

# Fizikai Szemle

## MAGYAR FIZIKAI FOLYÓIRAT

A Matematikai és Természettudományi Értesítőt az Akadémia 1882-ben indította  
A Matematikai és Physikai Lapokat Eötvös Loránd 1891-ben alapította

LVII. évfolyam

11. szám

2007. november

## MILYEN HATÁSAI VANNAK A KÖRNYEZETÜNKBEN LÉVŐ NEM IONIZÁLÓ ELEKTROMÁGNESES SUGÁRZÁSOKNAK?

Finta Viktória

ELTE, Atomfizikai Tanszék

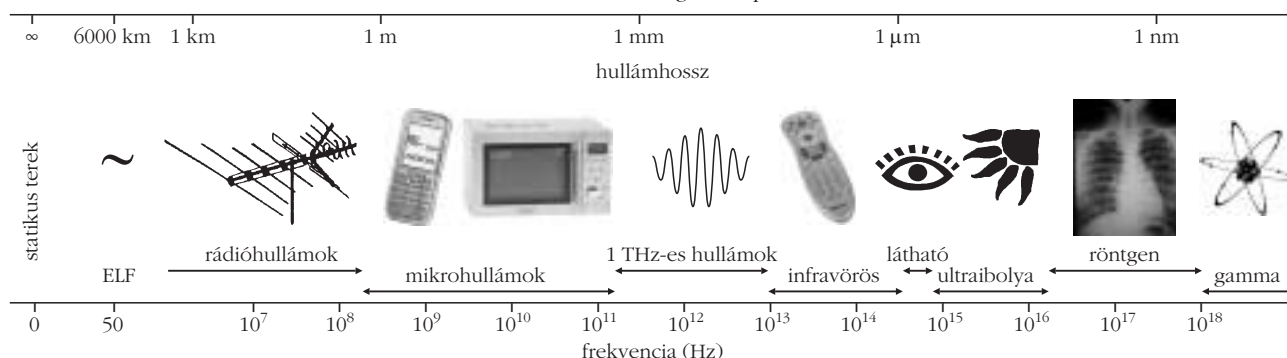
Környezetünkben lépten-nyomon kapcsolatba kerülünk elektromágneses terekkel, sugárzásokkal és hullámokkal. Bizonyára mindenki átélt már áramszünetet. Ilyenkor gyakorlatilag megbénulunk, hiszen az egész életünket behálózza az elektromosság, és ez a civilizált társadalmakban már természetesnek számít. Azonban ezen kívül is rengeteg olyan eset van, ahol a nem ionizáló elektromágneses sugárzás valamelyik formája része az életünknek.

Például a legalacsonyabb frekvenciákhoz tartozik a háztartási munkákhoz használt gépek működtetése, mivel ezek az 50 Hz-es hálózatról kapják a 230 V-os váltakozó feszültséget. A mobiltelefonálást mikrohullámok segítségével tudjuk végrehajtani (GSM 900, 1800 MHz, és újabban a 2,1 GHz), de a vacsora melegítésekor is ezekkel a hullámokkal kerülünk kapcsolatba (2,45 GHz). Rádióhallgatáshoz a rádióhullámokat használjuk, és ha kereskedelmi rádiót hallgatunk, akkor nagy valószínűséggel a 100 MHz-es nagyságrendű URH-tartományt, ahogyan televíziózásuk is. Egy napozás alatt pedig az optikai sugárzások tulaj-

donságait tapasztalhatjuk meg: az infravörös melegét, a látható napfény szikrázását és az ultraibolya barnító hatását.

Az 1. ábrán és az 1. táblázatban az elektromágneses spektrumot mutatjuk be. Ezen nyomon követhető az összes említett frekvenciatartomány. A határok természetesen nem élesek, minden esetben körülbelüli értékekre gondolunk. Az ábrán a vastag vonal a nem ionizáló/ionizáló határt jelzi. A körülbelül 3 PHz alatti frekvenciájú sugárzásoknak ugyanis túl kicsi az energiájuk ahhoz, hogy ionizálni tudják az anyagot, ezért ezeket nem ionizáló elektromágneses sugárzásoknak, illetve tereknek hívjuk. Általában az „elektromágneses sugárzás” kifejezés alatt a nem ionizáló elektromágneses sugárzásokat értjük, és jelen vizsgálódásunk is csak ezekre terjed ki. A nem ionizáló sugárzások vizsgálatának igénye csak az elmúlt évtizedekben fogalmazódott meg, amikor a környezetünkben tömegesen jelentek meg az ezeket alkalmazó készülékek és technológiák; továbbá amikor az ózonréteg elvékonyodásának következtében

1. ábra. Az elektromágneses spektrum



1. táblázat		
<b>Az elektromágneses spektrum</b>		
sugárzás típusa	frekvencia- tartomány	hullámhossz-
IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK	> 3 PHz	< 100 nm
NEM IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK		
<i>optikai sugárzások</i>		
ultraibolya UV-C UV-B UV-A	1,07–3 PHz 0,952–1,07 PHz 0,75–0,952 PHz	100–280 nm 280–315 nm 315–400 nm
látható fény	750–375 THz	400–800 nm
infravörös IR-A IR-B IR-C	214–375 THz 100–214 THz 0,3–100 THz	800–1400 nm 1,4–3 μm 3 μm–1 mm
<i>rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások</i>		
extrém magas frekvencia (EHF)	300–30 GHz	1–10 mm
szuper-magas frekvencia (SHF)	30–3 GHz	1–10 cm
ultra-magas frekvencia (UHF)	3–0,3 GHz	10–100 cm
nagyon magas frekvencia (VHF)	300–30 MHz	1–10 m
magas frekvencia (HF)	30–3 MHz	10–100 m
közép frekvencia (MF)	3–0,3 MHz	100–1000 m
<i>alacsony frekvenciás és sztatikus terek</i>		
alacsony frekvencia (LF)	300–30 kHz	1–10 km
nagyon alacsony frekvencia (VLF)	30–0,3 kHz	10–1000 km
extrém alacsony frekvencia (ELF)	100–300 Hz	> 1000 km
sztatikus terek	0 Hz	végtelen

megváltozott UV-sugárzás miatt elkezdett növekedni a bőrrákos megbetegedések száma.

Nyilvánvalóan felmerül az a gondolat, hogy ha ezek a sugárzások valóban ennyire átszövik mindennapjainkat, és valamilyen formában mindig jelen vannak környezetünkben, akkor milyen hatással vannak szervezetünkre, egészségünkre. Természetesnek tűnik az az elvárás, hogy ezeknél a sugárzásoknál is kutassuk az emberre, az élő szervezetre gyakorolt hatást, ahogyan az ionizáló sugárzásokkal tették korábban. Különösen, ha arra gondolunk, hogy, az ionizáló sugárzással ellentétben, például a rádiófrekvenciás (RF) természetes háttérsugárzás elenyésző, vagyis az RF-sugárterhelésünk csaknem egésze mesterséges forrásokból származik. Az ionizáló sugárzásokból kiindulva az egyes embert érő behatások vizsgálatakor lényegében a természetes háttér a referencia, ehhez viszonyítva mondhatunk egy értéket soknak vagy kevésnek, hiszen egészségünkre nézve a természetes értékektől való eltérések jelenthetnek veszélyt. Látni fogjuk, hogy ezeknél a sugárzásoknál kicsit más a helyzet: az emberi test is elektromos jelekkel dolgozik, amelyek nagysága jócskán meghaladhatja a külső terekét.

Az ionizáló sugárzások területét régebben kezdték kutatni. Emberre gyakorolt hatásai, a fizikai és biológiai dóziszfogalmak, a köztük fennálló kapcsolat és a mérésük, a sugárvédelmi alapelvek és a dóziskorlátok kidolgozottabbak, a szabályozások nemzetközi viszonylatban jobban összehangoltak.

## Nem ionizáló sugárzások

A (nem ionizáló) elektromágneses sugárzásokat több csoportba kell sorolnunk és az egyes tartományokat külön kell vizsgálnunk. Fontos közös fizikai jellemzőik a  $\lambda$  hullámhossz, a  $\nu$  frekvencia ( $\lambda \cdot \nu = c$ ), és az, hogy minden elektromágneses hullám terjedési sebessége  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s, a vákuumbeli fénysebesség. Ezen kívül tudjuk, hogy a hullám energiája arányos a frekvenciájával,  $E = h \cdot \nu$ , ahol  $h$  a Planck-állandó. A hullámhossz növekedésével, a frekvencia – és így az energia is – csökken. A nem ionizáló határhoz a körülbelül 100 nm-es hullámhossz tartozik, azaz a körülbelül 3 PHz-es frekvencia, vagyis körülbelül  $12,4 \text{ eV} = 2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$  energia, amely alatt a sugárzás nem képes ionizálni az anyagot.

Minden sugárzástípus esetén az a feladat, hogy meghatározzuk a mérhető fizikai mennyiségeket és a hozzájuk tartozó biológiai hatás szempontjából fontos mennyiségeket. Az egyes tartományoknál használt jelölések, mennyiségek összefoglalását a 2. táblázat tartalmazza. Minden

esetben végezhetünk helyszíni méréseket, amelyek megadják az adott helyen mérhető intenzitást (frekvenciaszelektíven, vagy szélesebb frekvenciasávot átfedve), illetve személyhez kötött mérést, amely azt írja le, hogy az adott személyt az adott elektromágneses környezetben mekkora expozíció éri. A kísérletek tanúsága szerint ez utóbbi módszer kínál lehetőséget az epidemiológiai vizsgálatokból származó egészségügyi következtetések levonására.

A köztudatba újabban beivódott az „elektroszmog” kifejezés, amely negatív irányba befolyásolja a közvéleményt, és több okból sem helytálló. Az elektromágneses expozícióval kapcsolatosan feltétlenül szem előtt kell tartanunk, hogy bár sok esetben a természetes háttérintenzitásnál nagyságrendekkel nagyobb a mesterséges forrásokból származó sugárzás, de ez nem egy „környezetszennyező melléktermék”, hanem az adott technológia működtetéséhez elengedhetetlen „szükséges rossz”, amely együtt jár a civilizált életmóddal. Nem csökkenthető a végletekig, tehát ilyen szempontból nem hasonlítható az ipari szmoghoz. Másfelől az elektromágneses hatások fizikai módon nem raktározódnak a szervezetben, ezért a szmog kifejezés ilyen értelemben is félrevezető lehet.

2. táblázat		
Fizikai mérhető és biológiailag hatásos mennyiségek		
sugárzás típusa	fizikai mennyiség	biológiai hatás szempontjából fontos mennyiség
UV	energia (joule)	Standard Erythema Dose: 1 SED = 100 J/m <sup>2</sup>
RF, MH	elektromos térerősség ( $E$ , V/m), mágneses indukció ( $B$ , T), teljesítménysűrűség ( $S$ , W/m <sup>2</sup> )	Specific Absorption Rate (fajlagosan elnyelt teljesítmény): SAR (W/kg)
ELF	$E$ (V/m), $B$ (T)	indukált áramsűrűség, $J$ (A/m <sup>2</sup> )

## Optikai sugárzások

Az első vizsgált intervallum az optikai sugárzások tartománya, melynek 3 fő része van: az ultraibolya, a látható fény és az infravörös (1. táblázat). A legfőbb forrása a Nap, melynek sugárzása a sárga fény hullámhosszán a legerősebb. Hullámhosszakat tekintve ez érdemben a 100 nm-es ionizáló határtól a mm-ig terjed, frekvenciájára nézve pedig 3 PHz-tól 300 GHz-ig. A 100–400 nm-es intervallumban a fotonok még elég nagy energiájuk ahhoz, hogy kémiai változásokat hozzanak létre a szerves molekulákban, nagyobb hullámhosszakon pedig inkább a sugárzás hőhatása lehet jelentős. Az optikai sugárzásoknak élettanilag sok pozitív hatása is van, ugyanakkor mindhárom típusa két fontos területet veszélyeztethet: a szemet és a bőrt.

A biológiai hatást tekintve az úgynevezett aktinikus hatásspektrum mutatja meg, hogy miként hat az optikai sugárzás az adott molekulatípusra. A hatások fotokémiai vagy termikus jellegűek lehetnek. Fotokémiai reakció esetén a sugárzás fotonjainak energiája elég nagy ahhoz, hogy hatására a molekulákban kémiai változás jöjjön létre, ez főként az UV-sugárzásokra igaz. Ekkor a kialakult hatást nem a sugárzás pillanatnyi erőssége határozza meg, hanem az elnyelt dózis, vagyis a besugárzási idő alatt elnyelt összes energia.

3. táblázat		
A cikkben használt rövidítések		
mozaikszó	kifejtése	jelentése
ICNIRP	International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection	Nemzetközi Nem-Ionizáló Sugárvédelmi Bizottság
WHO	World Health Organization	Egészségügyi Világszervezet
LASER	light amplification by stimulated emission of radiation	fényerősítés gerjesztett emisszióval
CIE	Commission Internationale de l'Éclairage	Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság
ALARA	as low as reasonably achievable	az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szint
ELF	extremely low frequencies	igen alacsony frekvencia
IARC	International Agency for Research on Cancer	WHO Nemzetközi Rákkutató Ügynökség

Bizonyos erősség alatt pedig jelentős szerepet játszik a szervezet önhelyreállító képessége. A fotokémiai reakciókhoz fűződő egészségkárosító hatások közül a két legfontosabb a bőr, valamint a szem fotokémiai (vagy fényérzékenyített) károsodása.

A másik élettani hatás, a hőhatás esetében a fotonok energiája nem lényeges, csak a besugárzási idővel és a szövetben elnyelt teljesítménnyel kell számolnunk, valamint a szervezet hőelvezető képességével. A termikus hatáshoz kapcsolódó legfontosabb egészségkárosodás a bőr és a

szaruhártya égési sebezhetősége, valamint a retina és a szemlencse termikus veszélyeztetettsége. Ezek a látható és az infravörös-tartományok különböző sávjaihoz, valamint a lézerekhez köthetők.

## Ultraibolya (UV) sugárzás

Közvetlenül az ionizáló határ alatt 100–400 nm között található az UV-tartomány, amit szintén 3 csoportra osztunk (1. táblázat). A dozimetriai egységek a 2. táblázatban találhatók.

Az embert érő UV-sugárzásnak természetes és mesterséges forrása egyaránt lehet. A természetes forrás nyilvánvalóan a Nap. Az ezredforduló tájékán elszaporodtak a szoláriumok, divattá vált a télen-nyáron barna bőr, sokan az egészség jelképének tekintik, egyfajta státuszszimbólum is. A Földre érkező ibolyántúli sugárzás nagy részét a légköri ózon elnyeli, csak a legkevésbé káros komponensek jutnak el a földfelszínig, mégis közismert a túlzott napozás és a bőroregedés, valamint a bőrrák közti összefüggés.

Mindannyian sok fontos dolgot tudunk az UV-sugárzással és a „leégéssel” kapcsolatosan, ami elsősorban az ICNIRP és a WHO érdeme. (A mozaikszavak kifejtését és jelentését a 3. táblázat tartalmazza.) De mi is az a „leégés”? Orvosi nevén *erythema*, magyarul bőrpír. Biztosan mindenki ismeri valamelyik fokozatát, ez lehet enyhe pirosság, amely hamar „egészségesen barna” bőrszínre válik, vagy lehet komolyabb, napokig tartó vörösség és fájdalom (netán hólyagos), mely valójában (enyhe) égési sérülés, és általában a bőr lehámlásával végződik. Azt feltétlenül tudnunk kell, hogy ez korántsem egészséges, a hatások ráadásul összeadódnak (szokták mondani, hogy a bőr nem felejt...), és ez a bőr korai öregedéséhez, szélsőséges esetben bőrrákhoz vezethet. Egyébként a szolárium használatának is vannak keretei, bizonyos esetekben orvosi javasolt, egyes bőrbetegségeken segíthet is. Mindazonáltal legyünk tisztában vele, hogy jelentős UV-expozícióval jár és vannak ellenjavallatai is: például 18 év alatt, leégésre hajlamos bőrtípussal, nagy számú anyajeggyel, korábbi bőrrákos megbetegedéssel és fényérzékenységgel nem

javasolt. Ezenkívül az egészséges használathoz elengedhetetlen a rendszeres műszaki ellenőrzés és a szem védelme.

Az ultraibolya-sugárzás hatásainak vizsgálata során megállapítást nyert az a tény, hogy az erythema hatásfüggvénynek 300 nm körül éles maximuma van, majd rövidebb hullámhosszak felé haladva előbb egy minimum, majd egy újabb maximum következik, azonban a 200 nm-nél rövidebb hullámhosszú sugárzásokat a levegő erőteljesen elnyeli. A bőrreaktív spektruma nagyon hasonló, de lényeges különbség, hogy 300 nm fölött sem csökken a veszély. Tehát, bár elsősorban az UV-B károsíthatja a bőrt, az UV-A tartományban sem elhanyagolható a hatásfüggvények nagysága. Ezért a legjobb napvédő krémnek mind az UV-A, mind az UV-B tartományban védelmet kell nyújtania.

Az UV-sugárzás, ahogyan a radioaktivitás is, nem napjaink újdonsága. Ősidőktől fogva életünk természetes része, ilyen körülmények között fejlődött ki a Földön az élet. Miért okoz mostanában mégis problémákat? A bőrreaktív tömeges kialakulásához több tényező is hozzájárul. A legtöbbet hirdetett ok az ózonpajzs károsodása. Az ózon a Föld felső légkörében természetes védelmet nyújtó három oxigénatomból álló molekula, melynek a 300 nm körüli hullámhosszakra maximális az abszorpciója. Egyes emberi tevékenységek következtében viszont olyan gázok (freonok) kerültek nagy mennyiségben a légkörbe, amelyek felbontják az ózon kötéseit, így csökkentve az ózon mennyiségét, az ózonréteg vastagságát és a természetadta védelmet a káros UV-sugárzással szemben. Ez ellen már sikeres nemzetközi összefogással felléptek a montreali jegyzőkönyv aláírásával, amelyhez Magyarország is csatlakozott 1989-ben. További kockázatonövelő tényező a lakosság nagyfokú mobilitása, vagyis az, hogy egyes emberek, embercsoportok nem a bőrtípusuknak megfelelő területeken élnek.

A szemet felépítő különböző alkotóelemek eltérő mértékben engedik át az optikai sugárzás különböző intervallumait. Az UV-sugárzás legnagyobb hányada már a szem legkülső rétegén, a szaruhártyán és a környező részeken elnyelődik, de ezen és a kötőhártyán okozhat gyulladást, a hosszantartó és ismétlődő rövidhullámú besugárzás pedig szürkehályogot.

### A látható tartomány

A látható fény, az ibolyától a vörösre a szivárvány színeiben, a körülbelül 400–800 nm-es hullámhossztartományban észlelhető. Azt hinnénk, hogy természetesen ez a látásunkhoz szorosan kapcsolódó tartomány nem károsíthatja az egészségünket, pedig hőhatásával mindenképpen számolnunk kell. A látható fény általában valóban nem tud károsodást okozni, mert erősebb fény hatására a pupilla összeszűkül, így minimálisra csökken a bejutó fény intenzitása, ezenfelül pedig reflexszerűen hunyorítunk vagy becsukjuk a szemünket. Mégis van két speciális eset, melyek különös figyelmet érdemelnek.

Az egyik az úgynevezett „blue-light hazard”, vagyis a retina kék fény okozta károsodása. A közeli ultraibolya és az egészen rövid hullámhosszú kék színű fény (400–550 nm) már egészen kis sugárdózis esetén is retinasérülést okozhat. Ez létrejöhet akár egyszeri, rövid idejű, nagyobb besugárzás, akár többszöri, hosszantartó, kis expozíciók összeadódásának hatására. (Kialakulhat például halogénlámpa izzószálat nézve, ritkábban napfogyatkozáskor, vagy említsük meg a munkaegészségügyi szempontból lényeges hegesztők esetét, illetve a szemészorvosok kék fényű vizsgáló lámpáját.)

A másik lényeges veszély a lézer, amely nagy intenzitással és kis divergenciával rendelkező, majdnem monokromatikus fénysugarat bocsát ki. A látható tartományban sugárzó lézerek leggyakrabban egyszínű vörös vagy zöld fényűek. Kis szétartásuk miatt elterjedten használják mutatópálcaként, mivel nagy távolságban is pontos képet adnak az ernyőn. Épp ez teszi őket veszélyessé is az emberi bőrre és szemre nézve. Szemre irányítva, vagy tükröző felületről a szembe világítva a szaruhártya sérülését, lencsehomályt vagy akár retinakárosodást, a nagyobb teljesítményű lézerek pedig a bőrön égési sérülést is okozhatnak. A biztonsági szabályok betartásával kiküszöbölhetjük ezeket a veszélyeket, és élvezhetjük a lézerek számos előnyös tulajdonságát, a modern orvosi és műszaki megoldásokat.

### Az infravörös (IR) sugárzás

Az infravörös tartomány is 3 részre osztható (1. táblázat, az 1. ábrán infravörös és THz-es hullámok). A Napból érkező infravörös sugárzást is erősen megszüri a légkör, főleg a szén-dioxid és vízmolekulák nyelik el.

Az infravörös sugárzáshoz főképpen a hőhatások kapcsolhatók, a bőr és a szaruhártya égési sebezhetősége (IR-B és C), valamint a retina (látható és IR-A) és a szemlencse termikus károsodásának veszélye (IR-A és B) kapcsolódik ehhez a 800 nm – 1 mm-es hullámhosszakat magában foglaló tartományhoz.

Az IR-sugárzás egyik fontos alkalmazása a mozgásérzékelő és az infrakamera. Ezek működése az élőlényeknek ebben a tartományban kibocsátott hősugárzásán alapul. Szintén erre alapozva alakult ki a gyógyászatban egyes betegségek korai felismerésében rendkívül hasznos emberi hőterkép (a melegebb területeken előfordulhat gyulladás, a hidegebb részek pedig keringési problémára utalhatnak). Az épületek infratérképének felvétele is az infravörös tartományhoz köthető, aminek alapján megállapítható, hogy a ház melyik területén rossz a hőszigetelés. Említsük meg ezek mellett a TV (HiFi, video, DVD stb.) távirányítóját, valamint az egyes mobiltelefonok és számítógépek infraportját, ami szintén ezen a frekvencián továbbít adatokat.

Az optikai sugárzásoknak sok kedvező hatása van, gondoljunk az egészségügyi alkalmazásokra (eszközök sterilizálása UV-fénnyel, lézerebészet, infraszauzna), vagy a napi életritmusunk (alvás) és az éves ritmusunk agyi szabályozásában betöltött szerepükre.

Ezzel együtt az optikai sugárzások természetes forrásoként a Nap és az ember által előállított mesterséges fényforrások káros hatással is lehetnek az emberi szervezetre. A napsugárzás káros hatásaira való tekintettel hozták létre az UV-index ajánlást és az egyéb biztonsági előírásokat. A fényforrások sugárzásával kapcsolatos nemzeti fotobiológiai szabványokat csak az elmúlt évtizedben dolgozták ki. Ezeket a CIE által készített áttekintés és szabványtervezet foglalja össze. Várhatóan a fényforrások csomagolásán a gyártónak kötelessége lesz feltüntetni, hogy az adott termék melyik CIE veszélyességi osztályba tartozik.

## Mikrohullámú (MH) és rádiófrekvenciás (RF) sugárzás

Az elektromágneses spektrum 1 mm-től 1 km-ig terjedő hullámhosszait foglalja magában a rádiófrekvenciás és a mikrohullámú tartomány, amely a 300 kHz – 300 GHz frekvenciasávban fekszik.

Egy adótól (pl. Hertz-dipól) nagy  $r$  távolságra (az úgynevezett sugárzási zónában, ahol a távolság a hullámhossz sokszorososa) az elektromos és mágneses tér egyaránt  $1/r$  szerint csökken, a teljesítménysűrűség pedig  $\sim P/r^2$ , ahol  $P$  az adó effektív kisugárzott teljesítménye, amely függ az antenna sugárzási teljesítményétől és karakterisztikájától. A mobiltelefon-bázisállomások irányított sugárnyalábbal dolgoznak. Ebben a frekvenciatartományban a hullám már egyenes vonalban terjed, és jól irányítható. A lakosság egy ilyen antennától származó expozícióját befolyásolja a beépítettség is, például városi környezetben a beépítettség miatt a teljesítménysűrűség a távolság körülbelül 3,5-ik hatványával csökken. Így valójában a mobiltelefonok esetében általában nagyobb egészségi kockázatot jelenthet a kézikészülék sugárzása, mint a bázisállomásoké. (Különösen, ha arra gondolunk, hogy a 900/1800/2100 MHz-hez tartozó 33,3/16,7/14,3 cm-es hullámhosszak nagysága az emberi fej méretével közel azonos.)

A világűrből érkező természetes RF- és MH-háttér-sugárzás szolgál alapjául a rádiócsillagászatnak, ám a civilizált társadalmak által kibocsátott jelek nagyban zavarják ezt a tevékenységet. A csillagászok elérték, hogy a Nemzetközi Távközlési Unió egyes frekvenciákat védetté nyilvánítson, ezeket más célra nem adják ki, de ezek száma folyamatosan csökken a távközlés és műsorszórás egyre növekvő igénye miatt. A 600 méternél nagyobb hullámhosszú hullámokat a tengeri navigációnak tartják fenn. A rádió- és televízió-adók, a mobiltelefon-készülékek és bázisállomásaik, a mikrohullámú sütők és a radarok, valamint egyéb újonnan megjelent technológiák is, mint például a WiFi, Bluetooth és egyéb vezeték nélküli megoldások használják ezeket a frekvenciákat, de az orvosi alkalmazásuk is széleskörű.

A rádiófrekvenciás és mikrohullámú sugárzások hatásainak tanulmányozásához mára egységesen kialakult dozimetriai fogalmakat használunk. A fizikai

és a biológiai hatás szempontjából fontos mennyiségek összefoglalását a 2. táblázatban mutatjuk be.

A sugárzás elnyelődésének mértéke az emberi szövetekben a test elektromos permittivitásától ( $\epsilon$ ), illetve mágneses permeabilitásától ( $\mu$ ) függ. Mivel az energiafelvétel dielektromos polarizáció útján történik, ha a külső elektromos tér periódusideje és az elnyelő anyagban található kis dipólusok (pl. vízmolekulák) mozgásának (vibráció, rotáció stb.) periódusideje megegyezik, maximális elnyelődést, abszorpciót tapasztalhatunk. Így nyelődik el a mikrohullámú sütő (2,45 GHz) sugárzási energiája a vízben.

A biológiai fontos anyagok elektromos permittivitása emiatt frekvenciafüggő, és a levegő dielektromos állandójától meglehetősen eltér. Így a biológiai anyagban elnyelt sugárzás mennyisége (és valószínűleg biológiai hatása is) erősen frekvenciafüggő. Néhány 100 kHz alatt a sejtmembrán leárnyékolja a külső elektromos teret, a sejt belsejébe csak a nagyobb frekvenciájú hullámok hatolnak be. A sejtmembrán, makromolekulák, fehérjék, aminosavak, peptidok, vízmolekulák más-más frekvenciatartományban képesek elnyelni (a felsorolás sorrendjében ez a frekvencia nő). Ennek a különbségnek orvosi diagnosztikai jelentősége is lehet.

A sugárzás makroszkopikus behatolási mélysége az a távolság a testfelszíntől befelé, ahol az elektromágneses térerősség az  $e$ -ed részére (36,8%-ára) csökken. Például 915 MHz frekvencián (mobiltelefon) a magas víztartalmú szövetekben (izom, bőr, agyszövet, belső szervek) a behatolási mélység 3 cm, míg az alacsony víztartalmúakban (zsír és csont) 18 cm körül van. A behatolási mélység a frekvencia csökkenésével nő, 10 MHz-en vízben gazdag szövet esetén már 10 cm körüli.

A kölcsönhatásokban reverzibilis folyamatok és küszöbintenzitások feltételezhetőek, de a dózis fogalma nem definiálható pusztán az intenzitás és a besugárzási idő alapján. A mikrohullámú és rádiófrekvenciás tartományban főleg a frekvencia és a test tulajdonságai (víztartalma, mérete, alakja) határozzák meg az elnyelődés mértékét, de a SAR-eloszlás egy egészen egyszerű zsír-izom összetétel esetén is rendkívül bonyolult lehet.

Az emberben elnyelt átlagos SAR becslése általában számítási modellek segítségével történik, az eredményeket a beeső teljesítménysűrűség és frekvencia függvényében adják meg. Például 1 GHz frekvenciánál  $0,1 \mu\text{W}/\text{m}^2$  beeső teljesítménysűrűség esetén  $0,01 \text{ W}/\text{kg}$  SAR-ról beszélhetünk.

A természetes háttérintenzitást és a lakosságot érő tipikus mesterséges forrású sugárzásintenzitás-értékeket a 4. táblázat foglalja össze. A mikrohullámú sütők esetén a hazai és nemzetközi szabványok szerint a felülettől 5 cm-re legfeljebb  $5 \cdot 10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$  engedélyezett, ennek új állapotban meg is felelnek a készülékek. (De azért vessük össze ezt az értéket a természetes háttérintenzitással: 16 nagyságrend a különbség!) A mobiltelefonok esetén az embert érő sugárterhelés sokkal nagyobb, egyes becslések szerint a készüléktől néhány cm-re a teljesítménysűrűség  $10^7 \mu\text{W}/\text{m}^2$  is lehet.

4. táblázat

**Rádiófrekvenciás és mikrohullámú megengedett intenzitásértékek**

típus (RF és MH)	frekvencia	$S$ ( $\mu\text{W}/\text{m}^2$ )	$E$ ; $B$
természetes háttér	300 kHz – 300 GHz	0,0014	
városi környezet (FM VHF, UHF adótornyok, bázisállomások)	30 MHz – 3 GHz	50–1000	
100 W-os antennától 30–40 méterre		10000	
mobiltelefon (néhány cm-re)	900/1800 MHz	$10^7$	
mikrohullámú sütő (kb. 5 cm-re)	2,45 GHz	$5 \cdot 10^7$	
számítógép-monitor (kb. 80 cm-re)	15–60 kHz		10 V/m; 0,2 $\mu\text{T}$

Ráadásul a fej mérete, nagy dielektromos állandója, és az antenna közelsége miatt ennek a teljesítménysűrűségnek a 40–70%-a a fejben nyelődik el. Tehát a fejben elnyelt SAR sokkal nagyobb a mobiltelefon, mint más sugárzók esetén.

A biológiai és egészségi hatások (a kettő között az a különbség, hogy az előbbi a térrel való kölcsönhatásra érkező sejtszintű válasz, amit sokszor nem is érzünk, az utóbbi pedig ezek következtében esetleg fellépő makroszkopikus hatás) kutatásához modellek, sejt- és szövettenyészetek (in vitro) vizsgálata, állatkísérletek (in vivo), a szaporodásra gyakorolt hatások kutatása, továbbá epidemiológiai és humán vizsgálatok szükségesek.

A biológiai hatások biofizikai modellek segítségével történő mikroszkopikus vizsgálatok megállapítást nyert, hogy a környezetünkben jelenlévő nem ionizáló elektromágneses sugárzások kvantumenergiája a leggyengébb kémiai kötésekénél is kisebb. Az élő szervezetben a termikus zaj szintjét sem éri el, és a szervezetben saját működése során létrejövő belső térerősségek nagyságrendekkel nagyobbak lehetnek, mint a külső tér hatására bennünk keletkező terek. Ilyen módon egyes esetekben nem is helyes az ionizáló sugárzáshoz hasonlóan a külső természetes háttérhez viszonyítani az expozíciós értékeket.

Makroszkopikusan három tartományt különböztetünk meg (5. táblázat). A tartományok határai nem élesek, mivel a hatások nagyban függhetnek attól, hogy melyik szervről van szó. (Nyilvánvalóan más a jó vérellátású agy és más a vérerekben szegény szemlencse termoregulációja.) Általános tapasztalat, hogy a megfigyelt egészségi hatások jórészt a hőhatással kapcsolatosak, és ez sokszor el is felel az előző két típust, ezért is olyan nehéz felvenni az egyértelmű dózis-hatás függvényt.

A központi idegrendszerre gyakorolt hatásban az úgynevezett vér-agy gát működésének megváltozása lehet kulcsfontosságú. Ez felel azért, hogy a neuronok számára megfelelő ionösszetételű környezet legyen az agyban, és állatkísérletek tanúsága szerint a hőhatással járó mikrohullámú besugárzás eredményeképpen ennek permeabilitása megváltozhat. Így olyan vegyületek is bejuttathatóak voltak az agyba, amelye-

ket a besugárzás nélkül kizárt volna a vér-agy gát. Vizsgálatok folytak még a MH- és RF-sugárzások viselkedésre gyakorolt, illetve rákkeltő hatásainak megállapítására. A daganatkeltő és daganatnövelő hatásokra irányuló vizsgálatok eredményei ellentmondásosak, az eddigiek alapján nem valószínű, hogy számolni kell ezzel, azonban végső választ az epidemiológiai vizsgálatok sora, vagyis a hosszú idő alatt, nagy népességen összegyűjtött megbetegedési és haláladási adatok elemzése adhat.

A sugárvédelmi határértékek megállapításához a viselkedési változásokra vonatkozó állatkísérletek adtak alapot. A legalacsonyabb SAR-érték, amelynél megjelentek

változások 3–4 W/kg volt. Ennek tizedrészét javasolták foglalkozási korlátnak és 50-edrészét lakossági korlátnak, így alakult ki mára a lakosságra vonatkozó egész testben elnyelt átlagos SAR-dóziskorlátra a 0,08 W/kg érték. A sugárvédelem terén alapvető, hogy meghatározzuk a frekvenciafüggéshez alkalmazkodó dóziskorlátokat, de a sok nyitott kérdés miatt felmerült az úgynevezett elővigyázatos megközelítés alkalmazása. Ez az elv rímél az ionizáló sugárzások esetén bevált ALARA-elvre (azaz a dózis legyen olyan alacsony, amilyen ésszerűen lehetséges). Vagyis szigorúbb előírásokat adna, a technológiailag megvalósítható legalacsonyabb értékekből indulna ki és minden biológiai hatást károsnak feltételezne. Néhány országban el is kezdték a bevezetését, azonban hatalmas vitákat váltott ki, mert szakmai körökben nem tartják indokoltnak, inkább társadalmi üzenetet látnak benne. A WHO csak akkor alkalmazná az elővigyázatosság elvét általánosan, ha olyan tudományosan megalapozott dózis-hatás összefüggéssel indokolják, amely alapján bármely kis dózistól feltételezhető egészségkárosodás. Erre azonban egyelőre nincs bizonyíték.

A mobiltelefonok kérdése kiemelt helyen van a WHO vizsgálatai között, mivel a telefonhasználók nagy száma miatt kis egészségi kockázat is jelentős lehet. Az első vizsgálatok társadalmi igényre az agydaganatok kialakulásával voltak kapcsolatosak. Több országban, többféle projektet indítottak erre nézve az ezredforduló tájékán, de nem találtak bizonyítékot arra, hogy az agydaganatok kialakulásában vagy növekedésében szerepe lenne a mobiltelefon használatának. A további vizs-

5. táblázat

**A mikrohullámú sugárzások hatásai**

SAR	hatás	jellemző
$\leq 0,5$ W/kg	nem termikus	nincs hőmérséklet-emelkedés, termoreguláció nem aktiválódik
0,5–2 W/kg	atermikus	nincs hőmérséklet-emelkedés, a termoreguláció miatt
2–8 W/kg	termikus	hőhatás, 1 °C-nál nagyobb hőmérséklet-emelkedéssel járhat

gálatok az agy hullámainak, funkcionális működésének, a figyelem, memória, reakcióidő és a hallórendszer változásaira irányulnak. Vannak olyan vizsgálatok, amelyek nem találtak az EEG-n eltéréseket, és voltak olyanok, amelyek különböző mértékű reakcióidő-rövidülést állapítottak meg a készülékhasználóknál. Volt vizsgálat, amely olyan eredménnyel zárult, hogy a figyelemre és összpontosításra irányuló feladatok esetében a mobiltelefon-használók jobb teljesítményt nyújtottak (persze nem a telefonálás közben). Mindenképpen látható, hogy további vizsgálatok szükségesek ezen a területen.

Három témáról kell még feltétlenül szólni. Az első, hogy autózvezetés közben a bal esetek elkerülése érdekében nem javasolt a mobiltelefonálás. Ezt már tartalmazza a KRESZ is, de a jelenleg engedélyezett headsettel nem oldódik meg a probléma, mert bár a vezető keze nincs lefoglalva, a figyelme beszűkülésével is számolni kellene. Másodsorban a gyermekek körében egyre terjedő mobiltelefon-használat is aggodalmakra adhat okot, fejlődő szervezeteik, eltérő fejméretük és várhatóan hosszabb ideig tartó besugárzásuk miatt. Végül arra kell még figyelmet fordítani, hogy az elektromágneses sugárzások környezetünkre gyakorolt hatása nem feltétlenül merül ki az emberre gyakorolt hatásokban.

Amit biztosan kijelenthetünk az az, hogy a határértékek alatti sugárzások nem okoznak egészségkárosodást, azonban ez nem jelenti azt, hogy nincsen biológiai hatásuk. További kutatások szükségesek, de kellő ismeretek hiányában egyelőre az elővigyázatosság elve alkalmazható.

## Alacsony frekvenciás és sztatikus terek

Alacsony frekvenciájú sugárzásokról 300 kHz-es frekvencia alatt és 1 km-es hullámhossz felett beszélünk. A környezetünk és egészségünk szempontjából két fontos tartomány van, a hálózati 50/60 Hz, amely extrém alacsony frekvencia (ELF), és a sztatikus elektromos és mágneses terek (0 Hz és végtelen hullámhossz). Ebben a frekvenciatartományban is az elektrodinamikában szokásos jelöléseket és mértékegységeket használják a térerőségekre, indukcióra.

A környezetfizika szempontjából a villamos hálózatoknak és elektromos rendszereknek azért nagy a jelentőségük, mert az elektromos és mágneses terek a berendezések környezetében alakulnak ki. Ugyanakkor a mágneses komponens be tud hatolni az emberi testbe is, ahol energiát adhat le. Melegítheti a sejteket, és megzavarhatja a szervezet elektromos impulzusait, az idegrendszer működését és a hormontermelést, mivel az agyi hullámok és a szív működés is elektromágneses aktivitáshoz kapcsolódik. Az alacsony frekven-

típus (sztatikus)	$E$ (V/m)	$B$ ( $\mu$ T)
természetes háttér	léggör 90–150 (villámok közelében $3 \cdot 10^6$ )	Föld 25–72 (Magyarországon 46–48)
képernyők (TV, monitor)	20000	20
500 kV-os DC-kábel	30000	22
munkahely		50000
MRI páciensre / kezelőre		2–2,5·10 <sup>6</sup> / 5000

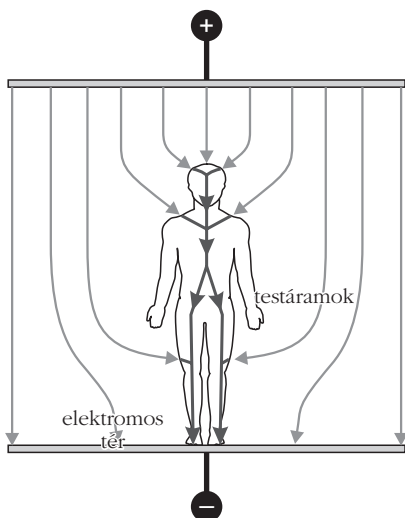
típus (ELF)	$E$ (V/m)	$B$ ( $\mu$ T)
természetes háttér	$10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
távvezetékek (756 kV, közvetlen alatta állva)	12000	30
transzformátor		10–15
háztartási hálózat / berendezések	10–70 / 500	0,05–0,3 / 50–150
munkahely (hegesztők)		130000

ciájú változó tereket alkalmazó eszközök közvetlen környezetében sugárzás kevésbé, inkább (változó) elektromos és mágneses tér tapasztalható, akár az árnyékolások ellenére is. Az 50 Hz frekvenciájú távvezetékek környékén például jelentős az elektromágneses tér, de sugárzási teljesítménye nagyon kicsi. Számos háztartási eszközben jelen van a hálózati 50 Hz frekvenciájú változó tér, míg sokszor a magasabb frekvenciájú tereket maga az eszköz állítja elő. Ilyenek a hajszárító, a televízió, a mikrohullámú sütő stb., de például szoláriumokban az UV-expozíció mellett jelentős az 50 Hz-ből adódó mágneses tér is. A bennük kialakuló erős áram mágneses hatása, vagy a bennük levő elektromágneses tér a készüléken túlra is kiterjed. Ezen elektromágneses terek emberre gyakorolt hatása sem teljesen tisztázott, ma is aktív kutatás tárgyát képezi.

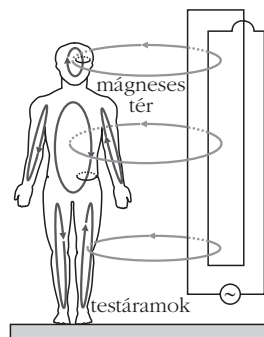
A természetes háttérértékek és néhány mesterséges forrású tér nagysága a sztatikus, illetve ELF-terekre a 6., illetve 7. táblázatban tanulmányozható. Megemlítenéd, hogy a természetes mágneses indukcióhoz képest már egy kisméretű rúd mágnes 1–10 mT-s tere is két nagyságrenddel nagyobb (mégsem félünk tőle).

A mesterséges forrásokat tekintve a sztatikus terek közül az egyenáramú (DC) vezetékek és az MRI-vizsgálat a legfontosabbak, az alacsony frekvencián pedig a nagyfeszültségű távvezetékek, a transzformátorok és a háztartási berendezések.

Az alacsony frekvenciájú sugárzások nem jutnak át a sejtmembránra, a kölcsönhatások helye így feltehetően a membránfelszín. A kisfrekvenciás terek közül a mágneses tér biológiai szempontból fontosabbnak tűnik az elektromosnál, és itt ki kell térnünk a transziens terekre is. Ezek időben gyorsan lecsengő és



2. ábra. Az elektromos tér által indukált áram az emberi testben



3. ábra. A mágneses tér által indukált áramok az emberi testben

térben erősen változó átmeneti terek, melyek elsősorban kapcsolási jelenségekből erednek, frekvenciasávjuk igen széles és összetett, a belőlük eredő mágneses indukció pedig 4 nagyságrenden belül változhat (0,001–10  $\mu\text{T}$  között). A transziens terek némelyike, frekvenciája és erőssége folytán, a termikus zajnál nagyobb áramot is képes lehet indukálni a szervezetben, így egészségi kockázatot jelenthet.

Az ELF esetén (és 10 kHz alatt is) a testben történő elnyelődést a testben keletkezett áramsűrűséggel írják le,  $\text{A}/\text{m}^2$  egységekben. (2. és 3. ábra) Például 1  $\mu\text{T}$  vízszintes irányú mágneses tér 50 Hz frekvenciánál közel 0,05  $\text{A}/\text{m}^2$  áramsűrűséget indukál az emberi testben, és 0,02  $\text{A}/\text{m}^2$  áramsűrűség már meghaladja a sejtmembrán belső fizikai és biológiai zaját. Az indukált áram képes közvetlenül is ingerelni az ideg- és izomszövetet, ezt a gyógyításban hasznosítják is. A központi idegrendszert azonban közvetve is zavarhatják a testben indukált áramok az elektromos kapcsolatok befolyásolásával. Kisebb biológiai hatások már 0,001  $\text{A}/\text{m}^2$  esetén is fellépnek, előlött a látással és az idegrendszerrel kapcsolatos hatások tapasztalhatók. A 0,1  $\text{A}/\text{m}^2$  feletti áramsűrűség már ingerelhet egyes erre érzékeny szöveteket (izom és ideg), 1  $\text{A}/\text{m}^2$  felett pedig életveszélyes állapotok jelentkezhetnek.

Számos, különböző egészségi hatás vizsgálata zajlott már le, illetve zajlik folyamatosan. Ezek közül a legfontosabbak az ELF-terek hatása az egyes ráktípusok kialakulására. Megállapították, hogy a gyermekkori leukémia összefüggésben lehet az ELF-terekkel (8. táblázat), felnőttek körében pedig a villamosipari dolgozóknál volt szignifikánsan nagyobb a leukémia és az agydaganatok gyakorisága. Összefüggést véltek felfedezni az ELF-terek és a vetélés között is. Az Alzheimer-kór kialakulásának megnövekedett valószínűségével kapcsolatosan ellentmondásosak a vizsgálati eredmények. Egyes kutatások kimutattak összefüggést a melatonin termelődése, valamint ennek révén a depresszió és öngyilkosság terén, azonban vannak ellentétes kutatási eredmények is. Az elektromos túlérzékenységre egyáltalán nem sikerült meggyőző bizonyítékot kapni, több területen pedig szükségesek a további vizsgálatok.

Az ICNIRP ajánlásai tartalmazzák a nem ionizáló elektromágneses sugárzásokra vonatkozó egészségügyi határértékeket. Megkülönböztetnek lakossági, illetve foglalkozási határértékeket. A 10 MHz – 10 GHz tartományban a lakossági SAR-határérték egész testre 0,08 W/kg, fejre és törzsre 2 W/kg, végtagokra 4 W/kg. A munkahelyi határértékek ennek ötszörösei. 50 Hz-es frekvenciájú mágneses tér és állandó tartózkodás esetén a lakossági határérték 100  $\mu\text{T}$ , az elektromos térerősség pedig 5000 V/m.

A magyarországi lakosságra vonatkozó szabályozást a 63/2004 számú ESzCsM-rendeletben találjuk, amely az EU-szabályozással egybehangzó.

8. táblázat

**Az IARC által besorolt jól ismert ágensek példái**

besorolás	példák az ágensre
emberi rákkeltő (1) (általában az emberben történő rákkeltés erős bizonyítékán alapul)	azbeszt, mustárgáz, dohány, <i>gamma-sugárzás</i>
valószínű emberi rákkeltő (2A) (általában az állatban történő rákkeltés erős bizonyítékán alapul)	dízelmotor kipufogó gáza, <i>UV-sugárzás</i> , formaldehid
lehetséges emberi rákkeltő (2B) (általában az emberben történő rákkeltés bizonyítékán alapul, amelyet hihetőnek tekintenek, de amelyre más magyarázat sem zárható ki)	kávé, sztrén, benzinmotor kipufogó gáza, hegesztési füstök, <i>ELF mágneses tér</i>

## Összefoglalás

Láthatjuk tehát, hogy az elektromágneses sugárzás mindennapi civilizált életünk szerves része, még a legelvonultabban élő remete sem kerülheti el. Tudatában kell lennünk, hogy kényelmes életünk velejárója az egyre növekvő elektromágneses expozíció, ezért nem árt, ha tisztában vagyunk a tulajdonságaival.

Azt is láthatjuk, hogy az elektromágneses sugárzások között nem csak ionizáló és nem ionizáló jellegekben van különbség, hiszen a nem ionizáló sugárzásokon belül az egyes tartományok is eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek a környezetre és emberre nézve. Különbségek vannak a természetes/mestersé-



ges intenzitások arányában, a fizikai mérhető és a biológiailag hatásos mennyiségekben és ezek dozimetriájában, az emberi szervezettel való kölcsönhatások mechanizmusában, illetve az emberi szervezetre való jótékony és káros hatásaikban is. Miközben érdekek kereszttüzében hol túlreagálást, hol bagatellizálást tapasztalunk ezekben a témákban, figyeljünk a tudományra, éljünk és neveljünk széles látókörrel, a tények alapján!

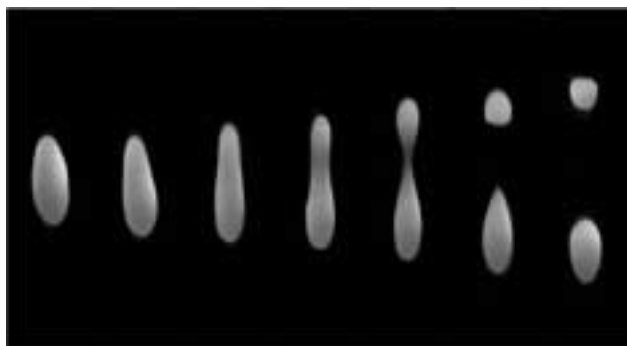
## EGZOTIKUS ATOMMAGOK

Az atommagok felfedezése után hamarosan kiderült, hogy azok tulajdonságainak (méret, kötési energia, forgási és rezgési gerjesztett állapotok) leírásakor az atommagot egy apró, elektromosan töltött folyadékcseppnek tekinthetjük. Az atommag alkotórészeit, a protonokat és a neutronokat összetartó kölcsönhatás távolságfüggése valóban nagyon hasonlít a vízmolekulákat összetartó erők távolságfüggéséhez. Mindkettő rövid hatótávolságú az általa összetartott objektum méretéhez képest. Az alkotórészek hatását csak azok közvetlen szomszédai érzékelik. Ezzel szemben az elektromos töltések között ható Coulomb-kölcsönhatás hosszú hatótávolságú, hatása kiterjed az egész folyadékcseppre vagy atommagra. Az atommagnak ez a folyadékcseppmodellje nagyon hasznosnak bizonyult a maghasadás legfőbb jellemzőinek értelmezésében. A maghasadás jelenségét 1938-ban fedezte fel *Hahn* és *Strassmann*, a fenti cseppmodellrel történő értelmezést pedig már a következő évben publikálta *Bohr* és *Wheeler*.

Ha azonban a maghasadás jellemzőit pontosabban értelmezni akarjuk, még ma is zavarba kerülünk. A hasadási termékek tömegeloszlását, a hasadás dinamikáját a jelenleg rendelkezésünkre álló magmodellek egyike sem tudja pontosan értelmezni.

„A maghasadás egy alapvetően sokrészecskés jelenség, amelynek leírása jelenleg is az egyik legnagyobb kihívást jelenti a magelmélet számára, de már látszik a fény az alagút végén: a modern mikroszkopikus sokrészecskés elmélet összekapcsolása a nagy teljesítményű számítástechnikával” – állapította meg

1. ábra. Az atommaghasadás szimulációja az idő függvényében.



A szerző megköszöni *Thuróczy György* tanácsait, amelyekkel segítette e cikk megírását.

### Irodalom

Köteles György: *Sugáregészségtan*. Medicina Könyvkiadó Rt., 2002.  
Thuróczy György: *Az elektromágneses terek és környezetünk*. BME-OMIKK, 2002.

A Magyar Tudomány 2002. augusztusi számának cikkei: [www.matud.iif.hu/02aug.html](http://www.matud.iif.hu/02aug.html)

Krasznahorkay Attila  
ATOMKI, Debrecen

*W. Nazarewicz*, korunk egyik vezető elméleti fizikusa egy nemrég tartott konferencián.

A maghasadás folyamán különböző erősen megnyúlt magállapotok, egzotikus magalakok metastabil állapotokként hosszabb ideig is fennmaradhatnak. Ezek kísérleti vizsgálatában Debrecenben jelentős eredményeket értünk el. Írásomban elsősorban ezekről szeretnék beszámolni. Ezek az eredmények hozzásegíthetnek bennünket a maghasadás folyamatának pontosabb megértéséhez, de hasznos információkkal szolgálnak a 4. generációs atomerőművek tervezéséhez is.

1997 óta Debrecenben már három alkalommal rendeztünk nemzetközi konferenciát az egzotikus magállapotok vizsgálatáról. Konferenciáinkon magmolekulákról, piramis alakú atommagokról, neutrongazdag atommagokról talált neutronglóriás, neutronbőrös atommagokról és más különös jelenségekről is beszámoltak a résztvevők. Az utóbbi évtizedben használatba vett radioaktív nyálábok kétségkívül nagyban hozzájárultak a magfizikai kutatások fejlődéséhez, de ebben az írásban arra szeretnék rámutatni, hogy a maghasadás vizsgálata továbbra is olyan témakör, amelyben még a Magyarországon található kisenergiás gyorsítókkal is lehetett, és, szerintem, a jövőben is lehet érdekes új eredményeket elérni. Természetesen tudásunk van a maghasadás vizsgálatára alkalmas legújabb eszközökről, radioaktív nyálábokról és nagyteljesítményű, nagyon gyors (fs) lézerekről, és tervezünk is vizsgálatokat a felhasználásukkal. Írásomban erre ki fogok térni.

## Az atommaghasadás

Az atommaghasadás felfedezése óriási lendületet adott a magfizikai kutatásoknak. Az atommag cseppmodelljével a maghasadás jellemzőinek értelmezése igen jól sikerült. *Lise Meitner*, a maghasadás egyik felfedezője, a folyamatot az élő sejtek osztódásához, az élet keletkezéséhez hasonlította. Az 1. ábra a maghasadás folyamatának szimulációját mutatja.

A folyadékcseppmodell értelmében az atommagok hasadását egy elektromosan töltött folyadékcsepp széthasadásaként képzelhetjük el. Elektromos töltés nélkül egy folyadékcsepp a felületi feszültségből szár-