

## A KOZMIKUS SUGÁRZÁS

A TERMÉSZETTUDOMÁNY sugárzás elnevezés alatt energiának a térben való terjedését érti. Az energiaterjedésnek két alapformáját ismerjük; az egyikre szemléltető példa a vízfelület, melyen hullámok terjednek tova. A hullámok keletkezési helyén a vízrészecskék periodikus fel- és lemozgása átadódik a környező nyugvó vízrészecskékre és ezek ismét tovább adják; de a víz maga nem mozdul el a hullámok terjedése irányában. Hasonlóan a hang terjedésekor is csupán a levegőrészecskék rezgései terjednek tova, de a hangforrásból nem jut anyag fülünkbe. Ezzel szemben a sugárzás másik formája egy gépfegyverhez hasonlítható; a sugárzási forrásból anyagi részecskék löveltetnek ki és szállítják a sugárzási forrás energiáját, mozgási energia alakjában, a tér távolabbi pontjaiba.

A hullámtermészetű sugárzások csoportjába tartoznak a rádió-, hő-, fény-, röntgensugarak, stb., melyek az elektromágneses tér rezgéseiből állnak. Jóllehet e különböző elektromágneses sugárzások igen eltérő hatásúak, mégis csupán a rezgések szaporaságában különböznek egymástól, épp úgy, mint a mélyebb és magasabb zenei hangok. Míg azonban egy zongora skálája hét oktáv terjedelmű, addig az elektromágneses rezgések, a leghosszabb rádióhullámoktól kiindulva, melyek a legmélyebb hangoknak felelnek meg, a radioaktív gamma-sugárzásig 50 oktávot ölelnek fel.

A sugárzás másik csoportjába tartoznak az  $u$ . n. korpuszkuláris sugárzások, mint a radioaktív alfa- és beta-sugarak. Fogalmat alkotunk az itt szereplő, kilövelt részecskék kicsinységéről, ha meggondoljuk, hogy egy szabad szemmel még éppen látható porszem térfogatába annyi beta-részecskét, elektront lehetne elhelyezni, mint ahány porszem fér el földünk térfogatában. Egy-egy részecske annál több mozgási energiát visz magával, minél nagyobb a tömege és sebessége. A természetben azonban a fény sebességénél nagyobb sebességgel anyagi részecske nem haladhat és energiaközvetítés nem történhet. Ez a körülmény felső határt szabna a részecskék mozgási energiájának. A relativitáselméletnek a tapasztalás útján igazolt megállapítása szerint azonban mindenfajta energiához egy tehetetlen tömeg is tartozik, s így a mozgási energiához is. Egy mozgó részecske tömege mozgási energiájának megfelelő tömeggel nagyobb, mint nyugalmi tömege. E tömegnövekedés azonban csak igen nagy mozgási energiák esetében kezd számottévvő szerepet játszani, mikor is a részecs-

kék sebessége már erősen megközelíti a fény sebességét. A radioaktív beta-sugarak esetében a tömegnövekedés a nyugalmi tömeg  $10-20$ -szorosát is elérheti.

A különféle korpuszkuláris sugárzások azonban nemcsak a részecskék mozgási energiája tekintetében különbözhetnek egymástól, hanem a részecskék nyugalmi tömege és elektromos töltése szerint is. A természetes és mesterséges radioaktív elemek — a már említett hullámtermészetű gamma-sugarakon kívül — a következő különböző korpuszkuláris sugarakat, illetőleg részecskéket lövelik ki: elektron sugarakat, melyekben a részecskék egységnyi negatív töltésűek és tömegük a legkisebb eddig ismert anyagi tömeg; protonokat, melyek ugyanakkora, de pozitív töltésűek, tömegük pedig az elektron tömegének  $1835$ -szöröse; alfarészeket két elemi töltéssel és kb.  $4$ -szeres proton-tömeggel; továbbá még töltés nélküli semleges részeket: mint a neutronokat, melyek nyugalmi tömege kb. a proton tömegével egyenlő és végül a radioaktív beta-sugárzás kibocsátásával egyidejűleg valószínűleg még egy ú. n. neutrínó-sugárzás is keletkezik. A neutrínók tömege mindenesetre sokkal kisebb, mint az elektroné.

A hullámtermészetű és korpuszkuláris sugárzások közt azonban sokkal kisebb a különbség, mint amekkorának az az első pillanatra látszik. Az elektromágneses rezgések ugyanis nem folytonos, megszakadás nélküli hullámvonulatokban, hanem hullámcsoportokban, ú. n. fotonokban terjednek. Egy-egy ilyen foton sok megnyilatkozásában úgy viselkedik mint egy korpuszkula: látszólag éppúgy tehetetlen, tömeggel rendelkezik, s ez a tömeg arányos energiájával. Nyugalmi tömege azonban nincs és sebessége energiájától függetlenül mindig a fénysebességgel egyenlő.

Nagy energiájú fotonok és korpuszkuláris sugarak jelenlétét ionizáló képességük árulja el; azaz levegőn — gázokon, anyagon — áthaladva, az anyagot felépítő elektromosan semleges molekulákat pozitív és negatív töltésű részekre, ionokra bontják. Ezen ionok jelenléte megfelelő eszközökkel kimutatható. A tapasztalatok azonban azt mutatták, hogy oly helyeken is vannak ionizáló sugarak, hol radioaktív elemek nincsenek, mint pl. a sztratoszférában vagy hová radioaktív sugarak nem tudnak behatolni, mint pl. vastag ölpáncéllal védett kamrába. E megállapítások  $1909$ -ben egy a radioaktív sugarakkal rokon, de azoknál sokkalta nagyobb áthatolóképeségű sugárzás, a kozmikus sugárzás felfedezéséhez vezetett.

A kozmikus sugarak nagy áthatolóképesége a részecskék nagyobb energiájával magyarázható, úgyhogy a felmerülő kérdés inkább az, vajjon a kozmikus sugárkeverék csak az eddig ismert sugár fajokból áll-e, vagy pedig még ismeretlen részecskék is előfordulnak benne. Ionizáló-sugarak természetének, azaz a részecskék tömegének és töltésének megállapítására legalkalmasabb eszköz a ködkamra.

A ködkamra lényegben egy henger, mely vízgőzzel telített levegővel van megtöltve; egyik homlokfalát üveglap zárja el, míg másik fala a hengerben dugattyúszerűen elmozdítható. Ha a kamra terét a mozgatható fal elmozdításával megnagyobbítjuk, a benne lévő levegő kiterjed, lehül és ennek következtében a vízgőz egy része le-

csapódik. Ha a kiterjesztéssel egyidejűleg a kamrán ionizáló sugár haladt át, úgy a gőz légióként a sugár által termelt ionokra csapódik le, mikroszkopikus vízcseppek alakjában. Feltéve., hogy a sugár pályája mentén elég sűrűn termel ionokat, a sugár útja ilyformán láthatóvá válik és lefényképezhető. Az elektromosan töltött részecskék, mint az elektron, proton, alfarész a tapasztalás szerint mindig elegendő számú iont termelnek. A gamma-sugár, azaz a foton és a semleges neutronok ezzel szemben csak igen ritkán keltenek egy-egy iont, a neutrino pedig valószínűleg soha; úgyhogy ezen sugarak jelenlétére csak az esetben következtethetünk, ha ionizáló szekundér sugarat bocsátanak ki.

A sugár pályanyomának fényképét felnagyítva, megszámlálhatjuk a pályanyom mentén található vízcseppek számát, az ionok sűrűségét és így megállapíthatjuk a sugár által 1 cm úthosszon termelt ionok számát, az ú. n. specifikus ionizációt. A specifikus ionizáció a részecske elektromos töltésének négyzetével egyenesen, sebességének négyzetével pedig fordítva arányos. Minél nagyobb a részecske sebessége, annál kevesebb iont termel, legkevesebbet tehát a fénysebesség közelében. Ha a részecske elektromos töltése egységnyi, úgy legkevesebb 50 iont, ha töltése 2 egységnyi, úgy legkevesebb 200 iont termel 1 cm úton, akár pozitív, akár negatív töltésű. A tapasztalat szerint a kozmikus sugaraktól származó pályanyomok 99%-a ezen utóbbi értéknél kisebb specifikus ionizációt mutat, úgyhogy megokolt az a feltevés, hogy a kozmikus sugárzásban egy elemi töltésnél nagyobb töltéssel rendelkező részek nem fordulnak elő. A részecskék töltésének nagysága így adott lévén, a specifikus ionizáció csak a részecskék sebességétől függ. A specifikus ionizáció meghatározása tehát tulajdonképpen egyértelmű a részecskék sebességének meghatározásával.

A ködkamrát egy erős mágnes sarkai közé is helyezhetjük. Ez esetben az elektromos töltésű részecskék pályája, a mágneses tér hatása következtében, nem lesz többé egyenes, hanem elhajlik. A mágneses tér irányát ismerve, az elhajlás irányából megállapíthatjuk, hogy a részecske pozitív vagy negatív töltésű-e. Másrészt a mágneses tér erősségét ismerve, a pálya görbültének mértékéből megállapíthatjuk a részecske impulzusát, azaz a részecske tömegének és sebességének szorzatát, mert a pálya annál görbültebb, minél erősebb a mágneses tér és minél kisebb a részecske impulzusa. A sebességet azonban már meghatároztuk a specifikus ionizációból, úgyhogy most kiszámíthatjuk a részecske tömegét is. Ez természetesen csak az esetben egyezik meg a részecskére jellemző nyugalmi tömeggel, ha a relativisztikus tömegnövekedés még nem számottévő, tehát a részecske mozgási energiájának megfelelő tömeg a nyugalmi tömegéhez képest elhanyagolható. Igen nagy energiák esetében ilyformán már nem tehetünk különbséget könnyű (elektron) és nehéz részek (proton) közt.

Ez esetben úgy segíthetünk, hogy a ködkamrába egy ólomlemez helyezünk, ha ezen egy sugár halad át, úgy pályája látható lesz az ólomba való belépés előtt, valamint a kilépés után. Megmérhetjük tehát a részecske energiáját az ólomba való belépés előtt, valamint a kilépés után: a két energiaérték különbségéből kiszámítható az ólom-

ban szenvedett energiaveszteség. Kis energiájú sugarak anyagon való áthaladás közben csupán az ionok termelésére fordított energia révén vesztenek energiát. Nagy energiák esetében az ionizációra fordított energián kívül egy újabb energiaveszteség is számottevő szerepet játszik, mely olyképpen jön létre, hogy a részecske egy atommag terébe kerülve, a magtér hatása alatt, nagy energiájú fotonokat bocsát ki. Ez az ú. n. sugárzási energiaveszteség igen nagy mértékben függ a részecske tömegétől, úgyhogy egy proton kb. egymilliószor kevesebb energiát veszít így sugárzás útján, mint egy ugyanolyan energiájú elektron.

E három adatból: a pályagörbület alapján meghatározott impulzusból, a specifikus ionizáció alapján meghatározott sebességből és az ólomban szenvedett sugárzási energiaveszteségből a részecske nyugalmi tömegének nagysága minden esetben megállapítható. A töltés előjelére pedig az eltérítés irányából következtethetünk. A tömeg nagysága és a töltés nagysága és előjele meghatározzák a részecske természetét.

Ködkamrák segítségével a kutatók sok ezer kozmikus sugár-részecske pályanyomát fényképezték le. Ezek alapján kitűnt, hogy a sugárzás kisebb része elektrontömegű részekből áll; ezeknek fele azonban pozitív egységöltésű. Eddig csak negatív egységöltésű elektrontömegű részeket ismertünk; ez a megállapítás tehát egy új részecske az ú. n. pozitron felfedezéséhez vezetett. A sugárzás nagyobb része olyan részecskékből áll, melyeknek töltése ismét fele részben pozitív, fele részben negatív, de tömegük, bár az elektronénál nagyobb, a proton tömegénél azonban kisebb. A pontosabb mérések szerint ezen ú. n. „nehéz“ elektronok 100—400 elektrontömeeggel rendelkeznek. Ilyen tömegű részecskéket eddig a fizika még nem ismert; de Yukawa japán fizikus elméleti megfontolások alapján szintén hasonló tömegű részecskék létezésének feltételezésére jutott. Az atommagok protonokból és neutronokból vannak felépítve, melyeket vonzó erők tartanak össze. Ezek a vonzó erők az elektromos vonzó és taszító erőkkel ellentétben véges hatótávolságúak. Csupán az elektron kiterjedésénél kisebb távolságokon belül működnek, nagyobb távolságokon hatásuk megszűnik. Míg a távolsággal négyzetesen csökkenő, de végtelen hatótávolságú elektromos erőknek megfelelő elektromágneses tér a foton létezéséhez vezet, addig a véges hatótávolságú magkötő erőknek megfelelő erőtér egy korpuszkulához vezet, melynek tömege az elektron tömegének kb. 160-szorosa. Töltése úgy pozitív mint negatív lehet, sőt létezhet töltésnélküli semleges formában is. Az elmélet egy érdekes következtetése még, hogy e részecskék nem állandóak. Mint a radioaktív elemek atomjai bizonyos idő múltán szétbomlanak: élettartamuk kb. egymilliomod másodperc, mely idő eltelte után elektronra és neutrínóra oszlanak. Közelfekvő gondolat, hogy a kozmikus sugárzásban talált nehéz elektronok és ezen Yukawa-részek azonosak; újabban közös néven mezononoknak szokás nevezni.

Azonban a fotonok is igen jelentős szerepet játszanak a kozmikus sugárzásban. Sok esetben találunk olyan felvételeket, hol a ködkamra falában vagy a benne elhelyezett ólomlemeznek látszólag egyetlen pontjából több sugárpálya indul ki. E jelenséget zápornak nevezik, ma igen jól megalapozott elmélete a következő: egy elektron vagy

pozitron egy atommag terébe kerülve nagyenergiájú fotont bocsát ki; ha viszont ez a foton kerül egy atommag terébe, úgy mint azt a radioaktív gamma-sugarak esetében is tapasztalták, elektronpárra, azaz egy elektronra és egy pozitronra bomlik. Nem szabad ezt úgy elképzelnünk, mint ha a foton eredetileg egy elektronból és egy pozitronból lenne összeállítva, energiájának csupán egy része alakul át az elektron és pozitron nyugalmi tömegévé. Ezek ismét magterébe kerülve fotonokat bocsátanak ki, ezek ismét elektronpárokra bomlanak és így tovább. Az eredeti egy elektron ilyformán zuhatagszerű lépésekben megszaporodik. Nehéz anyagokban, mint pl. ólomban ez az egész zuhatagszerű folyamat kis hosszra szorul össze, úgyhogy a kilépő elektronok egy pontból látszanak kiindulni. Láthatjuk ebből a képből, hogy a pozitív és negatív elektronok mellett közel ugyanolyan számban fotonok is jelen vannak a kozmikus sugárkeverékben, jóllehet pályájuk nem látható a ködkamrában. A többi semleges rész, mint a neutronok, semleges Yukawa-részek és neutrínók számát ezidőszert nehéz megbecsülni. Valószínű, hogy számuk legalább nagyságrendileg azonos az imponáló részecskék számával.

Tenger szinten egy négyzetdeciméternyi területre másodpercenként átlag egy kozmikus sugár részecske érkezik. Ha meggondoljuk, hogy egy milligramm rádium másodpercenként százmillió beta-részecskét, elektront lövel ki, úgy láthatjuk, hogy a kozmikus sugárzás intenzitása — összehasonlítva a radioaktív sugárforrások intenzitásával — nagyon kicsi. Viszont a részecskék energiája rendkívül nagy. Az anyagon való áthaladás közben azonban folytonosan veszítenek energiájukból s így tengerszinten mindenfajta energiájú kozmikus részecskével találkozhatunk. Nagyobb energiák felé számosságuk rohamosan csökken. Az eddig mért legnagyobb energiájú kozmikus részecske energiája több százezerszerese egy radioaktív beta-sugár energiájának.

Ha a föld különböző helyein vizsgáljuk a kozmikus sugárzást, úgy sem összetételében, sem a részecskék számosságában nem találunk nagy különbségeket. Ezzel szemben ha nagyobb magasságokba emelkedünk a tengerszint fölé, a sugárzás intenzitása rohamosan növekszik, bizonyítékaul annak, hogy a sugárzás kívülről, felülről érkezik légkörünkbe és annak áthaladása közben a sugárzási és ionizációs veszteségek folytán a kisebb energiájú részecskék elvesztik mozgási energiájukat, nyugalomba jönnek, vagy pedig szétesés folytán kiválnak a sugárkeverékből, mielőtt a tengerszintet elérhetnék volna. Hasonló okból ha bányákba vagy tavak mélyén végzünk méréseket, az intenzitás sokkal kisebb lesz. 30 km magasságban az intenzitás a tengerszinten mért érték 80-szorosát éri el; 430 m mélyen a föld alatt viszont csupán 3 ezreléke a tengerszinten mért értéknek. Az atmoszféra tetejétől az eddig elért legnagyobb mélységig az intenzitásváltozás 25.000-szeres.

Ha a föld felületén az egyenlítőtől a sarkok felé haladunk, a sugárzás intenzitása kissé növekszik: a sarkok közelében kb. 15%-kal nagyobb, mint az egyenlítőn. Ezen növekedés magyarázata a következő: mint a ködkamra tárgyalásakor láttuk, az elektromos töltésű részecskék pályája a mágneses térben elhajlik. Földünk is egy nagy

mágnes, melynek tere messze kihat a világűrbe is. A világútból érkező elektromos töltésű részecskék ebben a természetes mágneses térben épp úgy eltérítettek eredeti irányukból, mint a ködkamrához használt mesterséges mágnesek terében. Lesznek köztük olyanok is — a kisebb energiájúak —, melyek pályája hurokszerűen meghajlik, úgyhogy a részecske visszatér a világűrbe, mielőtt elérte volna földünket. A számítások arra az eredményre vezetnek, hogy a mágneses tér eltérítő hatása legerősebb az olyan sugarakra, melyek az egyenlítő felé irányulnak; s így az egyenlítőt csak a nagyobb energiájú sugarak érhetik el. Minél inkább a pólusok felé irányul a sugár pályája, annál kisebb energia is elegendő már, hogy a részecske a földmágneses tér által képezett védőpáncélon áthatolhasson. Ez magyarázza, hogy a sarkok felé az intenzitás növekedik.

A föld mágneses tere nem állandó erősségű, hanem hosszabb periódusú változásoktól eltekintve, egy jól észlelhető napi periódust is mutat: legkisebb erőssége a déli és legnagyobb az esti órákban. A gyöngébb mágneses tér kevésbé téríti el a sugarakat és így délben kisebb energiájú sugarakat is beenged mint éjszaka. E körülmény a kozmikus sugárzás intenzitásában egy napi periódust okoz, melynek eredményeként az intenzitás nappal 1—2%-kal nagyobb, mint éjjel. Befolyással van még a sugárzás intenzitására az észlelési hely fölött elhelyezkedő légréteg vastagsága, jobban mondva tömege is, mely arányos a barométerállással. Magasabb barométerállás mellett a sugarak nagyobb tömegű levegőoszlopon kénytelenek áthatolni és eközben a kisebb energiájú részecskék lefékeződnek. A tengerszinten 76 cm higanyoszloppal egyensúlyt tartó légnyomás 1 cm-rel való növekedése a kozmikus sugárzás intenzitásában 3—4% csökkenést von maga után.

Hátra volna még az a kérdés, hogy vajjon milyen természetűek a világútból beérkező sugarak? A földmágneses tér említett hatása arra utal, hogy a sugárzás jórésze már a világútból mint elektromos töltésű részecske valószínűleg elektronok és pozitronok alakjában érkezik légrétegünk határára. Mezonok ugyanis rövid élettartamuk folytán a világűr nagy távolságait nem képesek bomlás nélkül befutni. Az észlelt mezonok a primér elektronok és pozitronok ütközése folytán keletkeznek a legfelső légrétegekben. Primér pozitív és negatív elektronok nagy sugárzási veszteségeik folytán nem tudnak a légrétegen keresztül tengerszintig hatolni, a keltett mezonok azonban igen. A tengerszinten észlelt elektronok a mezonok bomlásából származnak. Valószínű, hogy igen nagy mélységekbe már csak a semleges mezonok és neutrínók tudnak lehatolni.

A sugarak keletkezéséről semmit nem tudunk. Sok hipotézist állítottak fel erre nézve, de megbízható alapja egyiknek sincs. Igen sok fáradságot fordítottak annak felderítésére, vajjon a sugárzás nem az égboltnak csak bizonyos tájairól, pl. a tejút felől, vagy bizonyos csillag-típusokból, mint pl. a novákból érkezik-e földünkre; eddig a legszorgosabb kutatás sem hozott ez irányban eredményt. Ezzel szemben kb. egyszázalékos intenzitástöbbletet találunk egy oly irányból, mely egybeesik naprendszerünk haladási irányával. Tejútrendszerünk ugyanis forog és ennek következtében naprendszerünk, mely a forgás

központjától elég távol fekszik, másodpercenként kb. 300 km sebességgel halad. Ha a kozmikus sugárzás minden irányból teljesen egyenlő intenzitással érkezik is naprendszerünkre, mégis intenzitástöbbletet fogunk tapasztalni a haladás irányában, mert ezen irányban a beérkező részecskékkel szembe haladunk. Ezt az intenzitásnövekedést azonban csak az esetben észlelhetjük, ha a sugárzás olyan helyekről ered, melyek nem vesznek részt tejútrendszerünk forgásában. A kozmikus sugárzás tehát valószínűleg saját tejútrendszerünkön, galaxisunkon kívül fekvő idegen galaxisokból jön.

Ami a sugárzás biológiai hatását illeti, az eddig végzett kísérletek arra látszanak utalni, hogy csökkenti a csiraképességet, viszont növeli a mutációk, azaz az utódok sokféleségének számát.

A kozmikus sugárzás kutatása — mint láttuk — már eddig is több új elemi részecske felfedezéséhez vezetett és így fizikai világmépünk kiépítését jelentékenyen előmozdította. Sehol egyebütt nem találunk alkalmat ily óriási energiájú elemi részecskék viselkedésének és az energia anyaggá való átalakulásának tanulmányozására. Nem meglepő, ha a vele foglalkozó kutatók és tudományos dolgozatok száma évről-évre nő. Míg 1927-ben csupán 50 dolgozat jelent meg e tárgyról, 1937-ben szerte a világon már 217 kutató 263 dolgozatban számolt be eredményeiről. Ma már majdnem minden országban létesültek kutató intézetek kizárólag a kozmikus sugárzás tanulmányozására. Az eddig elért eredmények arra a reményre jogosítanak, hogy a fizika ezen ága a közel jövőben még sok új és értékes eredménnyel fogja gazdagítani természettudományi ismereteinket.

BARNÓTHY JENŐ