dianiumnak nevezettek), melyek kísérleti hibák eredményeként, téves észlelésekből származtak, s létük nem minősült idotállónak.

A minőségi azonosításokkal párhuzamosan mennyiségi meghatározásokkal is próbálkoztak, mivel már ismert volt, hogy a fényabszorpció mértéke a fény hullámhossztartományától és az abszorbeáló anyagtól függ.

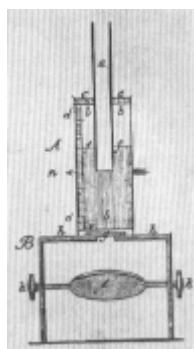
Az abszorpciós spektroszkópia a fényelnyelés törvényén alapszik, amelyet először Bouguer francia matematikus fogalmazott meg (1729), majd Lambert írta le (1760), amely szerint a fény intenzitáscsökkenése arányos a rétegvastagsággal. Beer kimutatta (1852), hogy a Lambert törvény oldatokra is érvényes, az abszorpció mértékében a rétegvastagság változtatásával azonos szerepet játszik a koncentrációváltozás. Bunsen és tanítványai (Roscoe) végeztek először mennyiségi elemzést abszorpciós spektroszkópiával, de nem kaptak egyértelmű eredményeket, ezért Bunsen szerint mennyiségi elemzésre nem alkalmas a módszer. A Lambert-Beer törvényt fotokémiai tanulmányaikban használták fel. Bunsen bevezette az extinkciós koefficiens fogalmát, amely annak a rétegvastagságnak a reciproka, amely az adott anyag esetén a ráeső fény intenzitását 1/10-re csökkenti. Az extinkciós koefficiens koncentrációval arányos voltát számításaiiban már nem alkalmazta. Ezt először Vierardt értékesítette mennyiségi analízisben (1872).

Az analitikai kémiában mennyiségi elemzésre a láthatófény elnyelésén alapuló jelenségeket alkalmazták először. Mivel a vizsgálandó minták (általában oldatok) színerosságát hasonlították össze, az eljárást az analitikai kémiában *kolorimetria* néven emlegetik.

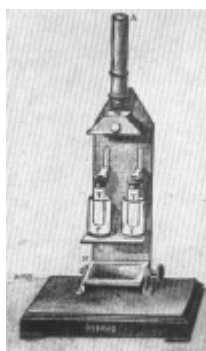
A legelső, leközölt próbálkozás *C. Heine* nevéhez fűződik (1845), aki ásványvizek brómtartalmát határozta meg a bromidtartalmú oldathoz klórosvizet adva, s a kiváló brómot szénkénnel ( $CS_2$ ) kirázva a brómtartalomtól függően különböző színerosságú színes oldatot kapott. Ismert mennyiségű  $KBr$ -tartalmú oldatokból mintasorozatot készített, s ezekkel hasonlította össze a vizsgált oldat színét.

Mérési elvére *Müller* 1853-ban egy készüléket szerkesztett, mellyel pl. a vas vasticianát színes vegyület formájában  $0,0001g/100ml$  oldat mennyiségben meghatározható.

Az elemző módszert *Duboscq* fejlesztette tovább, új készüléket szerkesztve, mellyel a színes oldatok koncentrációja gyorsan, megfelelő pontossággal meghatározható.



*Müller*  
elso kolorimétere



*Duboscq*  
kolorimétere

A Duboscq koloriméter működési elve a Lambert-Beer törvény, amely szerint színtelen oldószerben oldott színes anyagot tartalmazó  $c$  koncentrációjú oldat  $d$  vastagságú rétegén áthaladó fény intenzitásának csökkenése arányos a koncentráció és rétegvastagság szorzatával. Amennyiben a vizsgálandó anyagból ismert,  $c$  koncentrációjú oldatot készítenek, s abból olyan  $d$  vastagságú rétegen bocsátják át a mérendő mintával egyszerre a fényt, hogy az intenzitáscsökkenés ugyanakkora legyen mint a vizsgált ismeretlen  $c_x$  koncentrációjú,  $d_x$  rétegvastagságú minta esetén, akkor:

$$c \cdot d = c_x \cdot d_x, \text{ ahonnan az ismeretlen koncentráció egyszerre kiszámítható: } c_x = \frac{d}{d_x} \cdot c$$

A kolorimetriás eljárások elvben már nem, technikájukban, a muszerezettség tökéletesítésében változtak az idők során.

Míg a kémikusok a fényvel kapcsolatos ismereteket próbálták az anyagmegismerésben gyümölcsöztetni, a fizikusok a még magyarázhatatlan kísérleti jelenségek tisztázására próbálták elméleti magyarázatot adni.

A XIX. sz. második felében a legjelentősebb eredmény a fizikában *J. C. Maxwell* (1831 – 1879) nevéhez fűződik. Elektrodinamikai vizsgálatai során megállapította, hogy az elektromágneses hatások a fény sebességével terjednek, felismerte, hogy a fény elektromágneses hullám. Míg a mechanikai hullámok terjedéséhez közegre van szükség, az elektromágneses hullámok vákuumban is terjednek. Elméletéről kiadott könyvét: *Treatise on Electricity and Magnetism* (1864) a kultúrtörténet a Newton *Principia*-jával azonos értékűnek tartja. Ebben írta: „... Nyomás okunk van arra következtetni, hogy a fény (beleértve a hőt és más sugárzást, ha van ilyen) maga is egy, az elektromágneses törvények szerint az elektromágneses térben hullám alakjában tovaterjedő elektromágneses zavar.”

Az elektromágneses sugárzás hullámhossza és sebessége a közeg törésmutatójától függ:  $c_n = c/n$  ahol  $c$  és  $n$  vákuumban mért értékek.

Az elektromágneses sugárzások teljes spektruma:

**Megnevezés**

?

Rádióhullámok

A frekvencia (rezgésszám) nem függ a közegtől, értéke változatlan marad amikor a sugár egyik közegből másikba átlép.		> 10cm
	Mikrohullámok	1mm – 10cm
	Távoli infravörös	30 m – 1mm
	Közeli infravörös	800nm – 30 $\mu$ m
	Látható	400 – 800 nm
	Közeli ultraibolya	200 – 400 nm
	Távoli ultraibolya	10 – 200 nm
	Röntgensugarak	100 pm – 10 nm
	$\gamma$ -sugarak	< 100 pm

A látható fény szemünkben fiziológiai érzetet kelt a hullámhosszától függően, s ezért különböztetünk meg színeket. A látható fény színei a 400–700 nm hullámhossztartományban érzékelhetők. Az elektromágneses sugárzás a látható tartomány minden részén ugyanúgy viselkedik. Amennyiben a látható tartománytól messzire eltávolodunk, a kölcsönhatás megváltozik. Pl. vékony alumínium lemez a látható fény számára tükröző felület, míg a röntgen és  $\gamma$ -sugarak számára átlátszónak bizonyul.

Szín	Közeli hullámhossz mértéke nm-ben
lila	420
kék	470
zöld	520
sárga	570
narancs	620
piros	670

Az elektromágneses sugárzás forrásai a gerjesztett részecskék (elektronok, atomok, ionok, molekulák). A látható fény számára egy forrón izzó test (izzólámpa szála, aminek hőmérséklete kb. 3000K) A szilárd testben homogén végző atomok, molekulák olyan sugárzást bocsátanak ki, amely sokféle hullámhossz keveréke. A hullámhossz nagy része az infravörös tartományba esik, az energiának csupán kis része jut a látható tartományba.

Eros fényforrás az ívfény, amely egymástól néhány mm-re széthúzott szén, vagy fémrudacsok között egyenáramú elektromos kisülés eredményeként keletkezik. Az egyik rúdvégbe ütköző elektronok hatására kb. 4000K hőmérséklet alakul ki, amelynek eredménye az erős fehér fény létrejötte. Üvegcsobe zárt fémgözyökön (Na, Hg) keresztül kialakult ívkisülés meghatározott hullámhosszú fényforrást eredményez. Egyszínű, úgynevezett monokromatikus sugárzást ma lézerekkel állítanak elő.

Nem tudták magyarázni a szilárd testek hevítésekor észlelhető színváltozást. Eloször mélyvörös, majd narancssárga, majd nagyobb hőmérsékleten sárgásfehér, míg igen nagy hőmérsékleten kékesfehér lesz az izzított test színe. Vagyis kisebb hőmérsékleten a kisugárzott energiának viszonylag nagyobb része esik a hosszú hullámok tartományába (vörös felé), mint a rövidebbekébe (kék felé). Ahogy nő a hőmérséklet, viszonylag több energia esik a kék felé. Az addigi termodinamikai ismeretekkel nem tudták magyarázni ezt a jelenséget.

A fekete test sugárzás- és elnyelés-vizsgálata során megállapították (*Stefan* és *Boltzmann*), hogy a fekete test által az összes hullámhosszon kisugárzott energia arányos az abszolút hőmérséklet negyedik hatványával. Különböző hőmérsékleten vizsgálva a sugárzást *Wien* megállapította, hogy a hőmérséklet emelkedésével a kísérletileg meghatározott görbék maximumai a rövidebb hullámok felé tolódnak el.

*Planck* az izzó testekből kilépő elektromágneses sugárzást vizsgálva, arra a felismerésre jutott, hogy ezek a rezgőrendszerek mások mint a hagyományos fizikában ismertek. Feltételezte, hogy a sugárzó energia nem folytonosan, hanem kvantumokban változik. Ezzel a matematikai leírása a *Rayleigh-Jeans* törvénynek, mely harmonikus oszcillátoroknak tekintette a sugárzó részecskéket, összhangba került a kísérleti mérésekkel. *Planck* szerint ezeknek a harmonikus oszcillátoroknak a megengedett energiaállapota:  $E = n \cdot h \cdot \nu$ , ahol  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ , a  $h$  arányossági tényező, értékét kísérleti adatok alapján határozta meg, ma *Planck*-állandónak nevezzük:

$$h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \text{ (vagy } 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s.)}$$

*Planck* feltételezte, hogy az oszcillátor csak  $E$  nagyságú energiakvantumokat képes elnyelni, vagy kibocsátani  $E = h \cdot \nu$

(folytatjuk)

**Máthé Eniko**

## tudománytörténet

### Kémia történeti évfordulók

2002. december

**280 éve**, 1722. december 23-án született Svédországban Alex Frederick CRONSTEDT. Az Uppsalai Egyetem metallurgia tanára volt. Egy svédországi ásványban