

Fény születik

*„Legyen világosság!”
És lett világosság
(Teremtés könyve 1,3)*

Gyönyörködünk egy műemlék épület szépen komponált díszvilágításában, futballmérkőzést nézünk a megvilágított pályán, ülünk a helyi világítással ellátott munkaasztalunk mellett, hangulatlámpánk fényénél olvasunk. Természetesnek vesszük, hogy mindez a látás élményéhez kapcsolódik, s hogy ez az élmény létrejöheszen, valamilyen fajtájú és mértékű világításra van szükség. A helyes világítás pedig alapvetően két pilléren nyugszik; az egyik a fény önmagában, mint fizikai jelenség, a másik az alkotó ember, aki megfelelő eszközöket és módszereket alkalmazva, műszaki, ergonómiai és esztétikai ismeretek birtokában a fényt az adott célnak legmegfelelőbbben alkalmazza. Erre jelen kötetben is számos figyelemre méltó példát láthatunk.

A szép világítási megoldások születéséhez tehát magának a fénynek kell megszületnie.

Ha a fény lehetséges „születési körülményeit” vizsgáljuk, a fényforrásokat kell egy kicsit mélyebben tanulmányoznunk. A ma világítástechnikája a fénykeletkezés módja szerint alapvetően háromféle fényforrást ismer. Képzeljünk lelki szemeink elé egy izzólámpát, egy fénycsövet és egy LED-et; mindegyik egy-egy példája a fénykeltésnek, sőt, a fénycsőben két, egymástól fizikailag jól elhatárolható jelenség is lejátszódik.

Az izzó testek sugározta fény az emberiség ősi tapasztalata, de születésének titkát nagyon sokáig nem engedte meg-

fejteti. Ha ennek az írásnak a keretein belül kicsit is bele kívánunk tekinteni ebbe a „titokba”, először arra a kérdésre kell választ keresnünk, hogy mi is a fény.

Régi elméletek, felfogások

A régi természetfilozófusok közül Platont említhetjük, aki a fényt a szemből kiinduló „látósugárnak” képzelte, vagy Aristotelest, aki szerint a látás annak a következménye, hogy közvetítő elem mozog szemünk és a látott tárgy között. A geometriai optika egyes törvényszerűségeit és az egyszerű fénytani eszközöket már az ókorban ismerték, elég, ha az Euklides által leírt gömbtükrökre, vagy Ptolemaios által matematikailag is vizsgált fénytörésre gondolunk. Az újkor csillagásza és hajósai a minél jobb távcsövek készítésére sarkalták a kutatókat, ami az alkalmazott optika fejlődésének kedvezett. A XVII. század elején kalandozva nem felejtkezhetünk el Keplerről, aki nemcsak – mint csillagász – a bolygók mozgástörvényeit írta le, hanem mai látáselméletünknek egyik megalapozója volt.

A középkorai fizikakönyvekben is olvasható, hogy a XVII. század végére a fény mibenlétét tekintve alapvetően két nézet vált uralkodóvá, mindkettőt a fizikátörténet egy-egy óriása képviselte. Huygens (1629-1695) elmélete szerint a fény éterrészcskék ütközésének eredményeként létrejövő mozgásállapot hullámszerű terjedése. Newton (1643-1727) ezzel szemben a korpuszkuláris elméle-

tet tartotta helyesnek, mely szerint a fény apró részecskének az üres téren való áthaladásából áll. Kettejükön kívül természetesen számos tudós járult hozzá ma is helytálló ismereteinkhez, így a rendkívül intuitív, de összeférhetetlen természetű Hooke (1635-1703), aki magyarázatát adta a prizmán áthaladó fény színeképre bomlásának, és a hullámtermesznet támogatójaként a tranzverzális hullámterjedést hirdette. Mindemellett Newton óriási tekintélyének köszönhetően a következő évtizedekre nézve a részecskeelmélet látszott diadalmaskodni.

Az 1800-as évek elején folytatott fénytani kísérletek és elméleti magyarázatuk - elsősorban Fresnel és Young interferenciára és polarizációra vonatkozó vizsgálataira gondolhatunk, -vezettek el odáig, hogy a fény minden kétséget kizáróan hullámjelenség. A hullámmozgás kö-



1. ábra Isaac Newton 59 éves korában Godfrey Kneller festménye

zeghez kötöttségétől ők sem tudtak elszakadni, feltételezték az "éter"-nek nevezett meghatározatlan folyékony anyagot, melynek a fény valamilyen rezgési formája („certain mode de vibration d'un fluide universel”. Fresnel 1822).

A klasszikus fizika keretein belül maradván innen már csak egy, de nagyon lényeges lépés volt hátra: elvetni az éterhipotézist és magyarázatát adni a fény

közegnélküli terjedésének. Ehhez a fizika egy másik ágában, az elektrodinamikában elért eredmények adták meg a lehetőséget; elsősorban Maxwell (1831-1879) elméleti és Hertz (1857-1894) kísérleti munkásságának köszönhetően.

A természettudományok történetében gyakran előadódik, hogy látszólag össze nem függő jelenségek között adódó számszerű egyezések vezetnek új felismeréshez és általánosításokhoz. Így történt ez a most vázolandó esetben is. Köztudomású, hogy a villamos áram elektromos és mágneses teret kelt, sőt a nyugvó töltés körül is kialakul elektromos erőtér. Kohlrausch és Weber német fizikusok 1855-ben megmérték mindkét erőtér erősségének nagyságát, összehasonlítva egymással az egységnyi töltés egységnyi távolságra gyakorolt hatását az egységnyi áramelemnek ugyancsak egységnyi távolságra gyakorolt hatásával. Meglepő eredményt kaptak: a két térerősség aránya pontosan megegyezett a fény sebességének értékével, melyet már előzőleg többen is megmérték. (áramelemen az áramerősségnek és az árammal terhelt elemi vezetőszakasz hossz szorzatát értjük) Megemlítenéd, hogy 150 évvel ezelőtt még nem a ma használatos SI-rendszerben számoltak, hanem ún. elektrosztatikus és elektromágneses rendszerben, és a megfelelő egyenletekben szükségszerűen szerepeltetett konstans tényezők hányadosa sebesség dimenziójúnak adódott. Ez a felismerés összhangban volt Maxwell elméleti kutatásaival; az elektromos és mágneses tér gyors változás (nagy frekvencia) esetén a térben hullámszerűen terjedni képes.

Az éter-elmélettel Maxwell sem tudott szakítani, de az elektromosság-mágnesesség-fény kapcsolata terén korábban legmesszebbre ő jutott. Ahogy egyik főművében az „A Treatise on Electricity and Magnetism”-ben írta: „Hipotetikus kö-

zegünkben a Kohlrausch-Weber kísérlet eredményének felhasználásával számított tranzverzális hullámok terjedési sebessége olyan pontosan egybeesik Fizeau optikai mérésének eredményével, hogy aligha zárkozhatunk el attól a következtetéstől, hogy a fény ugyanannak a közegnek a tranzverzális rezgése, amely az elektromos és mágneses jelenségekért felelős”. És valóban, az ő munkássága nyomán bizonyosodott be, hogy a fénysebességet a közeg (a vákuumot is ideértve!) elektromos (permittivitás) és mágneses (permeabilitás) tulajdonságai határozzák meg.

Fény születése hőmérsékleti sugárzással

Mivel a hullám nem más, mint rezgések tovaterjedése, kell lenni egy rezgő testnek, melytől a hullámok kiindulnak, tehát mely hullámforrásként szerepel. A sok évtizedes tapasztalat szerint a felizított testek fényt bocsátanak ki. Fizikátörténeti kalandozásunk tehát egy újabb területre, a hőtan (termodinamika) területére vezet.

Lomonoszovhoz (1711-1765) kell visszamennünk, aki kijelentette, hogy a „hő nem egyéb, mint érzékelhetetlen részecskék mozgása”. Még nagyon távol volt a modern atomelmélet, de ő már a nagyobb hőmérsékletet a részecskék nagyobb energiájú forgásával magyarázta. A következő évszázadban Maxwell és Boltzmann (1844-1906) pontos matematikai leírását adják, hogy adott hőmérséklethez a gázmolekuláknak milyen sebesség- és energiaeloszlása tartozik. Mi szorítkozzunk azonban a szilárd testekre, hiszen izzólámpánkban szilárd volfrámszál sugározza a fényt.

A fémek (a higany kivételével) közönséges körülmények között szilárd kristályos anyagok, ami azt jelenti, hogy részecskéik – nevezzük őket rácselemek-

nek, – meghatározott térbeli elrendezés (kristályrács) adott pontjaiban (ún. „rácspontokban”) helyezkednek el. Ez a felismerés időben a XVIII. századvégi Hauy-tól kezdődően Bravais-n és Grothon át a XX. század elejéig alakult ki, amikor is Max von Laue röntgensugaras vizsgálatai kimutatták a kristályrácsok valóságos létezését. (Nobel-díj 1914).

A rácselemek egyensúlyi helyzetük körül rezgéseket végeznek, melyek tárgassága (amplitudója) és sebessége a hőmérséklet növekedésével nő. Ezek a rezgések a tér mindhárom irányában, egyenes mentén mennek végbe, a rezgő részecskéket tehát lineáris oszcillátoroknak tekinthetjük. Találtunk tehát rezgő testeket, - ha még olyan picinyeket is – melyek hullámforrások lehetnek. Ők lennének a fény létrehozói? Hogyan?

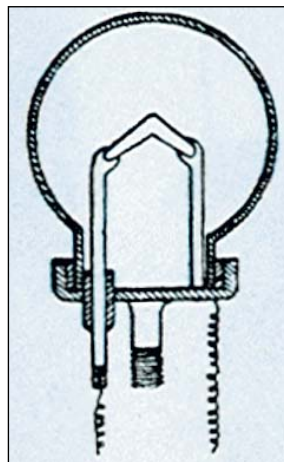
Az anyagok atomos felépítését már az ókori Demokritos megsejtette, mégis több, mint kétezer évnek kellett eltelnie ahhoz, hogy a kutató ember bepillant-hasson ennek a parányi testnek a végtelenül bonyolult szerkezetébe. A XIX.-XX. század fordulójának évei azután annál gyorsabban hozták napvilágra a tudományos eredményeket. Döntő jelentőségű volt, hogy J. J. Thomson 1897-ben felfedezte az elektront, amelynek létezése ma már minden iskolásgyerek számára természetes. Ezt követték a különféle atommodellek (Rutherford, Bohr), melyekből számunkra most a leglényegesebb felismerés a pozitív atommagoknak és a negatív elektronoknak együttes jelenléte. Ha egy részecskében a pozitív és a negatív töltések súlypontja nem esik ugyanabba a pontba, atomi, vagy molekuláris dipólusról beszélünk.

Előbbiekben láttuk, hogy az elektromágneses hullámokban elektromos és mágneses erőter terjed, tehát forrásukban, az oszcillátorokban, elektromágneses rezgéseknek kell lejátszódniauk. Ilyen

oszcillátornak találta Hertz a tekercsből és kondenzátorból álló rezgőkört, és ennek szétnyitásával a dipól antennát, mely a rádióadást és vételt tette lehetővé. Einsteinnek(1879-1955) támadt az a merész ötlete, hogy az elektromágneses oszcillátorokra helyesnek bizonyult elmélet a kristályok atom-oszcillátoraira is alkalmazható lehet. Ezek az elemi oszcillátorok olyan dipólusoknak foghatók fel, melyekben a „nehézkesebb” pozitív atommagok csak kis tágasságú, de a jóval kisebb tehetetlenségű negatív elektronok sokkal nagyobb amplitudójú rezgéseket végeznek, és a parányi rezgő dipólusokban kell keresnünk a fénysugárzás forrását.

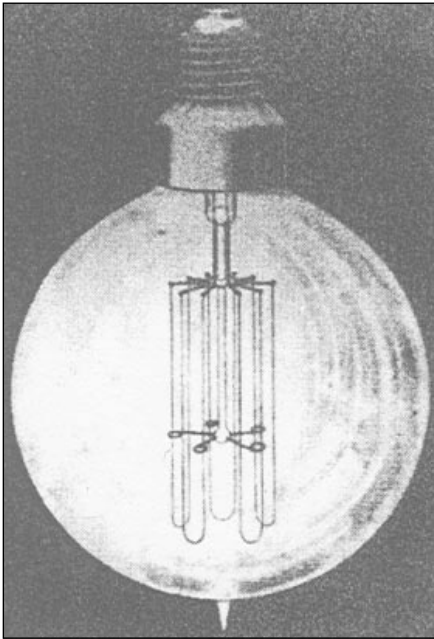
Már a XIX. század elején felismerte a svájci Prévost (1751-1839), hogy minden test sugárzást bocsát ki, melynek teljesítménye csak a test hőmérsékletétől függ. Ezt a fizikusok hőmérsékleti sugárzásnak nevezték el, és közönséges körülmények között azért nem érezzük, mert a környezetünkben levő testek között sugárzási-elnyelési egyensúly alakul ki. Ahhoz, hogy egy szilárd test az emberi szem számára is látható sugárzást (vagyis fényt) emittáljon, bizonyos hőmérsékletre kell hevíteni. Mint ismert, a testek felizzításának hatására a látható tartományon kívül infravörös (hő) és – különösen nagyobb hőmérsékleten – kismértékben ultraibolya sugárzás is keletkezik. Vagyis: az atomi oszcillátoraink nem egy adott hullámhosszon, hanem széles hullámhossz tartományban sugároznak; egyik hullámhosszúságon többet, másikon kevesebbet. Ezt úgyis mondhatjuk, hogy a sugárzott teljesítménynek spektrális (hullámhossztól függő) eloszlása van. Alapul véve a klasszikus fizikának azt a megállapítását, hogy egyetlen atomi oszcillátornak kT átlagos energiája van (T az abszolút hőmérséklet, k az ún. Boltzmann-állan-

dó), Rayleigh és Jeans 1900-ban számítást végeztek a sugárzás teljes energiájára vonatkozóan. Számításukban egy ún. feketetestet vettek alapul, amelynek mind az elnyelőképesége, mind az emisszióképesége maximális. A feketetestet egy feketefalú, kis nyílással ellátott kockával modellezték. Számításuk, mely szerint az üreg belsejében - termikus egyensúly esetén - végtelen nagyoknak kellene lenni az elektromágneses tér



2. ábra Lodigin grafitos izzólámpája nitrogén töltéssel

energiájának, megmutatta, hogy ezen a ponton a klasszikus fizika törvényei nem érvényesek. A hőmérséklet növelésével a kisugárzott teljesítmény döntő része a nagyfrekvenciák birodalmában lenne – tehát ultraibolya és röntgensugárzás formájában észlelnénk. Az ellentmondást a modern fizikának Einstein mellett talán a legnagyobb alakja, Max Planck (1858-1947) oldotta fel azzal, hogy feltételezett egy minimális oszcillátor-energiát, (“kvantumot”), mely a frekvenciától függ, és a sugárzott energia-értékek ennek csak egész számú többszörösei lehetnek. (1900, Nobel-díj 1918) A századforduló így a kvantumelméletnek,

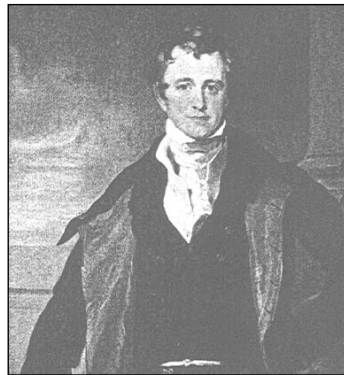


3. ábra Az első volfrámszálás lámpa (Just és Hanaman)

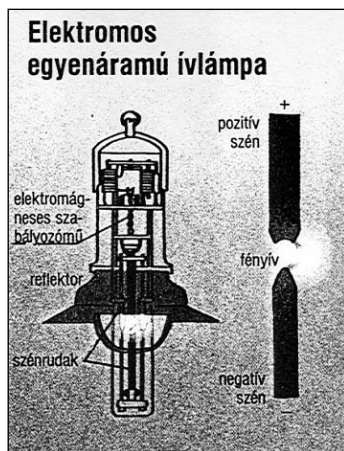
sőt mi több, a modern fizikának is születési éve volt.

Egy felizzított test, (pl. volfrámszál) sokmillió atomjának mozgása sokféle frekvenciájú rezgésekből tevődik össze. Így a keltett fény színekének sokféle vonalat kell tartalmaznia, de alapjában véve vonalas színeképűnek kell lennie. A tapasztalat pedig az, hogy az izzó szilárd testek (így az izzószál is) folytonos spektrumot szolgáltatnak. A további magyarázathoz az atomi oszcillátorokra vonatkozó idealizált képet el kell vetnünk, történetesen azt, hogy harmonikus (szinuszfüggvénnyel leírható) és szigorúan periodikus rezgésekről van szó. Max Born és a magyar Kármán Tódor elmélete alapján a szilárd kristályrácsban a szomszédos atomok elmozdulása befolyásolja bármely kiszemelt atom helyzetét, a ráható erőt, és így a mozgását is. A rezgések anharmonikussá válnak, s csil-

lapodásuk miatt nem teljesül a periodicitás azon feltétele, hogy azonos amplitudók egyenlő időközökben korlátlanul ismétlődnek. Az egyes atomi sugárforrások rezgésére már nem határozott f frekvenciák, hanem Δf frekvencia tartományok lesznek jellemzők, amely a színeképvonalak kiszélesedésével jár együtt. A sok-sok egymáshoz igen közeli színeképvonal egybefüggő folytonos spektrummá alakul. Lényegében ennek a jelenségnek köszönhető az izzólámpák kiváló színvisszaadása. A folyamatot pontosan és szépen írja le a matematika: az amplitúdó-frekvencia függvény ana-



4. ábra Humphrey Davy angol fizikus és kémikus

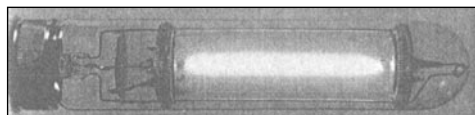


5. ábra Évlámpa és a két szénrúd

lízise során a Fourier-sor egyes tagjai nagyságban olyan közel kerülnek egymáshoz, hogy a sor a görbe alatti összefüggő területtel jellemezhető, ún. Fourier-integrállá alakul.

Fény keletkezés a kisülőlámpákban

Kisülőlámpáinkban villamos ív fénye világít. Az előzmények a XIX. század elejére vezetnek, amikor is az angol Humphrey Davy elsőnek állított elő ívfényt. Nem árt megjegyezni róla, hogy korának legelismertebb kémikusa volt, a galvántechnológia egyik megalapítója, nevét leginkább a bányászlámpa tette széles körben ismertté. A londoni Királyi Intézet professzora s az akkor még könyvkötészettel foglalkozó Faraday érdeklődése az ő előadásai



6. ábra Higanylámpa az 1930-as évek végéről

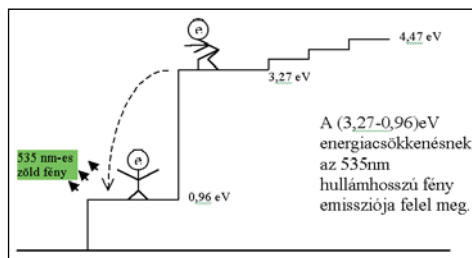
hatására fordult végérvényesen az elektromosság felé. Davy 200 darab Volta-elemből álló telep segítségével állította elő az ívet két szénrúd között 1812-ben. „Az áram minden eddigi fény- és hőhatása elhalványult” az ívfényhez képest, ahogy egy korabeli fizikátörténész megjegyezte.

A jelenség felfedezését néhány évtized múlva világítástechnikai alkalmazás követte; megjelentek az ívlámpák a közvilágításban, valamint belső terekben és egyéb eszközökben is. (fényszórók, vetítőgépek). A világítástechnikában a mai formájukban elterjedt kisülőlámpákra azonban az 1930-as évek második feléig várni kellett, ezóta beszélhetünk fénycsöves, illetve higanylámpás világítás-

ról. Ezeknek az eszközöknek a megszületéséhez a ritkított gázokban lejátszódó villamos kisülés tanulmányozása kellett; a közismert Geissler-csőket az amerikai Moore már az 1890-es évek végén világításra használta: 2 m hosszú és 44 mm átmérőjű csöveket szereltek össze, 5-6000 V feszültséggel működtetve őket. A csövekben széndioxid-nitrogén elegyet alkalmaztak. Lényegében ezek a próbálkozások vezettek a ma is használatos reklámcsövek kialakulásához.

Hogyan keletkezik ezekben az eszközökben a fény? A választ a modern anyagszerkezet kutatás eredményei alapján adhatjuk meg, elsősorban Bohr (1885-1962) és Planck munkásságának ismeretében.

Az atom szerkezetét erősen leegyszerűsítve már az általános iskolában tanítják. Az ismert Bohr-modellnek egyik lényeges eleme, hogy az atommag körül keringő elektronok csak akkor sugároznak energiát – és pedíg elektromágneses hullámokat, – ha egy kisebb energiataralmú pályára, – szemléletesen egy „maghoz közelebbi” pályára lépnek át. Ez csak úgy lehetséges, ha megelőzi egy nagyobb energiájú pályára történő átlépés, vagyis a gerjesztés. Az ehhez szükséges energiát a gázatomok lámpáinkban a felizzított elektródokból kilépő és a villamos tér által gyorsított elektronokkal való ütközések útján nyerik. Az előbb említett „visszalépés” során a két



7. ábra A tallium (Tl) „lépcsőrendszere” az egyes energianívoknak megfelelően.

energianívó közti különbséget az atom (pl. a fénycsőben a higany és nem a neon!) egy energiakvantum formájában kisugározza; a kisugárzott energia a közismert Planck-egyenlet szerint ($E = h \cdot f$) meghatározza a sugárzás rezgésszámát. (tehát hullámhosszát és látható tartomány esetén a színt is, h a Planck-állandó.)

Természetesen csak oda léphet elektron, ahol számára lehetséges energiaszint van (mi sem léphetünk két lépcső közé, csak egyik vagy másik lépcsőre). Ez az oka annak, hogy csak bizonyos frekvenciájú sugárzások születnek a lámpákban lévő fémgőzök gerjesztése során. A lámpa fényét felbontva a kapott spektrum megmutatja, hogy az illető fém atomjában milyen sok energia-lépcső van (tudományos nevén „term”), hiszen a lehetséges átlépések nagyrészből egy adott frekvenciájú sugárzás, vagyis színképvonal születhet. Itt lép be a gyakorlati világítástechnika, mégpedig a színvisszaadás fogalmán keresztül. Ha vonalszegény a kisüléskor gerjedő fém, gyenge a lámpa színvisszaadása (nátrium!), hiszen bármilyen színes felület csak azt tudja visszaverni, amit a lámpától kap. A jó színvisszaadású lámpákban vonalgazdag fém gőze (is) gerjed, erre szolgálnak például a fémhalogén lámpák. Ezek kiváló színvisszaadású típusai ritka földfém adalékokat (pl. diszpróziomot) tartalmaznak.

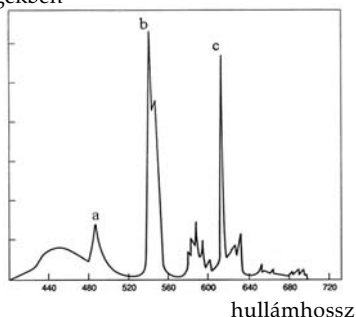
Ha nagyon sok atom van jelen (nagy a nyomás), képzeletbeli lépcsőházunkban kissé felbomlik a rend, az egyes lépcsőszintek magassága nem lesz olyan egyértelműen meghatározott; mintha egy kicsit feljebb vagy lejjebb is tudnánk lépni az egyes lépcsőfokokozatoknál. Ezt a jelenséget az atomok egymásra gyakorolt hatása okozza, és a kibocsátott sugárzásban az egyes színképvonalak ki-

szélesedésében, illetve ezzel párhuzamosan a színvisszaadás javulásában jelentkeznek.

Láthatatlanból látható

A fény születésnek régóta megfigyelt módja a lumineszcencia, vagy hidegsugárzás, amely a világítástechnikában kiemelt jelentőségre tett szert. A fénycsőben például, – ahol kisnyomású higanygőzben játszódik le a kisülés, – a gerjesztett elektronok „visszaugrásokor” döntő részben ultraibolya sugárzás keletkezik. A lumineszcencia a cső belső falára vitt speciális anyagban, – a fényporban, – játszódik le, és lényege, hogy az UV sugárzás energiája látható sugárzást gerjeszt. (Milyen ötletes magyar szavak a fénycső és a fénypor a nehézkes angol „fluorescent lamp” és a félreérthető „phosphor” szavakkal összehasonlítva!) Ezen a területen is említésre kívánkozik néhány nagy fizikus neve; Stokes (1819-1903) 1852-ben (!) elsőként ismerte fel, hogy a kibocsátott sugárzás

teljesítmény rel.
egységekben



8. ábra Háromsávós fénypor spektrális teljesítményeloszlása

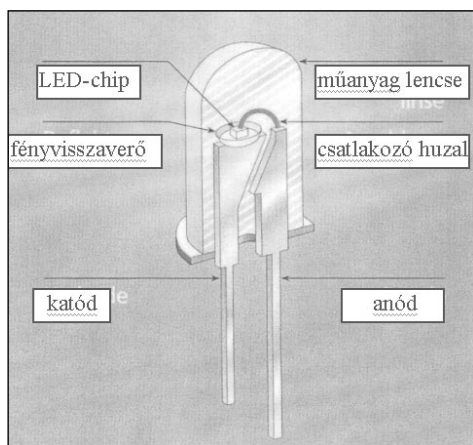
Aktivátorok:

kék tartom.-ban (a) kétértékű európium-ion
zöld tartom.-ban (b) háromértékű terbium-ion
vörös tartom.-ban (c) háromértékű európium-ion

Alaprácsok: Ba-Mg-aluminát (a)
Ce-Mg-aluminát (b)
ittrium-oxid (c)

hullámhossza mindig nagyobb, mint a gerjesztett sugárzása, és a fluoreszkáló anyag minőségétől függ. (A fluoreszkálás a lumineszkálásnak az a fajtája, amely gyakorlatilag csak addig tart, amíg a gerjesztés.) Becquerel (1852-1908) pedig 1867-ben írta le megfigyeléseit az UV sugárzásnak kitett fluoreszkáló anyagokra vonatkozóan. Mondhatnánk, ez volt a mai fénycsőhöz vezető alapkísérlet. A fénypor-kutatás történetébe egy magyar származású Nobel-díjas tudós, Lénárd Fülöp is beírta nevét, aki egyébként a katódsugárzás elméletét magyarázta meg, és a fluoreszkáló anyagokkal a katódsugárzás kapcsán foglalkozott. (Nobel-díj 1905)

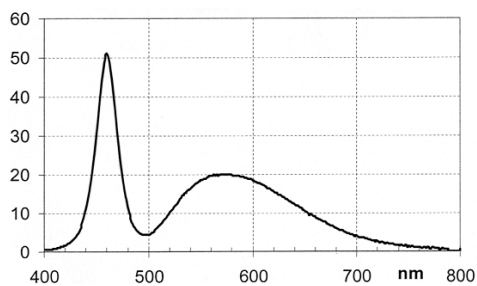
A különféle fénypor-anyagok összetételének és technológiájának kutatása révén az eddiginél is nagyobb jelentőséggel lépett be a világítástechnikába a kémia, működésük elméletének tisztázásába pedig a szilárdtest-fizika. Kiderült, hogy a fénypor döntő mennyiségét kitevő ún. alaprácsához kis mennyiségben hozzáadott aktivátor-ion a felelős a kisugárzott fény spektrális összetételéért, – vagyis a színhőmérsékletért és színvisszaadásért. Pl. a ritkaföldfém-ionokat



9. ábra LED egyszerűsített metszeti rajza

aktivátorként alkalmazva viszonylag széles hullámhossz intervallumban sugárzó, jó színvisszaadású fényforrást kaphatunk. Ilyen elemek pl. az európium, a terbium, a cérium. Alapjában véve itt is energiaszintek közötti átmenetekről van szó, - az UV kvantumok az aktivátorok elektronjait gerjesztik, s e gerjesztett elektronok kisebb szintkülönbséget megtéve „ugornak vissza”, s ennek megfelelő energiájú látható fotont emittálnak. Leegyszerűsítve a jelenséget, létezik egy olyan lépcső, melyre lépve nincs fényemisszió, s a hővé alakuló energia veszteségként könnyelhető el.

A lumineszcencia egy másik esete, amikor villamos tér hatására válik az anyag sugárzóvá, ezt nevezzük elektrolumineszcenciának. Destriau



10. ábra Kék LED-ből fényporral nyert fehér LED relatív spektrális energia-eloszlása

1936-ban felfedezte a mikrokristályos cinkszulfid por fluoreszkáló tulajdonságát, és ez meg nyitotta az utat a különféle kijelzők és elektrolumineszcens panelek előállításához.

Fénykeltés félvezetőikkel

A XX. század a szilárdtest fizikai felfedezések százada is volt; ismertté vált., hogy az elektromos energia hatására bekövetkező fénygerjesztésnek az izzításon, gázkísülésen és lumineszcencián kívül egy újabb módja is lehetséges: az

egyres félvezetőanyagok szerkezetében végbemenő ún. töltérekombinációk. Ezzel elérkeztünk a LED-ekhez, vagyis a fényemittáló diódákhoz.

A LED-ek működésfizikájának a részletes leírására itt természetesen nincs mód. Nagyon leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a félvezetők töltéshordozói, a negatív elektronok és a pozitív lyukak egyesülése (rekombinációja) energia-felszabadulással jár, mely foton formájában jelentkezik. Tudvalevő, hogy a szilárd kristályokban a gázokra jellemző éles energianívók sávokká mosódnak össze, és az elektronok egy része megfelelő energia birtokában „felmehet” az atomtörzshöz kötött vegyértéksávból a vezetési sávba. A két sávot a tiltott sáv választja el; ezt kell a rekombináció alkalmával a töltéshordozóknak átlépni, és ennek „energiaszélessége” szabja meg a kisugárzott fény hullámhosszát (a LED színét). n illetve p típusú adalékok hatására a vezetési sávban az elektronok, a vegyértéksávban a lyukak lesznek többségben. Nyitóirányú feszültséget alkalmazva az elektronok a kialakult p-n átmenet p oldalára, a lyukak az n oldalára vándorolnak, és létrejöhét a már említett rekombináció. Az alkalmazott anyagok között első helyen szerepelnek a periódusos rendszer III.-V. oszlopaiban található elemek egymással alkotott vegyületei, mint pl. a gallium-foszfid (GaP), az indium-gallium-nitrid (InGaN) stb.

Természetesen a LED-eknek is megvan a maguk története. A szakirodalom ezen a területen először az angol Round nevével említi, aki 1907-ben Marconi asszisztenseként elsőként észlelte, hogy a rádióvevő körbe épített szilícium-karbid kristálydetektor fényt sugároz. Tudatosan az orosz Loszev tanulmányozta az 1920-as években a félvezetők fénykibocsátó tulajdonságát. Ő maga egyetemi

végzettséggel nem rendelkezett, rádiótechnikus volt., de neves fizikusok támogatták, és kutatócsoportjával együtt számos lényeges felismeréssel gazdagította a szilárdtest fizikának ezt az új területét. Megjegyzendő, hogy ekkor – a második világháborút megelőző években, – csak az adagolatlan félvezetőket ismerték, a nagy lökést a kutatásoknak a lyukvezetés felismerése és a p-n átmenetek megvalósításának lehetősége adta meg a '40-es évek második felében.

A ma használt LED-ek születését a '60-as évek elejére tehetjük, amikor is ismert és tekintélyes intézmények laboratóriumaiban (Hewlett-Packard, Bell-Laboratórium, Philips) előállították a különböző színű fényemittáló diódákat: zöldet, sárgát, pirosat, majd jóval később a kék-színűt. És ezzel a mához érkeztünk, hiszen a kék LED megvalósítása teremtette meg a lehetőségét a világítás-technika számára a fehér LED megjelenéséhez.

Epilógus

Végül néhány gondolat, – most nem a fénynek, – hanem ennek az írásnak a megszületéséről.

Megtetszett a „Fény születik” mottó, amely köré az évkönyv szerkesztői a cikkeket rendezni kívánták. Azon túlmenően, hogy az iskolában többé-kevésbé réggen tanultakat hasznos néha újra felidézni, talán érdemes elgondolkodni József Attilával, hogyan lesz a „tompá árnyékból csillogó élet”, „ahogy belőle fény tör elő”.

Oktatói tapasztalatom szerint, – különösen az utóbbi években – a fiatalok érdeklődése meglehetősen eltávolodott a természettudományoktól. A nagy átlag fizikatudása – ideértve sajnos a műszaki pályára készülöket is, – enyhén szólva kívánni valót hagy maga után. Számukra is készült ez a cikk, valamint azon világítás-technikával foglalkozók részére, akik szakmai előképzettség nélkül művelői ennek

a területnek; ne felejtsek, hogy a világítástechnika is tudományos ismeretek gyakorlati alkalmazása.

S végül, de nem utolsósorban – alkalmam nyílt megemlíteni jónéhány tudósnak, elsősorban fizikusnak nevét. Mai oktatásunkban egyre inkább elsikkad a történeti szemlélet, ez pedig az általános műveltség sze-

gényedéséhez és a példaképek hiányához vezet. Tudós elődeinktől sokmindent kétszen megkaptunk, tartozunk nekik legalább annyival, hogy egyik-másik felismerésük ma is helytálló és alapul szolgáló megállapításuk kapcsán nevüket megjegyezzük.

Dr. Borsányi János

IRODALOM:

- 1.) P. Sz. Kudrjavcev: A fizika története. Akadémiai Könyvkiadó, Budapest 1951.
- 2.) E. V. Spolszkij: Atomfizika. Akadémiai Könyvkiadó, Budapest, 1970
- 3.) R.P. Feynmann: Mai fizika 3-4. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1970
- 4.) Simonyi Károly: A fizika kultúrtörténete Gondolat Kiadó Budapest, 1978

- 5.) Marx György: Kvantummechanika. Műszaki Könyvkiadó Budapest, 1964
- 6.) Szombathy Gyula: A LED története. Elektronet 2000/5 pp. 109-111.
- 7.) M.A.Cayles-A.M. Marsden: Lamps and Lighting. E. Arnold, London 1983.

Köszönetemet fejezem ki az Országos Műszaki Múzeumnak, hogy az ábrák egy részét közlés céljára rendelkezésemre bocsátották.