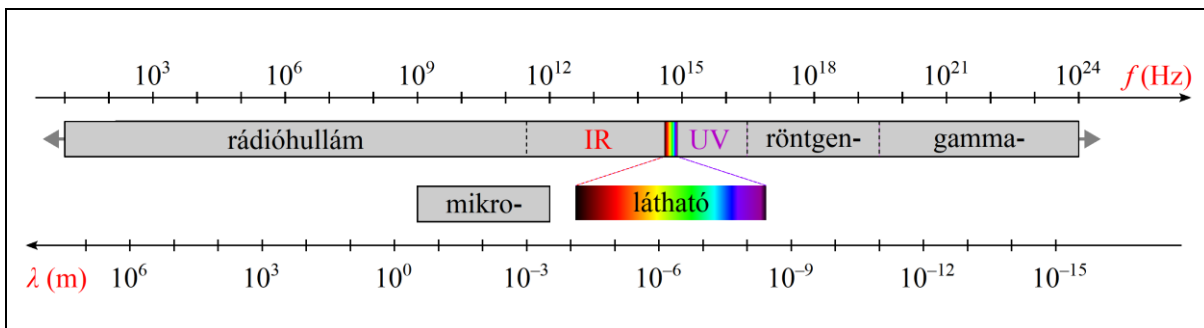


◀	<i>Tartalom</i>	<i>Fogalmak</i>	<i>Törvények</i>	<i>Képletek</i>	<i>Lexikon</i>	▶
---	-----------------	-----------------	------------------	-----------------	----------------	---

## A teljes elektromágneses színekép

A korábbi fejezetekben már többféle elektromágneses sugárzással foglalkoztunk. Most áttekintjük, kiegészítjük és rendszerezzük az ezekre vonatkozó ismereteket.

Az elektromágneses sugárzás közvetítőközeg nélkül is terjedő sugárzás. A sugárzás forrása egymásra merőlegesen rezgő elektromos és mágneses mezőt hoz létre, amely a térben elektromágneses hullám formájában terjed. Keletkezéskor és elnyelődéskor azonban részecskeként viselkedik, részecskéit (kvantumjait) fotonnak nevezzük. Az elektromágneses hullámok fizikai szempontból a *frekvenciájuk*, illetve a *vákuumbeli hullámhosszuk* alapján rendszerezhetők: Rádióhullámok, mikrohullámok, infravörös sugárzás, látható fény (vörös, narancs, sárga, zöld, kék, ibolya), ultraibolya sugárzás, röntgensugárzás, gamma sugárzás. A különféle elektromágneses sugárzások frekvencia, illetve hullámhossz szerinti elhelyezkedése az alábbi ábrán látható.



Az egyes sugárzási fajták átfedik egymást (pl. rádióhullámok–mikrohullámok, mikrohullámok–infravörös sugárzás, röntgensugárzás– $\gamma$ -sugárzás). Valójában ilyen esetekben az adott elektromágneses sugárzást a hullámhossz, illetve a frekvencia alapján nem lehet besorolni, csak a sugárzás létrejöttének körülményei (a sugárforrás ismerete) segíthetnek eldönteni, milyen sugárzásról van szó. Például 1964-ben Arno Penzias és Robert Woodrow Wilson amerikai fizikusok a kozmikus háttérsugárzást sokáig mesterséges eredetű elektromágneses zavarnak, *mikrohullámnak* tekintették. Csak hosszú kísérletek végén ismerték fel, hogy az ősrobbanás óta folyamatosan hűlő (jelenleg 2,725 K hőmérsékletű) világegyetem *infravörös sugárzásáról* van szó.

Az elektromágneses sugárzások minden fajtájának közös jellemzője, hogy *vákuumban fénysebességgel terjednek*, azaz

$$c \equiv 299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

*Anyagi közegben azonban terjedési sebességük ennél kisebb, és függ az adott anyagtól, illetve a hullámhossztól is.*

Ha az elektromágneses hullámok új közeg határához érkeznek, akkor egy részük visszaverődik, másik részük viszont bejuthat az új közegbe. A visszaverődésre érvényesek a mechanikai hullámoknál, illetve a fény visszaverődésénél megismert *visszaverődési törvények: A beeső sugár, a beesési merőleges és a visszavert sugár egy síkban van, továbbá a beesési szög és a visszaverődési szög egyenlő nagyságú.*

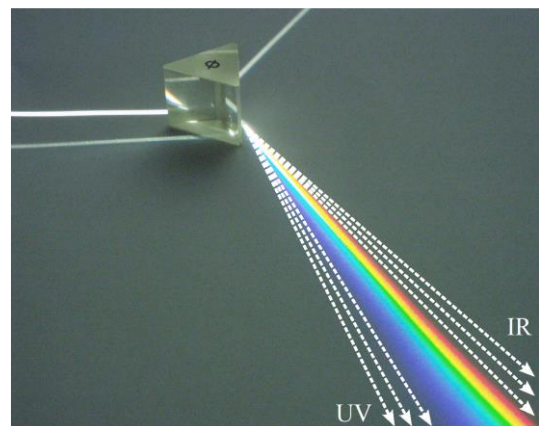
Az új közegbe bejutó hullámok hullámhossza azonban általában eltér az előző közegbeli hullámhossztól. Ha a beeső sugár nem merőleges a két közeg határfelületére, akkor a hullámok terjedési iránya is megváltozik, azaz a hullám megtörik. Az elektromágneses hullámok törésére is érvényesek a *törési törvények: A beeső sugár, a beesési merőleges, valamint a megtört sugár egy síkban van, továbbá a beesési szög szinuszának és a törési szög szinuszának a hányadosa állandó, azaz*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \text{állandó}.$$

Ezt az állandót a második közeg első közegre vonatkozó törésmutatójának nevezzük, és  $n_{2,1}$ -gyel jelöljük. Igazolható, hogy a törésmutató megegyezik a két közegben mért terjedési sebességek hányadosával. azaz

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = n_{2,1} = \text{állandó}.$$

Mivel adott közegben az elektromágneses hullámok terjedési sebessége függ a hullámhossztól, ezért a *törésmutató is hullámhosszfüggő*. Ezzel magyarázható a prizma színbontása is, amely nem korlátozódik a látható tartományra; a prizma az ultraibolya és infravörös sugárzást is felbontja, illetve elkülöníti őket a látható fénytől.



Az elektromágneses sugárzás minden fajtájánál megfigyelhető az *elhajlás* és az *interferencia*, és mindegyiknél kimutatható a *polarizáció*. Mindez azt jelenti, hogy *terjedés közben minden elektromágneses sugárzás transzverzális hullámként modellezhető.*

*A fény kettős természete. A foton* című fejezetben láttuk, hogy a fény keletkezése és elnyelődése csak úgy magyarázható, ha a fényt részecskék (fotonok) sokaságának tekintjük. Ugyanígy minden elektromágneses sugárzásnál a forrás fotonokat bocsát ki, és a sugárzás elnyelődése is fotononként történik. A fotonok energiája azonban a sugárzás frekvenciájától függ, *az  $f$  frekvenciájú fény egy fotonjának energiája:*

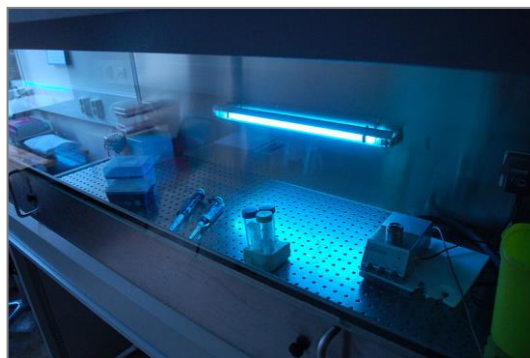
$$E = h \cdot f.$$

Az ebben szereplő,  $h$  állandót *Planck-állandónak* nevezzük. Mérések, illetve elméleti megfontolások alapján a Planck-állandó pontos értéke:

$$h \equiv 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{ Js.}$$

A fenti összefüggés szerint a foton energiája egyenesen arányos a frekvenciával. Emiatt a különféle elektromágneses hullámok annál nagyobb változást képesek létrehozni minél nagyobb a frekvenciájuk, illetve bizonyos frekvencia alatt az adott hatás nem jöhet létre.

Például a *vörös fény* kis energiájú fotonja nem hoz létre változást a közönséges fényképezési anyagokban, a fotocella katódjába csapódva nem okoz elektronkilépést, nem barnulunk le tőle, nem okoz bőrrákot, nem pusztítja el a sejteket. A nagyobb frekvenciájú *kék fény* nagyobb energiájú fotonjának hatására azonban a közönséges fényképezési anyagban szétbomlik az ezüst-bromid, és az adott helyen az átlátszatlan ezüst sötét foltként jelenik meg (negatív kép). A kék fény fotonjának energiája már elegendő ahhoz is, hogy a fotocella katódjából elektront szakítson ki, de energiája kevés a leburnuláshoz, a bőrrák kialakulásához vagy a sejtek elpusztításához. Az *ultraibolya fény* fotonjai még nagyobb energiájúak, így hatásukra bőrünk leburnul, sőt (a túlzott napozástól) bőrrák is kialakulhat. A nagyobb frekvenciájú ultraibolya fény a sejteket is elpusztítja, így fertőtlenítésre is felhasználható.



Az ultraibolya fény fotonjai nem hatolnak be az emberi testbe, a röntgen- és  $\gamma$ -sugárzás nagyobb energiájú fotonjai azonban a test belsejébe is bejutnak és ott is kifejthetik (káros vagy hasznos) hatásukat.

A rádióhullámok, a mikrohullám és az infravörös fény fotonjai a vörös fény fotonjainál is kisebb energiával rendelkeznek, így ezeknek nyilvánvalóan nem lehet rákkeltő hatásuk. Természetesen ezek a fotonok is elnyelődnek, energiájuk azonban csak *felmelegíti az elnyelő anyagot*, más változást nem okoz. A mikrohullámú sütőben ezért melegítik fel az ételt a mikrohullámok, és a parázs által kisugárzott infravörös sugarak fotonjait elnyelve ezért melegszik fel és sült meg a kerti grillen a hús is.



Az alábbi táblázatban összefoglaltuk az elektromágneses sugárzások hatásait. Piros szín jelzi, ha a sugárzás kifejti az adott hatást. (Egyes cellákban a kétféle szín azt jelzi, hogy kisebb frekvenciánál a hatás nem észlelhető, nagyobb frekvenciánál azonban igen.)

	Rádióhullámok	Mikrohullámok	Infravörös sugárzás	Látható fény	Ultraibolya sugárzás	Röntgensugárzás	$\gamma$ -sugárzás
Hőhatás							
Közönséges film megfeketedik							
Külső fényelektromos hatás							
Bőr leburnulása							
Rák kialakulása							
Sejtek roncsolása							

## Kiegészítések

1. Az *interferencia* az elektromágneses sugárzások minden fajtájánál megfigyelhető. A *rövidhullámú rádióhullámok* visszaverődnek az ionoszféráról és a talajról, így a rádióvevő antennájához több úton is eljuthatnak. Ezek interferenciája miatt a hullámok gyengíthetők, sőt ki is olthatják egymást, ilyenkor a rádióvétel elhalkul, sőt teljesen meg is szűnhet. Mivel az ionoszféra helyzete, magassága nem állandó, ezért a rövidhullámú vétel hangereje folyamatosan változik.

A *mikrohullámok* interferenciája egy egyszerű, otthoni kísérlettel is kimutatható. Vegyük ki a mikrohullámú sütőből a forgótányért, és helyére tegyünk egy kartonlapot, amelyre előzőleg reszelt sajtot vagy reszelt csokoládét szórtunk. Kapcsoljuk be a mikrosütőt annyi időre, hogy a sajt vagy csokoládé egy része megolvadjon! Megfigyelhető, hogy a meg nem olvadt reszelék periodikusan helyezkedik el, jelezve, hogy az interferencia miatt kialakuló állóhullámoknak hol volt csomópontja, azaz a hullámok hol oltották ki egymást.

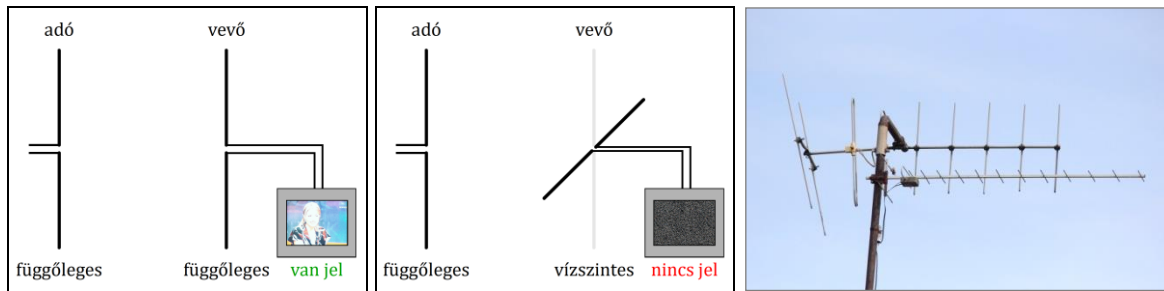
A *látható fény* interferenciáját *A fény mint hullám. A fényinterferencia* című fejezetben részletesen vizsgáltuk, a *röntgensugárzás* kristályrácsra történő elhajlását és interferenciáját pedig *A röntgensugárzás* című fejezetben tárgyaltuk.

2. A *látható fény polarizációjával* *A fénypolarizáció* című fejezetben foglalkoztunk. A polarizációt számos elektronikai eszköz LCD-kijelzőjében felhasználják. A számológép LCD-kijelzőjéről visszaverődő fény lineárisan poláros, ezért a második képen nem jut át az egyébként átlátszó polárszűrőn, (de az „LCD-8110” és az „OFF” felirat látható).



A *rádióhullámok polarizáltságára* utal, hogy a (földi sugárzású) televíziónál a vevő- és az adóantenna dipólusának párhuzamosnak kell lennie. Ha a két dipólus merőleges, a

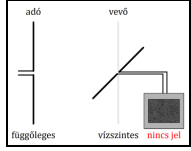

vétel gyakorlatilag megszűnik. (A jelenségről készített, [A tv-adás polarizáltsága](#) című videó a hivatkozásra kattintva megnézhető.)



3. A fotocellákban a  $W_{ki}$  kilépési munka függ a katód anyagától. Az infravörös fényre is érzékeny fotocellában a katód anyaga olyan, hogy abból az elektron kis munka árán is kiszakítható. Az elektronkilépéshez szükséges energiát így az infravörös és a vörös fény fotonjai is biztosítani tudják. Hasonló a helyzet az infravörös fényre érzékenyített filmeknél is, melyekkel sötétben, vagy gyenge megvilágítás mellett is lehet képeket készíteni.
4. A félvezetőkben megfigyelhető *belső fényelektromos hatás* létrejöttéhez szintén elegendő az infravörös fény fotonjainak az energiája. Ezt használják fel például az infravörös mozgásérzékelőkben. A belső fényelektromos hatás alapján működő CCD kamerák ugyancsak érzékenyek az infravörös fényre. Emiatt ezekben a kamerákban külön infravörös szűrő található, amely kiszűri az infravörös sugarak nagy részét, így a kép létrehozásában gyakorlatilag csak a látható fény vesz részt. Ezt a szűrőt eltávolítva, a kamera a hősugarakra is érzékennyé válik. A [Páka infravörös sugárzása](#) című film elkészítéséhez egy normál és egy így átalakított webkamerát használtunk.
6. A *röntgensugarak* és a  *$\gamma$ -sugarak* behatolnak az emberi szervezet belsejébe is, mert fotonjaik viszonylag nagy energiával rendelkeznek. Emiatt (az ultrabolya sugaraktól eltérően) nem csak a bőrfelületen, hanem a test belsejében is változást okozhatnak. Ez a változás lehet *káros*, például akkor, amikor a sugárzás az egészséges sejteket (vagy annak DNS-ét) roncsolja. Ugyanakkor lehet *hasznos* is, amikor röntgen- vagy  $\gamma$ -sugarakkal végzett orvosi kezelés (sugárterápia) során daganatsejtek roncsolására használják ezeket a sugarakat. Hasonló kezelések más, nem elektromágneses sugarakkal is végezhetőek, erről [A sugárzások orvosi alkalmazásai](#) című fejezetben további részletek találhatók.

## Képek jegyzéke

	<p><b>A teljes elektromágneses színekép</b>          © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0761.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0761.svg</a></p>
	<p><b>Prizma színeképe (az ultraibolya és az infravörös sugarak helyzetével)</b>          © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0762.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0762.svg</a></p>
	<p><b>Ultraibolya fényel működő fertőtlenítő egy laborfülkében</b>          W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laborivahendite_steriliseerimine_kasutades_UV-kiirgust.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Laborivahendite_steriliseerimine_kasutades_UV-kiirgust.jpg</a></p>
	<p><b>Mikrohullámú sütő</b>          © <a href="https://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0378.jpg">https://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0378.jpg</a></p>
	<p><b>Grillezés</b>          W <a href="https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chenje1.jpg">https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chenje1.jpg</a></p>
	<p><b>Zsebszámológép folyadékkristályos kijelzője polárszűrővel (1)</b>          © <a href="http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0772.jpg">http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0772.jpg</a></p>
	<p><b>Zsebszámológép folyadékkristályos kijelzője polárszűrővel (2)</b>          © <a href="http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0773.jpg">http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf0773.jpg</a></p>
	<p><b>A rádióhullámok polarizáltságának kimutatása (párhuzamos antennák)</b>          © <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0590.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0590.svg</a></p>

	<p><b>A rádióhullámok polarizáltságának kimutatása (merőleges antennák)</b></p> <p>© <a href="http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0591.svg">http://www.fizikakonyv.hu/rajzok/0591.svg</a></p>
	<p><b>Függőleges (fent) és vízszintes (lent) dipólusú tv-antennák</b></p> <p>© <a href="http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1050.jpg">http://www.fizkapu.hu/fizfoto/fotok/fizf1050.jpg</a></p>

**Jelmagyarázat:**

- © **Jogvéde**tt anyag, felhasználása csak a szerző (és az egyéb jogtulajdonosok) írásos engedélyével.
- W A **Wikimedia Commons**-ból származó kép, felhasználása az eredeti kép leírásának megfelelően.