

# Hogyan árnyékolható le a mobiltelefon

## Elektromágneses hullámok



A közmondás szerint „más kárán tanul az okos”. Ha jól megvizsgáljuk ennek a mondásnak a gyakorlati megvalósulását, észrevehetjük, hogy más kárán ritkán tanulunk, az vésődik csak be igazán tudatunkba, amit magunk tapasztalunk, magunk élünk át, amelyet személyes tapasztalattal szereztünk. Hasonló a helyzet a tanulóval is. Az elmondott szöveget elhihetjük, jól megtanulhatjuk, de csak akkor válik igazán sajátunkká, ha sok tapasztalat révén kapcsolatot teremtünk az elmondottak és az átélt események között. Regények olvasásakor is beleéljük magunkat a szereplő helyébe, és közben felöltik gondolatunkban az az élmény, amely hasonlóságot mutat a szereplő által megélttel.

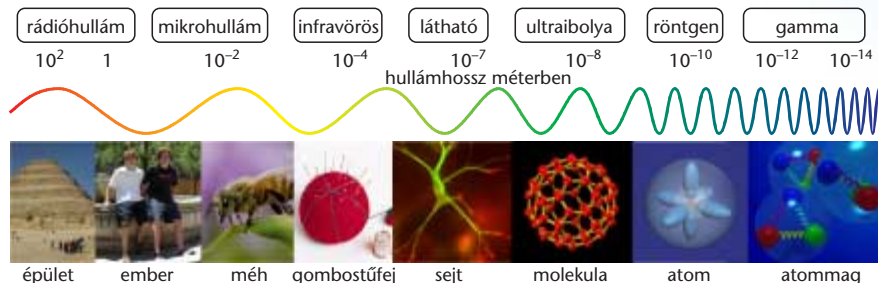
Hasonló a helyzet a fizikával is. Megtanuljuk a törvényeket, tudjuk Newton megállapításait, *Buridan* és *Galilei* által megfogalmazott tehetetlenséget, de csak akkor válik igazán magunkévá, ha tapasztaljuk, hogy a járműben fékezéskor előreesünk, az autót fékezni kell, hogy megálljon.

Az elektromágneses hullámok közül csak a fényt érzékeljük, de a technika fejlődése lehetőséget adott széles skálában történő megismerésre (1. ábra). A leghosszabb hullámhossz, amit rádióhullámként tapasztalunk, kilométer nagyságrendű. Ezek a hosszúhullámok. Bár a rádiózás ebben a hullámhossztartományban kezdődött, ma már alig találunk itt adót, és a modern rádiók már ezt a sávot nem is fogják. A középhullám tartománya 100 m-től 1000 m-ig terjed. Itt van a Kossuth adó, és még sok egyéb rádióadó is. Ez a sáv azért terjedt el, mert jó terjedési tulajdonságai vannak. A felületi hullámok, amelyek a Föld felszínén terjednek, sokáig nem csillapodnak, és a sugárzás visszaverődik az ionoszfé-

rán, ezért középhullámú adót távoli kontinenseken is lehet fogni. A rádiókon a 600 m-nél hosszabb hullámhosszok nem találhatók meg, mivel azt a frekvenciasávot a tengeri navigációnak tartják fenn.

A középhullámú tartományban (10–100 m) a felületi hullám már erősebben csillapodik, a hosszútávú rádiózásban nem játszik szerepet, a visszaverődés az ionoszféráról még jelentős. Akik még gyakran hallgatták ezeket az adásokat, emlékezhetnek a *fading* jelenségére. A jelenség abban nyilvánult meg, hogy az adás hol csendesebb, hol hangosabb volt. Ez az érdekes hatás az ionoszféra mozgásának következménye. A mozgó, ionoszféráról visszavert sugár frekven-

tér hatására a pozitív töltések a tér irányába, a negatívok vele ellentétes irányba igyekeznek elmozdulni. Ha most kikapcsoljuk a teret, akkor a kialakult töltésszétválás okozta tér igyekszik visszazogtatni a töltéseket. Ez a visszatérítő erő harmonikus rezgőmozgást hoz létre, amelynek a frekvenciája az ionok tömegének és sűrűségének felhasználásával meghatározható. Ha a plazmát a rezonanciafrekvencia alatti frekvenciával gerjesztjük, a töltések elmozdulnak. Ezek a mozgó töltések olyan elektromágneses hullámokat keltenek, amelyek interferálva az eredeti hullámmal, a továbbhaladó hullámokat kioltják, a visszamenőket nem. Ez magyarázza az ionoszféráról történő visszaverődést. Nagyobb frekven-



1. ábra. Az elektromágneses hullámok különböző tartományai

ciája Doppler-eltolódást szenved, és ez a sugár interferál a direkt sugárral. Mivel ennek a lebegésnek frekvenciája 1–0,5 Hz, és a leggyakrabban hallgatott rövidhullámú adó hullámhossza 25 m, kiszámolható az ionoszféra mozgásának sebessége, amelyre körülbelül 12–25 m/s adódik.

Ennél rövidebb hullámhosszú elektromágneses hullám már nem verődik vissza az ionoszférán, hanem áthalad rajta, innentől a rádióhullámokkal kitekinthetünk a világűrbe. Az ionoszféra egy plazma, amely pozitív és negatív elektromosan töltött részecskékből, azaz ionokból áll. Elektromos

cia esetén az ionok már nem olyan függék, hogy követni tudnák a mozgást, ezért e hullámok terjedésében az ionoszféra nem akadály.

Tehát 10 m alatti hullámhosszok esetében (ultrarövid rádióhullámok) a sugár áthatol az ionoszférán. Az ultrarövid hullámról (URH, UHF, VHF) már azt mondják, hogy egyes vonalban terjed, ami azt jelenti, hogy nincs felületi hullám, amely követné a Föld görbületét, és nincs visszaverődés sem, a hullám ki tud jutni az űrbe. Ebben a tartományban vannak a jól ismert rádióállomások és a televízió-adások.

Lassan áttérünk ahhoz a tartományhoz, ahol a mobiltelefonok kommunikálnak. A mobiltelefonok vagy 900 MHz-en, 33 cm-es hullámhosszon, vagy újabban 1,8 GHz-en, 16,6 cm-es hullámhosszon adják és veszik a jeleket. Ezzel a frekvenciasávval fogunk részletesebben foglalkozni. De előbb nézzük meg, mi van a magasabb frekvenciákon.

Az ultrarövid rádióhullámnál kisebb hullámhosszú elektromágneses sugárzást hívjuk mikrohullámnak, vagy centiméteres hullámnak. Ezekkel működnek a radarok, ezek mérik a gyorsajtást, és ezekkel főzünk, sütünk a mikrohullámú sütőben, itt található az a frekvencia, amelyet a mobiltelefonozás használ.

Tovább csökkentve a hullámhosszt, először az infravörös, majd a látható fényhez, azután az ultrabolya sugárzáshoz jutunk. A látható fényt az emeli ki, hogy szemünk arra érzékeny, erről a tartományról szerezzük a legközvetlenebb információt.

A fémekben az ionok pozitív háttere előtt szabad elektronok mozognak. Ez is egy plazma, melynek ugyanúgy kiszámíthatjuk a plazmafrequenciáját, mint az ionoszférának. Az elektronok sokkal könnyebbek, mint az ionoszférát alkotó ionok, illetve a fémekben az elektronok sűrűsége jóval nagyobb, mint az ionok sűrűsége az ionoszférában, ezért a plazmonfrekvencia jóval magasabb. A fémek plazmonfrekvenciája az ultrabolya sugárzás frekvenciatartományába esik. Ennek következtében olyan frekvenciákon, amelyek alacsonyabbak ennél a plazmafrequenciánál a fém tükröző: a beeső sugárzás meg tudja mozgatni az elektronokat, melyek olyan sugárzást bocsátanak ki, amely interferál a beeső sugárral, úgyhogy továbbhaladó sugár nincs, csak visszaverődés. Ezért a fémek tükröként működnek.

A rövidebb hullámhosszú sugarak, a röntgen- és gamma-sugarak már behatolnak a fémekbe, számukra a fém már nem jelent tükröt.

Jól ismert, hogy a fém hogyan viselkedik elektromágneses tér hatásá-

ra. Jól ismert, hogy a Faraday-kalitkában – amely egy zárt fémháló – nem hatol be az elektromágneses tér, ezért nem kell félnünk az autóban vagy vonatban, hogy megcsap a villám. A Faraday-féle kalitka leárnyékolja a rádióhullámokat is. Bárki kipróbálhatja, hogy a rádió nem szól a liftben, és a villamoson, autóbuszban, vonaton is csak akkor jó a vétel, ha a rádió az ablak mellett van. Az autónak azért van kívül antennája, hogy az adást fogni lehessen.

Mi a helyzet a mobiltelefonnal (2. ábra)? Ha bemegyünk egy alagútba, akkor a kapcsolat megszakad, tehát oda nem jutnak be a hullámok, míg az autóban, vonaton, liftben van vétel. Mi lehet tehát az effektus, amely ezt lehetővé teszi. Ez a kérdés izgató, mikor én is mobiltelefon-tulajdonos lettem. Különböző próbákat tettem, hogy mi árnyékolja le a telefont, mivel úgy véltem, a mobiltelefon jó eszköz arra, hogy a mikrohullámok tulajdonságát amatőr módon megtapasztalhassam.

Tapasztalatom, hogy ha egy elég nagy, vékony falú fémdobozba zárom a telefont, akkor megszólal. Ez akár egy fémhálóból kialakított doboz – amilyen a bemutatásra szolgáló Faraday-kalitka –, akár vasláda, vagy egy nagyobb süteményes doboz is lehet. Ennek magyarázata nem lehet az, hogy a nagyfrekvenciás teret fémekben a lévő elektronok nem tudják követni, mivel a plazmonfrekvenciáig, amely az ultrabolya tartományban van, az elektronok mozgékonyak. Akkor mi lehet az effektus magyarázata?

Ha kisebb dobozba tesszük a telefont, például egy konzervdobozba, vagy becsomagoljuk alufóliával, akkor a leárnyékolás teljes. Mi a különbség a nagy és a kis doboz között? A megoldást szintén a rezonancia effektusában kell keresnünk, de itt nem a plazmongerjesztés jelentős, hanem a doboz – amit a mikrohullámmal foglalkozó szakemberek üregnek neveznek – rezonanciája.

Alacsony frekvenciánál az elektromos tér hatására elmozdulnak a töl-

tések. Ezek addig mozognak, míg léteznek az a tér, amely mozgatja. Elmozdulnak a fém széléig, ahol felgyűlnek, helyi töltéssűrűség jön létre, és a töltéssűrűség által keletkezett tér kompenzálja a külső teret, a fémdoboz belsejében megszűnik az elektromos tér. Ez a Faraday-kalitka ismert magyarázata. Ha növeljük a frekvenciát, a töltés még mindig tudja követni a teret, mert kis elmozdulás is elég, és a fém közepétől nem megy a töltés a széléig, hanem mindegyik töltés csak kicsit mozdul el. Az effektus kulcsa abban van, hogy az elmozdult töltések nem rögtön kompenzálják a teret, mivel



2. ábra. Mobiltelefon-antenna pesti háztetőn

az elektromágneses hatás fénysebességgel terjed. Idő kell arra, hogy a terjedő hatás eltolja a töltéseket. A karakterisztikus frekvencia az, amikor a hatás a doboz egyik felétől a másikig éppen el tud jutni, azaz a doboz mérete hullámhossznyi.

Tehát eljutottunk oda, hogy hullámhossznál nagyobb doboz nem tud leárnyékolni, kisebb pedig árnyékol. Itt most olyan dobozról van szó, melynek fala vékony. Az alagútban annak ellenére, hogy az egy nagy doboz, nem működik a mobiltelefon, hacsak az alagút belsejében nincs adó.

Ennyi, amit előljáróban elmondtam azokról a gondolataimról, melyek akkor keletkeztek, mikor a mobiltelefonnal elkezdtem kísérletezni. A mobiltelefon ideális kísérletező eszköz, még a tér erősségét mutató műszer is van rajta. Zárószóként mindenkinek jó kísérletezést kívánok!

Tichy Géza

ELTE, Fizikai Intézet