

HADHÁZY TIBOR

SZÍNEK A FIZIKÁBAN

„A színek a fény tettei és szenvedései...” J. W. Goethe



1. kép. Szinyei-Merse Pál: Pacsirta (WWWI)

1. Hogyan keletkeznek a színek

Feltehetően már korai őszünket is lenyűgözte – kilépve barlangjából a hosszú tél után – a tavaszba hajló természet kínálta színekavalkád. Ezt az élményt mi is átélhetjük, ha van időnk néha megállni rohanó világunkban, s rácsodálkozni arra a színgazdagságra, amit az élő természet és az épített környezet kínál számunkra. „A körülöttünk lévő színes világ mindennapi életünkben a jó közérzet és a sok öröm egyik forrása” – írja Arisztotelész. Johannes Itten (1888–1967) szerint pedig „A szín élet. A színek nélkül halott lenne a világ... A színek a fény gyermekei, a fény pedig a színek anyja” (vö. Lukács 1982: 82).

S amint központi csillagunk, a Nap minden földi élet forrása, a napsugárzás a színek létrejöttének feltétele is.

Ebben a fejezetben kísérletet teszünk arra, hogy – leíró jelleggel – bemutassuk a színek keletkezésének fizikai alapjelenségeit, jellemzőiket, s szóljunk a színinger észleléséről, a színeslátás sajátosságairól. A későbbiek illusztrálására, illetve a tisztelt olvasó

érdeklődésének felkeltésére választottuk e bevezető gondolatsorhoz Szinyei-Merse Pál *Pacsirta* című csodaszép festményét, melyen az ég kékje, a búzavirág színe és a tavacska kékeszöldje nemcsak háromféle – külön névvel is illetett – kék színt jelenít meg, hanem egyúttal háromféle fénytani jelenség eredménye is.

1.1. A fényről

(Néhány fizikai jellemző, amely a későbbiek megértéséhez, követhetőségéhez feltétlenül szükséges)

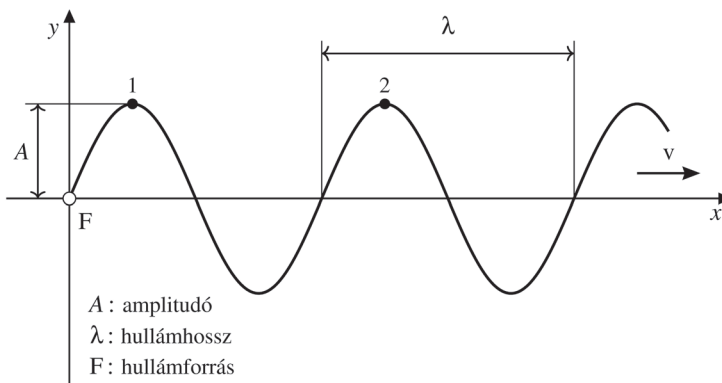
Mi a fény? – tehetjük fel ezt az egyszerűnek tűnő, mégis – mint kiderült a fizika fejlődése során – meglehetősen nehéz kérdést.

Ha megelégszünk a mindennapi életünkben is jól kezelhető és érthető megfogalmazással, akkor „A fény olyan sugárzás, amely szemünkbe jutva közvetlenül kelt bennünk látási érzetet, vagyis a fény útján látjuk szemünkkel a bennünket környező világot” (vö. Bernolák 1981: 11).

Szaktudományi (fizikai) szempontból a válasz rövidebb, de magyarázatot igénylő: a fény természete kettős. „Születésekor” (pl. egy hagyományos izzólámpa bekapcsolásakor) és a „halálakor” (pl. elnyelődéskor) részecskeként viselkedő energiaadag, „élete”, terjedése és közegekkel való kölcsönhatása során viszont hullámtulajdonságokat mutat. Ekkor – durva közelítésként – egy gumikötelen v sebességgel tovaterjedő hullámmal szemléltethető, két nagyon lényeges különbséggel. Egyrészt a fényhullámban periodikusan változó elektromos és mágneses tér halad tova, másrészt nincs szükség hordozóközegre – gondoljunk csak pl. a napsugárzásra, amely lényegében légüres téren át érkezik a Földre.

A fény tovaterjedési sebessége (jele: c) igen nagy – a ma ismert legnagyobb, jeladásra képes sebesség –: $300\,000 \frac{km}{s}$. (Érdekességgként jegyezzük meg, hogy a Földtől átlagosan 150 millió km-re lévő Nap fénye több mint 8 percig van úton ezzel a sebességgel haladva, amíg hozzánk eljut.)

A hullámjelenségek további fontos jellemzői a rezgésszám vagy frekvencia (jele: ν vagy f), a hullámhossz (jele: λ), a pillanatnyi kitérés, amit az y tengely mentén mérünk, és a maximális kitérés, az amplitúdó (A) (ld. 1. ábra).



1. ábra. A hullámok jellemzői

Készítette: Melis János

A rezgésszám (frekvencia) a másodpercenkénti teljes rezgések száma. (Az 1. ábrán az **1** és **2** helyzetek között egy teljes rezgés történik.)

Mértékegysége az $\frac{1 \text{ rezgés}}{\text{sec}} = 1 \text{ Hertz (1 Hz)}$.

A gumiköteles analógiára gondolva hullámhosszon egy hullámhegy és egy hullámvölgy együttes hosszát értjük (ld. 1. ábra). Mivel távolság jellegű mennyiségről van szó, méterben vagy ennek tört részeiben mérjük (pl. $1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$, $10^{-9} \text{ m} = 1 \text{ nm}$).

E három mennyiség közötti egyszerű kapcsolatot a

$$c = v \cdot \lambda = f \cdot \lambda$$

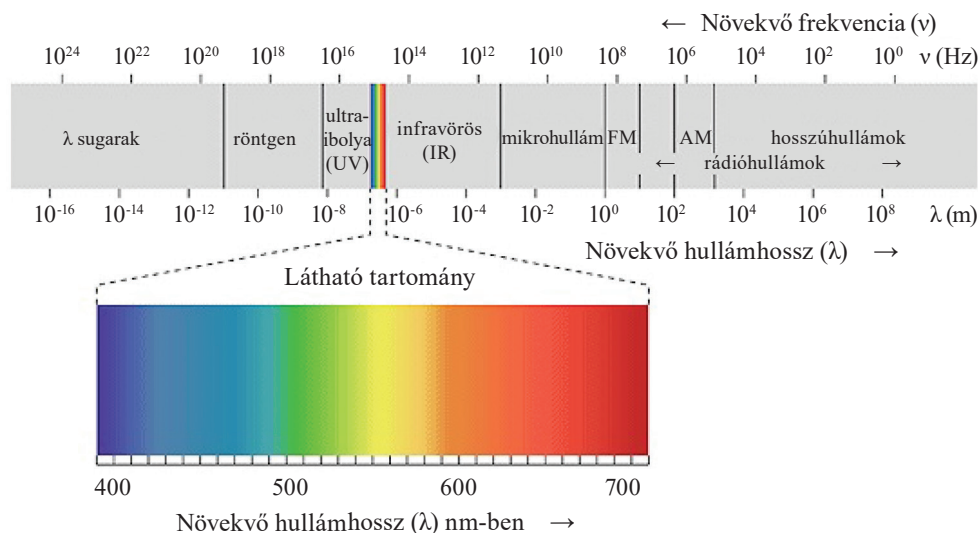
összefüggés írja le.

Ebből is látható, hogy a frekvencia és a hullámhossz fordítottan arányosak egymással, azaz minél nagyobb a frekvencia, annál kisebb a hullámhossz és fordítva.

1.2. A teljes elektromágneses színekép

(Egy kis kitekintés)

A fénytől csak hullámhosszukat, illetve frekvenciájukat tekintve különböznek a rádió- és TV-adásokat, a mobiltelefonos kommunikációt közvetítő, a bőrünk leburnulását okozó vagy a hőérzetet keltő elektromágneses hullámok. Ha ezeket frekvenciájuk, illetve hullámhosszuk szerint sorrendbe rendezzük, az ún. teljes elektromágneses színeképet kapjuk (2. ábra).



2. ábra. A teljes elektromágneses színekép (WWW2)

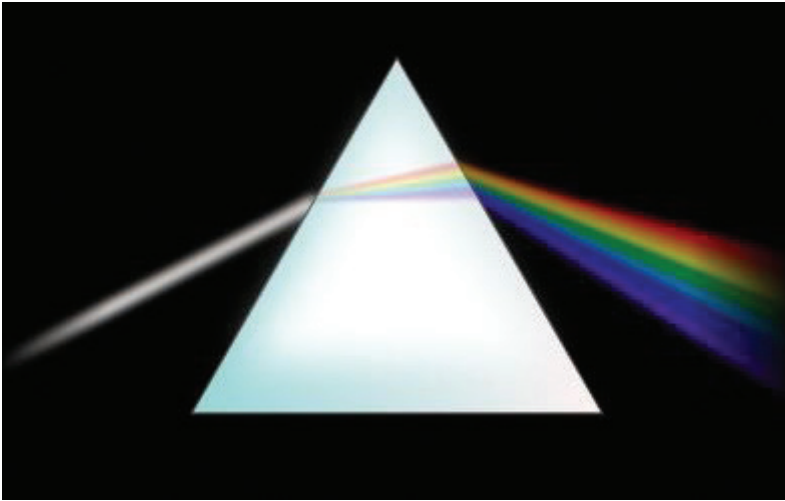
Ennek csupán egy szűk tartománya (frekvenciáját tekintve a 10^{14} – 10^{15} Hz közötti, illetve hullámhossz alapján a 380 nm – 760 nm közé eső) ingerli az emberi szemet. Ezt hívjuk látható fénynek. Mivel a határhullámhosszok, illetve határfrekvenciák aránya ebben az esetben 1:2, ezért mondhatjuk, hogy a látható fény a teljes elektromágneses színekép egy

oktávját fogja át. (Megjegyzendő, hogy a látható tartományon túl az infravörös, az ultraibolya és a röntgensugarakat is magába foglaló, sokkal szélesebb intervallumot is szokták „fény” szóval illetni.)

1.3. A diszperzió (színszórás)

(A „tünemény” – betekintés a látható fény tartományába)

Az elektromágneses színek látható tartományának vizsgálatára Isaac Newton (1643–1727) végzett – immár klasszikus – kísérletet. Besötétített szobában egy résen át bejutó napfényt útjába szöveget bezáró síklapokkal határolt üveghasáb (prizma) helyezett.



3. ábra. A diszperzió jelensége (WWW3)

A prizma mögött meglehetősen nagy távolságban elhelyezett ernyőn a vörös–narancs–sárga–zöld–kék–lila (ibolya) színérzetet keltő színeket észlelte. A beeső napfény irányától legkisebb szöggel eltérve a vörös szín jelent meg, míg a legnagyobb eltéréssel a lila (ld. 3. ábra).

A színek éles határvonal nélkül, színenként nem azonos intervallumokat elfoglalva követik egymást az ernyőn. A jelenséget diszperzió (színszórás) nevezük, az előállt színsort pedig optikai színeknek vagy spektrumnak hívjuk (spectre: tünemény). Az ernyőn feltűnő színek a spektrumszínek. Bár hasonló kísérletet kortársai is végeztek, Newton volt az, aki további kísérletekkel támasztotta alá a következőket:

- A fehér fényt összetett. A spektrum úgy jön létre, hogy az eredetileg fehér fényt a prizma alkotóelemeire bontja szét. Ezeket egy lencsével összegyűjtve ismét fehér fényt kapunk.
- Ezek a színek homogének, azaz egyet kiválasztva a spektrumból és azt ismét prizma segítségével az tovább nem bontható összetevőire.
- A spektrum egy-egy tartományát átlátszatlan tárggyal kitakarva s a megmaradt tartományt egy lencsével egyesítve keverékszíneket állíthatunk elő, pl. zöldet kitakarva a keverékszín vörös (vö. Simonyi 1978: 237).

szín	lila (ibolya)	kék	zöld	sárga	narancs	vörös
Hullámhossz (nm)	380–430	430–515	515–570	570–590	590–600	600–760

1. táblázat. A spektrumszínek főbb színtartományai nm-ben

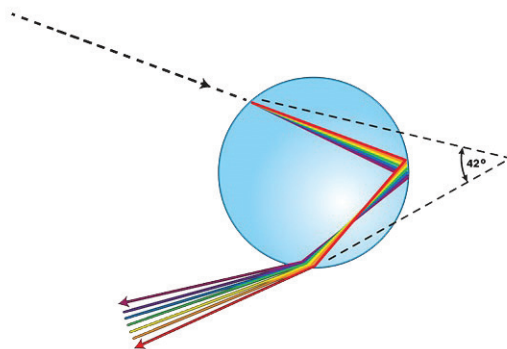
Az üvegprizmának az a sajátossága, hogy frekvencia, illetve hullámhossz szerint képes szétválogatni az összetett fényt, a fénytörés jelenségén alapul. Fénytörés lép fel minden olyan esetben, melynek során a fény egymást követően két különböző optikai sűrűségű közegen (pl. levegő–üveg) halad keresztül. A két közegben ugyanis eltérő a fény haladási sebessége, és megváltozik a hullámhossz is. (A fény frekvenciája azonban – ami a szint határozza meg – változatlan.) Viszonyszámuk a törésmutató (jele: n):

$$n = \frac{c_{\text{levegő}}}{c_{\text{üveg}}}$$

Az optikai törésmutató a két közegre jellemző, de értéke kismértékben függ a hullámhossztól, így mindig egy adott hullámhosszú homogén fényre van értelmezve.

A levegőből üvegbe belépő összetett fény, melynek komponensei a levegőben lényegében azonos sebességgel haladnak, az üvegben – az összetevők eltérő sebessége miatt – az alkotóira bomlik. Ez a merőleges beeséstől eltekintve irányeltérést is jelent, amit az üvegprizma második törőfelülete csak tovább fokoz.

A diszperzió (színszórás) tehát minden fénytörési jelenségnél fellép, amennyiben a beeső fény összetett. Ez a jelenség játszódik le pl. a szivárvány keletkezésékor is. Ennek során a Nap összetett fénye bomlik színeire a milliányi vízcseppen megtörve, majd visszaverődve, s jut – megfelelő szögfeltétel teljesülése esetén – a megfigyelő szemébe (ld. 2. kép).



2. kép. A szivárvány keletkezése (WWW4)

A diszperzió mellett azonban más típusú fénytani jelenségek is „eredményezhetnek” színeket, így pl. a fényinterferencia, a fényelhajlás, az összetett fény igen kis méretű részecskével, molekulákkal való kölcsönhatása (fényszóródás), az abszorpció (elnyelődés) stb. A továbbiakban röviden ezeket a jelenségeket tekintjük át.