

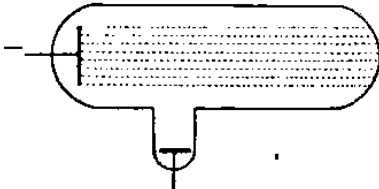
A KOZMIKUS SUGÁRZÁS

ÍRTA
TANGL KÁROLY

^^\OLT IDÓ, mikor a fizikusok csak egyféle sugárzást ismertek, azt, amelyik fényforrásokból indul ki. Azt mondták, hogy a napból, csillagokból, lámpából fényugarak indulnak ki, terjednek tovább. Megkülönböztettek különböző színű sugarakat, például fehéret, vöröset, zöldet stb. Sokáig úgy gondolták, hogy a fényugár mentén rendkívül finom, a testeket átjáró súlyamérhetetlen anyag, az *éter* rezgései terjednek tovább. Manapság az a felfogás lett úrrá, hogy a fényugár mentén elektromágneses rezgés terjed tovább, vagyis a fényugár elektromágneses hullám. Az egyes színek rezgésszámában különböznek egymástól: a vörösben a rezgések kevésbé szaporák, mint a kékben. Azután rájöttek, hogy a fényforrásokból más sugarak is indulnak ki, melyek szemünkbe jutva nem keltenek fényérzetet, de jelenlétüket kimutathatjuk azzal, hogy melegítenek, vagy például fényképezőlemezre nyomot hagynak. Ezek az *ultravörös* és *ultraibolya* sugarak. Ugyanolyan természetűek, mint a fényugarak, azaz elektromágneses rezgések, csak hogy az ultravörös sugárban a rezgések sokkal kevésbé szaporák, mint a vörös fényben, az ultraibolyában pedig sokkal szaporábbak, mint az ibolyafényben. A rádió leadó-antennájából is elektromágneses rezgések indulnak ki, melyek rezgésszáma még sokkal kevésbé szaporá, mint az ultravörös sugaraké. Az ultraibolya rezgéseknél szaporább elektromágneses rezgésekből állanak a *Röntgen-sugarak* és a radioaktív anyagok sugárzásában található γ (gamma) sugarak.

Mindeme sokféle sugárnak közös vonása, hogy mindegyik elektromágneses hullám, mindegyik egyforma sebességgel, a fény sebességével terjed tova, egymástól csupán a rezgésszámában, illetve a hullámhosszban különböznek.

De találtak a fizikusok más természetű sugarakat is, pl. a katódsugarakat. Erősen légritkított üvegcsőbe két drót vezet be, melyek lemezben végződnek a csőben, elektródoknak hívják őket (1. ábra). Nagyfeszültségű elektromos



1. ábra.

telep két sarkához kötjük őket, akkor a ritkított levegőn elektromos kisülés megy át. Eközben a katódról — a telep negatív sarkával összekötött elektródról — halványkékes sugarak indulnak ki, melyek a katóddal szemben fekvő üvegfalat érik s azt zöldes fényben világitásra gerjesztik. E sugarakat a mágnes eltéríti úgy, mintha bennük elektromos áram ha-

ladna a katód felé. Ez a kísérlet is mutatja, hogy e sugarak merőben más természetűek, mint a fénysugarak, hisz utóbbiakat a mágnes egyáltalában nem téríti el. A katódsugarak összes észlelt tulajdonsága összhangban van azzal az elmélettel, hogy bennök igen apró anyagi részecskék mozognak, a katódról elirányított igen nagy sebességgel. E részecskék, korpuszkulák mindegyike egyforma nagyságú negatív elektromos töltést visz magával. Minden korpuszkulának tömege kereken 1850-szer kisebb, mint egy hidrogénatom tömege, töltése pedig az a legkisebb töltés, mely egyáltalában található a természetben, a töltés ú. n. elemi mennyisége, mely mint az elektromos töltés atomja fogható fel. E korpuszkula neve: *elektron*. A katódsugár eszerint nagysebességű elektronokból, negatív töltésű korpuszkulákból áll; ezért nevezik korpuszkuláris sugárzásnak. Ugyanilyen sugarak a radioaktív anyagokból kilövelt β (béta) sugarak, ezek is elektronokból állanak, sebességük nagyobb, mint a katódsugaraké. Korpuszkuláris sugarak a radioaktív anyagokból kilövelt ú. n. α (alfa) sugarak is, csak hogy nem negatív, hanem pozitív töltést visznek magukkal, tömegük pedig egyenlő a hélium atom tömegével. Pozitív töltésű korpuszkulákból állanak az ú. n. csősugarak is, tömegük olyan, mint a kémiai elemek atomjaié.

A röviden felsorolt sugárzások természetük szerint két nagy csoportba sorolhatók: ú. m. *elektromágneses* és *korpuszkuláris* sugárzások csoportjába. Az elektromágneses sugarak különbözhetnek egymástól rezgésszámában és erősségben, a korpuszkuláris sugarak a korpuszkulák tömegében, elektromos töltésében, sebességében és számában. Meg kellett ismernünk e sugárzásokat, hogy megértsük a kozmikus sugarak vizsgálatában fellépő ama kérdést, vajjon milyen természetűek e sugarak: elektromágneses vagy korpuszkuláris

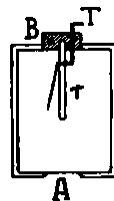
sugarak-e? Megjegyzendő azonban, hogy modern felfogás szerint a kétféle sugárzás közt nincs ilyen éles különbség. *Planck* német fizikustól származik az a rendkívül termékenynek bizonyult gondolat, hogy az elektromágneses sugárzás, pl. a fény kibocsátása sem történik folytonosan, hanem meghatározott nagyságú különálló adagokban. Minden adag a sugárzás hullámhosszára jellemző energiával, ú. n. energiakvantummal egyenlő. Úgy is szemléltethetnek a sugárzás szerkezetét, hogy különálló energiaceppekből áll, melyek fénysebességgel terjednek tovább? Egy-egy ilyen energiaceppet fotonnak neveznek. A fizikusok a sugárzás jelenségének leírására kénytelenek voltak felvenni, hogy a foton, bár tiszta energiából áll, mégis úgy viselkedik, mintha tömege is volna. De akkor a fotont is korpuszkulának tekinthetjük, mert megvan a korpuszkula két jellemző tulajdonsága: különváltsága és tömege.

A fénysugarakat észrevevesszük azzal, hogy szemünkben fényérzetet keltenek. A többi felsorolt sugár ezt nem teszi; akkor hát hogyan vesszük észre őket? A rádióban használt elektromágneses hullámokat a felvevőkészülék árulja el. A fénysugarakat észrevehetjük még fényképezőlemezen, melyen feketedést okoznak; az ultraibolya, a Röntgen-sugarak és a γ sugarak ugyanúgy hatnak a fényképezőlemezre, mint a látható fény, tehát ezzel vehetjük őket észre. De ugyanígy hatnak a fényérzékeny lemezre a katód, az α és β sugarak is, általában a korpuszkuláris sugarak, ha elektromos töltésük van a korpuszkuláknak. Azt mondhatnám, eme sugarakra a fotografiai lemez a szem, mely észreveszi őket.

Észrevehetjük a sugarakat azzal is, hogy sok anyagot fénykibocsátásra készítetnek; azt mondjuk, ezen anyagok foszforeszkálnak a sugarak hatása alatt. Ilyen pl. a cinkszulfid, bárium platincianür.

Észrevehetjük végre a sugarakat a vizsgálatuk szempontjából igen fontos hatásuk révén: a levegőt, vagy más gázt vezetővé teszik, ha rajtuk áthaladnak. A gázok jó elektromos szigetelők. Zárt fémedénybe (2. ábra), a B jól szigetelő borostyándugón át fémpálca (r) ér, végén aranyfüst lemezkével. A fémedényt levezetjük a földbe, a fémpálcának T karon át töltést adunk, mire az aranyfüstlemez szétágazik.

Ez az *elektrométer* töltését sokáig (órák hosszat) változatlanul megtartja, jeléül annak, hogy a levegő jól szigetel. Ha azonban az edény A ablakán át a, B , G , vagy Röntgen-sugárt engedünk be, az aranyfüstlemez kisebb-nagyobb



2. ábra.

sebességgel összeesik, töltését elveszti és pedig amiatt, mert az edényben levő levegő a sugárzás hatása alatt vezetővé vált, s az edény falához vezet a töltést.

Mi történt a levegővel, hogy a beeső sugarak hatására vezetővé vált? A fizikusok azt mondják: a levegőmolekulák a sugarak hatására egy-egy elektront adnak le; ezzel a molekula megmaradó része pozitív töltésű lesz, a felszabadult elektron más molekulához szegődik, mely ezzel negatív töltést kap. Az olyan molekulát, melynek pozitív vagy negatív töltése van, ionnak nevezzük s azt mondjuk, a levegőt a sugarak ionizálják. Az ionok az edényben elektromos térben vannak, azaz erő hat rájuk, hisz az aranyfüstnek — tegyük fel — pozitív töltése, a levegő edényfalának negatív töltése van, a negatív ionokat az aranyfüst, a pozitívakat a fal vonzza. A negatív ionok az aranyfűsthöz jutnak, leadják neki töltésüket, s ezzel az aranyfüst pozitív töltését kisebbítik. így veszti el az aranyfüst töltését ionizált levegőben.

A leírt egyszerű eszköz az ú. n. ionizációs kamra legegyszerűbb alakja, vele az ionizáció erőssége is mérhető: ha a levegőben több ion van, az elektrométer gyorsabban veszti el töltését.

A fizikusok csakhamar észrevették, hogy az elektrométer aranyfüstje, bármilyen gondosan szigetelték is az edény falától, lassan mégis veszít a töltéséből. Az előbbieken alapján ezt annak tulajdonítják, hogy a levegő kis mértékben mindig ionizálva van. Vájjon mi okozza a légkör eme állandó ionizációját? A föld tartalmaz radioaktív anyagokat, melyekből állandóan α , β , γ sugarak jutnak a levegőbe s azt ionizálják. A levegőbe kerülnek a föld radioaktív anyagjainak bomlási termékei, így pl. az emanációnak nevezett gázalakú termék, mely szintén radioaktív. Ionizálják a levegőt a kamrában, az edény falában lévő radioaktív anyagok nyomai is.

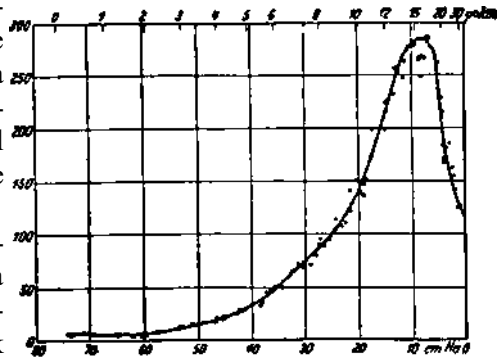
Ha a levegő állandó ionizációját a fent felsorolt tényezők okozzák akkor a föld felszínétől nagyobb távolságokban, azaz nagyobb magasságokban a levegő ionizációjának csökkennie kell. Ezért felszálló léggömbökben mérték többen a levegő ionizációjának változását. Különösen nevezetesen Hess ilyenfajta mérései, 5000 méter magasságig, 1912-ben, melyek meglepő eredményre vezettek: az ionizáció lényegesen nagyobb 5000 m magasságban, mint a föld felszínén, az ionizáció erősödik, ha a föld színe fölé emelkedünk. Azóta számosan mérték ionizációs kamrával és koincidencia berendezéssel (lásd később) jóval nagyobb magasságokig is. Léggömbben felszálltak 18 km-ig, regisztráló léggömbbel, mely csak mérőműszert visz magával, de

észlelőt nem, 35 km magasságot is elértek (*Regener*). Mindezen mérések eredményét egy görbével szemléltethetjük (3. ábra). Vízszintes irányban felmérjük a légnyomást az illető magasságban (jobbra csökken a légnyomás, növekszik a tengerszint feletti magasság), a függélyes irányban pedig felrakjuk a sugárzás erősségét (önkéntes egységekben). Nevezetes, hogy 8 cm higanynyomáson, azaz kb. 16 km magasságban az ionizáció erőssége maximumot mutat, még nagyobb magasságban a sugárzás erőssége ismét csökken. A görbét folytathatjuk az észleléseken túl is az atmoszféra határáig, nulla légnyomásig, ott is van egy bizonyos ionizáció, sugárzási intenzitás.

Az elmondott kísérletek eredménye sehogy sem egyeztethető össze azzal, hogy a levegő ionizációját a földből jövő radioaktív anyagok sugárjai okozzák, mert ez esetben a földről távolodva az ionizációnak csökkenje kellene.

Hess volt az első, ki arra következtetett, hogy a levegő ionizációját a földre a föld légkörébe kívülről, a világ-egyetemből jövő valamiféle sugarak okozzák; nevük: *kozmos sugarak*. Kezdetben voltak e felfogásnak ellen-

zői, ma azonban nincsenek már. A világúrból jövő sugarak eljutnak a légkör határához, tehát már ott észlelhetünk mérhető ionizációt, behatolnak a légkörbe, s közben mind több és több olyan sugarat váltanak ki, melyek maguk is ionizálnak. Ezért eleinte rohamosan nő az ionizáció, kb. 16 km-ig, ezután a föld felszínéig csökken, mert miközben a sugarak így ionizálva haladnak, minden egyes ionpár termeléséhez bizonyos nagyságú energiát adnak le saját energiakészletükből. Egy bizonyos hosszúságú út megtétele után energiájuk ölfogy és így ezek a sugarak kiválnak a sugárkeverékből, ahol már csak nagyobb energiával rendelkezők haladhatnak tovább. A sugárzás ezen gyöngülését úgy fejezhetjük ki, hogy a sugárzás a légrétegen való áthaladása közben abszorbeálódott. A maximumtól (16 km magasságban) a föld felszínéig a sugárzás 40-ed részére csökken. A föld felszínén minden dm^2 -nyi felületre másodpercenként kb. 1 sugárrészecske esik. Ez rendkívül kicsiny szám, mert pl. 1 mg rádiumból másodpercenként 40 millió részecske indul ki. Minden egyes kozmikus sugárrészecskében azonban akkora energia

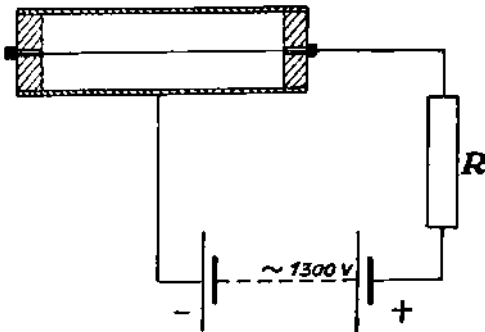


3. ábra. A kozmikus sugárzás erősségének változása a légrétegen.

van felhalmozva, hogy a kozmikus sugárzás alakjában földünkre érkező energia egyenlő avval az energiával, mely a csillagokból (a nap kivételével) fény és hő energia alakjában jut földünkre.

Amint a fizikusok elismerték, hogy van kozmikus sugárzás, a kérdések egész sora rohanta meg őket: milyen irányból jönnek, mekkora az energiájuk, milyen természetű a sugárzás, olyan-e, mint a γ sugár, vagy korpusz-
kulákból áll, honnan jönnek s. i. t.

Feleletet e kérdésekre úgy várhatunk, ha lehetőleg többféle módon, külön-
legesen megválasztott kísérleti feltételek mellett vizsgáljuk a sugárzást. Ezen vizsgálatokban a már leírt ionizációs kamrán kívül főként két másik



4. ábra.

módszer tett igen nagy szolgálato-
kat: az ú. n. számlálócső koinciden-
cia kapcsolásban és a Wilson-féle
köd kamra.

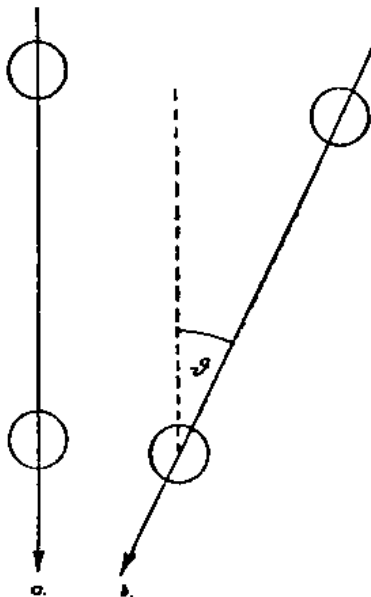
A *Geiger—Müller-féle számlálócső* (4. ábra) egy fémcső, melynek tengelyében egy 01—0'2 mm vastag fém-szál van kifeszítve. Üvegcsőbe zárjuk az egészet, és a légnyomásnál kisebb nyomású levegővel, vagy más gázzal töltjük meg a henger és szál közti teret. A hengerből és szálból drót vezet ki az

üvegfalon át, úgy hogy feszültségkülönbséget kapcsolhatunk a szál és henger közé. A feszültségkülönbséget akkorának választjuk (1000—1500 V), hogy kisülés még ne menjen át. Ha azonban a henger és szál közé ionizáló korpuszkula jut, már egyetlen ion is megindíthatja a kisülést, mert az ion a szál és a henger közti elektromos térben nagy sebességre tesz szert, ütközéssel új ionokat kelt, ezek szintén nagy sebességre tesznek szert, szintén ionizálnak s. i. t. Egy ion az ionok lavináját indítja él. Megindul a kisülés, ezzel azonban esik a feszültségkülönbség a szál és henger közt mindaddig, míg oly kicsi nem lesz, hogy a kisülés megszakad. Ezután a szál az R ellenálláson át ismét feltöltődik és a készülék új ionizáló sugár jelzésére készen áll.

Ha a fémhenger vastagsága 1—2 mm, úgy a radioaktív α és β sugarak nem hatolnak be a csőbe; γ sugarak, fotonok átjuthatnak a falon, de igen kicsiny a valószínűsége annak, hogy ionizáljanak. A kozmikus sugarak meg-

szóltatják a csövet. *Cosyns*, meg *Trost* eljárása szerint készült számlálócsőben a beérkező korpuzkulák 95%-a ad kisülést. A kisülés folytán előálló feszültséglökés elektroncsövekkel felerősíthető.

A számlálócső jelzi a beléje érkező ionizáló korpuzkulákat, de nem mond semmit arról, hogy milyen irányból érkeznek. Két cső azonban ezt is megteszi ú. n. *koincendencia kapcsolásban*. Egymás fölé helyezünk két számlálócsövet (5. ábra), melyeket úgy kapcsolunk egy jelzőkészülékhez, hogy a készülék a számlálócső kisülését csak akkor jelezze, ha egyidejűleg következett be kisülés mindkét csőben, vagyis ha a beérkező korpuzkula függőleges irányból jöve mindkét csövön — a részecske nagy sebessége folytán — mondhatni egyszerre haladt át. Ezáltal módunkban áll meghatározott irányból jövő kozmikus sugarakat vizsgálni. Ha, mint az 5 b) ábrán láthatjuk, a két számlálócsövet a függőlegesrel $<5^\circ$ szöget bezáró irányban helyezzük el, úgy berendezésünk ezen $<5^\circ$ irányból beeső kozmikus sugárzás erősségét fogja mérni. A két csövet egyszerre

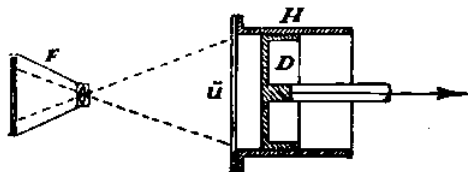


5. ábra.

csak ionizáló korpuzkula szólaltathatja meg, foton nem, mert annak a valószínűsége, hogy a foton egy csőben ionizáljon is, igen kicsiny. Még sokszorta kisebb annak a valószínűsége, hogy a két csövön áthaladó ugyanazon foton ionizáljon mindkét számlálócsőben.

A sugárzások és az atomszerkezetre vonatkozó modern vizsgálatokban rendkívül fontos szerep jutott a *Wilson-kamra* vagy *kőd kamra* nevű eszköznek. A köd kamra még csodálatosabb

ban csodálatos az, hogy rögtön jelzi — feszültséglökéssel — ha egyetlen mozgatható dugattyú (D). A kamrában levegő és telített vízgőz — vagy ionizáló korpuzkula ment rajta keresztül, a köd kamrán áthaladó ionizáló rész azonban lerajzolja benne pályáját. Hogyan?

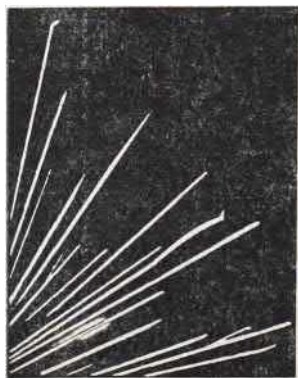


6. ábra.

A köd kamra (6. ábra) lapos üveghenger (H), melynek egyik homloklapja üveg (ü), másik egy

mozgatható dugattyú (D). A kamrában levegő és telített vízgőz — vagy alkoholgőz van. Ha a dugattyút hirtelen kiejebb húzzuk, a víz- vagy alkoholgőz hirtelen kiterjed. Eközben annyira lehül, hogy túltelített lesz és lecsapódik, ha talál apró porszemeket vagy ionokat. Pormentes levegőben csak ionokra csapódik le. A lecsapódott apró kis cseppeket, mint ködöt vesszük észre. A köd jól látható, ha a kamrát oldalról világítjuk meg és a homloklapon át nézzük, illetve ide helyezzük a fényképező gépet (F). Amint ionizáló korpuzskula halad át a kamrán, a homloklappal párhuzamosan, pályája mentén ionokat termel. Ha ugyanakkor a dugattyút kifelé rántjuk, az ionokra lecsapódik a gőz, a pálya mentén köd képződik.

úgy hogy a pályát mint vékony ködfonalat látjuk. így teszi a Wilson-kamra minden egyes ionizáló korpuzskula pályáját láthatóvá. A 7. ábra úgy készült.



7. ábra.

hogy a ködkamrába egy szemernyi radioaktív anyagot helyeztek, mely α sugarakat lövell ki; az ábrán látható sugárkéve csupa ködfonál, mely az α rész pályája mentén képződött, mikor a dugattyút hirtelen kifelé rántjuk.

Ha a hirtelen kiterjesztéskor kozmikus ionizáló korpuzskula érkezik a kamrába, ködfonállal az is lerajzolja pályáját. Persze ehhez az kell hogy a korpuzskula éppen akkor érkezzék a kamrába, mikor a dugattyút kifelé rántjuk. Természetesen ez csak véletlenül esik meg; ezért van az, hogy a ködkamra felvételei közt csak 4%-on találunk kozmikus pályanyomot. Ezen *Blackett* és *Occialini* úgy segítettek,

ugyanaz a korpuzskula áthaladván a koincidenciára kapcsolt két számlálócsövön és a ködkamrán, a *kiváltott koincidencia feszültséglökés* megfelelő szerkezetet hozott működésbe, mely a dugattyút kirántotta. így a kiterjesztés mindig akkor történt, mikor kozmikus sugár ment át a ködkamrán.

Bothe és *Kolhörster* voltak az elsők, akik 1928-ban kétcsöves koincidencia készülékkel észleltek kozmikus sugarakat Rendkívül nevezetes észlelés ez, mert hisz a koincidencia készüléket foton nem szólaltatja meg, csak ionizáló korpuzskula. A radioaktív anyagok α és β sugarát a cső fala elnyeli, így be sem jutnak a csőbe. Azt kell tehát mondanunk: a föld légkörében észlelt kozmikus sugarak túlnyomórészt ionizáló korpuzkulákból állnak.

melyek különböznek a radioaktív anyagok a és θ sugaraitól, mindenesetre annyiban, hogy vastagabb anyagrétegeken tudnak áthatolni.

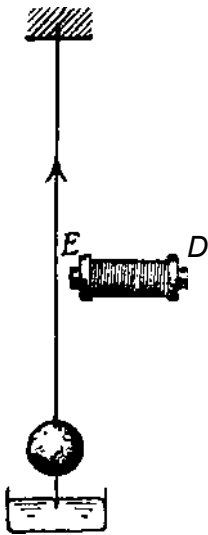
E megismeréstől ismét a kérdések egész sora fakad: mekkora e korpuszkulák tömege, elektromos töltése, sebessége, energiája, továbbá vajjon ugyanazon korpuszkulákat észleljük-e a föld légkörében, mint amelyek a világűrben a légkör határára érkeznek, hiszen lehet, hogy a világűrben érkező sugarak keltik a levegőben az észlelt korpuszkulákat; de akkor milyen természetűek a légkör határára érkező sugarak és mi történik velők, amint a légkörön áthaladnak? E kérdésekre kell feleletet adnunk az észlelések alapján.

Már maga az a tény, hogy a kozmikus sugár korpuszkulái átmennek a számlálócső falán, azt mutatja, hogy jóval nagyobb az áthatolókéességük, mint az a és θ sugaraké. Áthatolókéességüket vizsgálták úgy, hogy útjukba különböző vastagságú réteget pl. ólomlemezt helyeztek, s nézték mennyire gyöngül az erősségük, miközben az ólomlemezen áthaladnak. 15 cm vastagságig az erősség erősen csökken; tovább növelve a vastagságot, az erősség nagyon lassan csökken. Ezt úgy értelmezzük, hogy a kozmikus sugárzásban van egy kevésbé és egy erősen áthatoló összetevő; az előbbi puhának, az utóbbit keménynek nevezik. A puha összetevőt 15 cm ólom már teljesen elnyeli; de még ez is nagy áthatolókéességet jelent, hiszen az a sugarat 0,01 mm ólom, a θ sugarat néhány mm ólom már elnyeli.

Úgy is mérték az áthatolókéességet, hogy ionizációs kamrát süllyesztettek mély vízbe, s nézték a sugárzás gyöngülését. *Regener* a Bodeni tóban 230 m mélységben mért. *Barnóthy* és *Forró* a dorogi bányában állították fel a koincidencia készüléket. A tárna feletti földréteg volt az elnyelő közeg ekkor. 430 m mélységben még találtak kimutatható sugárzást, igaz hogy a felszínen észlelhető sugárzásnak csak 0,15 ezrelékét.

Az előbbi pontban felvetett kérdésekre a Wilson-kamra sok érdekes felvilágosítást ad. Említettük, hogy a kozmikus sugár a kamrában pályanyomot hagy: a korpuszkula ionizál, az ion körül apró kis vízcsepp rakódik le. Kellő nagyítással a vízcseppek láthatókká válnak s megszámlálhatjuk, hogy 1 cm pályadarabra hány csepp esik; ugyanannyi iont termelt a sugár 1 cm-nyi úthosszon; ez a szám fejezi ki az ún. fajlagos ionizációt. A korpuszkula okozta fajlagos ionizáció arányos a töltés négyzetével, fordítva arányos a sebesség négyzetével. Ha nagy a részecske sebessége, kevesebb iont termel.

Elméleti megfontolások arra vezetnek, hogy a részecske 1 cm úton 50 ionnál kevesebbet nem termel, ha töltése egységnyi s sebessége közel van a fénysebességhez. Ha töltése két egységnyi, 200 ionnál kevesebbet nem termel. A Wilson-kamrában észlelt pályanyomok 99%-án a fajlagos ionizáció utóbbi értéknél kisebb. Ebből arra kell következtetnünk, hogy a részecske töltése egységnyi; azaz ugyanakkora mint az elektroné, ama részecskéé, melyekből a katódsugár vagy β -sugár áll. Megjegyeztük, hogy ez a legkisebb töltés, mely egyáltalában létezik, ennél kisebb töltésre ezidáig nem bukkantak. Bármely korpuszkula töltése eme legkisebb töltés egyszerese, vagy kétszerese, háromszorosa s. i. t. lehet csak. Ismerve a részecske töltését, a fajlagos ionizációból megtudhatjuk sebességét. Igen nagy sebességekről van



8. ábra.

szó; már a radioaktív α -sugarak közt is vannak olyan részecskék, melyek elérik a fénysebesség 99%-át. A kozmikus sugárzásban vannak részecskék, melyek sebessége jóval közelebb áll a fénysebességhez.

Az elektron töltése negatív, vajjon a kozmikus részecskéé is negatív? A fajlagos ionizáció erre nem ad feleletet, mert pozitív vagy negatív töltés ugyanúgy ionizál. Erről meg a részecske tömegéről felvilágosítást kapunk, ha a Wilson-kamrát mágneses térbe, pl. egy elektromágnes két sarka közé tesszük s megmérjük mikép változtatja meg e mágneses tér a részecske pályáját. Régi tapasztalat, hogy a mágnes erőt gyakorol egy olyan vezetőre, melyben elektromos áram kering. A következő kísérlettel (8. ábra) szemléltethetjük e hatást: A 8. ábrán látható felfüggesztett drót alul vascsúccsal higanyba merül. Ha áramot viszünk át rajta, akkor az elébe tartott mágnes jobbra vagy balra kitéríti, a szerint, hogy melyik irányban közelítettünk.

Úgy is leírhatjuk e kísérletet, hogy a mágnes mágneses teret hoz létre, melyben erővonalak vannak. Az áramot vivő drót mágneses térbe kerül, erővonalak érik s ezek térítik ki az áramot. Igen nevezetes tapasztalat, hogy a mozgó elektromos töltés úgy viselkedik, mint az elektromos áram, azaz a mágnes vagy mágneses tér hatását is úgy viseli, mint az áram, s ő maga is olyan mágneses teret létesít, mint az áram. Ha tehát a nyíl irányában egy elektromos töltésű részecske mozog, az is áramot jelent, s a mágnes vagy mágneses tér épp úgy el fogja

téríteni az útjából, mint az áramot vivő drótot. Beláthatjuk ebből, hogy a Wilson-kamrában futó elektromos részecske pályáját a mágneses tér elfogja görbíteni. Igen fontos, hogy a fotont a mágneses tér nem téríti el. Hasonlóan nincs a mágneses térnek hatása olyan korpuszkulára, mely semleges, azaz nincs elektromos töltése. Az, hogy a mágneses tér a Wilson-kamrában látható pályanyomokat el fogja görbíteni, eleve is várható volt, hiszen pályanyomot csak olyan részek hagynak a kamrában, melyeknek fajlagos ionizációja elég nagy, ilyenek pedig csupán az elektromos töltésű részecskék. Azonban abból, hogy a mágneses tér milyen irányban görbíti el a pályát, meg lehet tudni, pozitív-e a részecske töltése, vagy negatív, feltéve, hogy ismerjük, milyen irányban fut a részecske a pályán. A legtöbb esetben a részecske felülről jön a kamrába, ekkor tudjuk mely irányban mozog, lehet azonban, hogy alulról jut be, amit magából a pályából nem tudunk eldönteni, s így a töltés előjelének pozitív vagy negatív volta is eldöntetlen marad.

Lemérhetjük, mennyire görbíti el a mágneses tér a részecske pályáját. Ismerve a részecske töltését és a mágneses tér erősségét, e mérésből kiszámíthatjuk a részecske u . n. impulzusát. Impulzuson értjük azt a mennyiséget, melyet a részecske tömegének és sebességének szorzata szolgáltat. Ha nagyobb az impulzus, azaz nagyobb a részecske tömege, vagy sebessége, a mágneses tér kevésbé téríti el, a pálya mintegy merevebb lesz. A sebességet már ismerjük a fajlagos ionizációból s így a mágneses eltérítésből megtudhatjuk a részecske tömegét. Azt gondolhatnánk, hogy a részecske tömege épp olyan jellemző adata, mint pl. a töltése, mely független a mozgási állapottól. A relativitás elmélete mást tanít: a test tömege függ a mozgási állapottól, függ a sebességtől; ha nagyobb a sebesség, a test úgy viselkedik, mintha tömege megnőtt volna. Földi tárgyakon a tömeg eme növekedése oly kicsiny, hogy észre nem vehetjük. így pl. ha egy 1 tonnás lövedék sebessége másodpercenként 1 km, tömege megnő, de csak kerekén 1/200 milligrammal. A tömegszaporulat csak akkor lesz jelentékeny, ha a test sebessége közel jut a fénysebességhez, azaz másodpercenként 300.000 kilométerhez. így pl., ha a részecske sebessége eléri a fénysebesség 99%-át, azaz másodpercenként 297.000 kilométert, tömege megnő 7-szeresére. A kozmikus sugárzásban vannak részecskék, melyek még jobban megközelítik a fénysebességet s így tömegük még sokkal jobban megnő. Ezért meg kell különböztetnünk a részecske u . n. nyugalmi tömegét a mozgó tömegétől. Előbbin értjük a részecske tömegét, mikor sebessége kicsiny a fénysebességhez képest. Ez

volna olyan adat, mely jellemző a részecskére, úgy, mint a töltés. Ha azt mondjuk, az elektron tömege 1850-szer kisebb mint a proton, a hidrogén atommagjának tömege, akkor ezen a nyugalmi tömegek viszonyát értjük. Ha az elektron sebessége közelebb jut a fénysebességhez, mint a proton sebessége, a tömege nagyobb is lehet, mint a protoné.

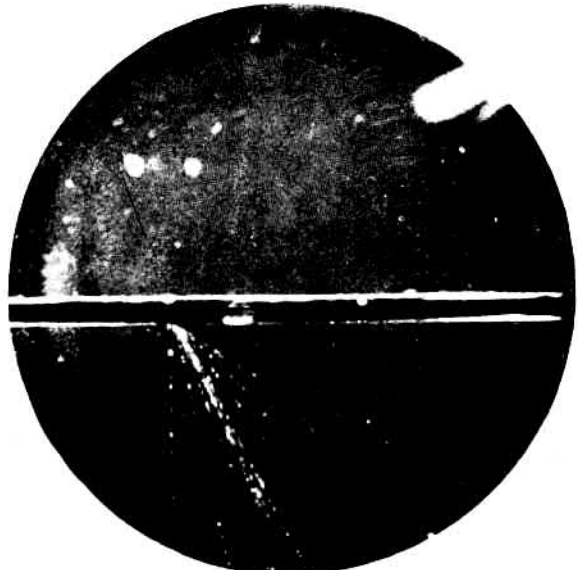
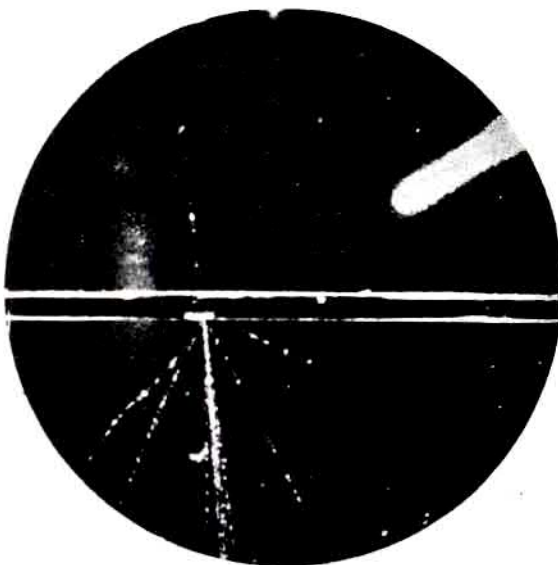
A pálya mágneses eltérítéséből a mozgó tömegről kapunk adatot, pedig a részecske természetére jellemző adat a nyugalmi tömege. Ha a részecske sebessége közel jut a fénysebességhez, nyugalmi tömegét a következőképp tudhatjuk meg: a Wilson-kamrába ólomlemeztes teszünk, melyen áthalad a részecske, pályáját mágneses térrel elgörbítjük; megtudhatjuk impulzusát az ólomba való belépés előtt és után. Ilyen nagy sebességek esetében az impulzusból kiszámíthatjuk mozgási energiáját úgy, hogy az impulzus értékét szorozzuk a fénysebességgel; így megtudhatjuk mennyi a részecske energiavesztése, miközben a lemezen áthaladt. Elméleti megfontolások alapján ez az energiavesztés erősen függ a részecske nyugalmi tömegétől. Egy proton pl. egymilliószor kevesebb energiát veszít, mint egy ugyanolyan energiájú elektron. Az energiavesztésüket lemérve, eljutunk tehát nagy sebességek esetében a nyugalmi tömeg értékéhez.

Összefoglalva: a Wilson-kamrában mért fajlagos ionizációból, a pálya-görbületből meghatározott impulzusból és ólomlemezben beálló energiavesztéséből megtudjuk a részecske töltését, nyugalmi tömegét és sebességét.

Mielőtt a mérési eredményeket tárgyalnám, meg kell ismerkednünk egy igen nevezetes felfedezéssel, melyhez a kozmikus sugarak vezettek el. Anderson amerikai fizikus 1932-ben a Wilson-kamrával készült felvételek közt talál olyan pályát, mely a kamrába helyezett ólomlemezeken vezetett át. A pályát a mágneses tér elgörbítette; a lemez egyik oldalán a pálya erősebben volt elgörbítve, mint a lemez másik oldalán és pedig azért, mert a lemezen áthaladva a részecske veszít sebességéből; ahol a sebesség kisebb, ott a mágneses tér erősebben görbíti el a pályát. Ebből kétségtelenül el lehetett dönteni, hogy a lemezt melyik irányban lépte át a részecske: a pálya kevésbé elgörbített részéből haladt át a lemezen a jobban elgörbített részbe. A 9. ábrán a részecske alulról felfelé haladva ment át a lemezen. Ismerve a sebesség irányát, az elgörbülés irányából az következett, hogy a részecske pozitív töltésű. Talán proton? Nem, az elgörbülés nagyságából az következett, hogy a tömege akkora mint az elektroné. Ezzel *Anderson* egy eddig ismeretlen fajta részecskét fedezett fel: tömege akkora, mint az elektroné, de töltése pozitív, míg az elektroné negatív, azt mondhatnám,



9. ábra. Első ködkamrás felvétel, melyen a pozitron pályanyoma látható.



a) ionizáló sugár által kiváltott kozmikus zápor. *b)* nem ionizáló sugár által kiváltott kozmikus zápor.

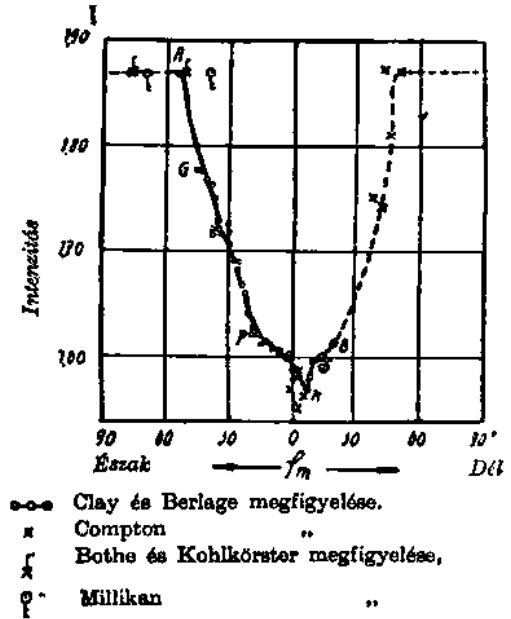


13. ábra. Kozmikus sugár kiváltotta robbanási zápor.

hogy az elektron pozitív párja. E részecske a *Pozitron* nevet kapta. *Anderson* felfedezése óta sokszor észleltek pozitronokat, különösen az ú. n. záporokban (lásd később), úgy hogy azt mondhatjuk, hogy a kozmikus sugarakban vannak elektronok és pozitronok is és pedig közel egyforma számban. Persze ez nem jelenti azt, hogy a kozmikus sugarak csak elektronokból, meg pozitronokból állnak.

A Wilson-kamrával végzett megfigyelések kétségtelenné teszik, hogy a föld légkörében észlelt kozmikus sugarakban vannak elektronok, meg pozitronok. Felvetődik a kérdés, vajjon a légkör határára a világtűrőből érkező sugarak is tartalmaznak már elektronokat és pozitronokat, vagy pedig más alakban lépnek a légkörbe s az abban megtett útjuk alatt keltik csak eme részecskéket? Feleletet ad e kérdésre az a nevezetes megfigyelés, hogy a sugárzás erőssége a föld felületén nem mindenütt ugyanakkora. Leggyengébb a sugárzás az egyenlítőn, innen északra vagy délre haladva a sugárzás erősödik az 50-ik szélességi fokig és pedig 15%-kal nagyobb itt, ezen túl állandó marad a sarkokig.* (10. ábra.)

A kozmikus sugárzás ilyen viselkedését várhatjuk, ha a levegő határára érkező sugárzásban elektromos töltésű korpuzkulák vannak. E korpuzkulák a föld mágneses terében teszik meg hosszú útjukat a levegő határáig. A földmágneses tér ugyan igen gyenge, de a hosszú úton mégis számottevően elhajlítja a korpuzkulák pályáját, erősebb az elhajlítás a kisebb energiájú részecskéken olyannyira, hogy ezek el sem érhetik a földet az egyenlítő tájékán, míg a sarkok tájékán elérhetik, mert a számítás szerint a sarkok



10. ábra.

A kozmikus sugárzás erősségének változása a szélességi fokok szerint.

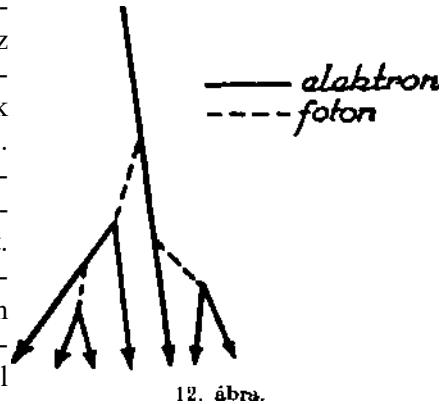
* A 10. ábrán a vízszintes tengelyre a szélességi fokok, a függőlegesre a mért intenzitás van felmérve.

tájékára irányuló részecskék elhajlítása lényegesen kisebb. így az egyenlítőn kevesebb puha sugárzást észlelhetünk, mint a sarkokon s a sugárzás erősségének a sarkokig növekednie ke'l. A megfigyelések azt mutatják, hogy az erősség növekedése csak az 50-ik szélességi fokig tart, onnan a sarkokig állandó marad. Ennek magyarázatát abban találhatjuk, hogy földünkre egészen puha sugarak egyáltalában nem jutnak. Akár azért nem, mert a levegőn való áthatoláshoz kell legalább egy bizonyos energiaérték. A kisebb energiájú sugarak ionizáció folytán útjukban elvesztik egész energiájukat. A számítás szerint az az energiaérték, mely a levegő áthatolásához szükséges, épp megegyezik azzal az energiával, amilyen energiájú korpusz-kulákat a föld mágneses tere már az 50-ik szélességi fokon is beenged. Újabb kísérletek alapján inkább az a nézet alakult ki, hogy az egészen puha kozmikus sugarakat azért sem találhatjuk meg a földünkre eső sugárnyalá-ban, mert a napnak a földnél jóval erősebb mágneses tere ezeket a puha sugarakat távoltartja földünk légkörétől. Akár az egyik, akár a másik ma-gyarázatot fogadjuk el, az 50-ik szélességi körön beérkező sugaraknál pu-hább sugarakat a föld mágneses tere ugyan beengedne, de nem érkezhettek be, miután ilyen sugarak nincsenek is a sugárkeverékben.

Az itt leírt ú. n. szélességi effektus azért fontos, mert belőle azt kell következtetnünk, hogy a világűrben már elektromosan töltött részecskék érkeznak a légkör határára. Vájjon ezek is elektronok meg pozitronok? Mielőtt erre felelnénk, még egy nevezetes jelenséggel az ú. n. „záporokkal“ kell megismerkednünk.

Wilson-kamra segítségével gyakran észlelték, hogy a kozmikus sugár pályanyoma, miután áthaladt pl. egy ólomlemezen, mintegy szétágazott több sugár pályanyomára. Ilyen ú. n. záporban több száz sugár pályanyomát is észlelték. A 11 *a)* ábrán egy ionizáló sugár a 11 *b)* ábrán egy nem ionizáló sugár váltja ki az ólomlemezben a záport; ezért az *a)* ábrán látjuk az ólom felett is a sugár nyomát, míg a *b)* ábrán nem. Felmerül a kérdés, mi történt az eredeti sugárrel, az esett szét több elemi részecskére, vagy az ólomból váltotta ki az új részeket? Ilyen jelenséggel, hogy egy beeső sugár hatására az anyagból sok újabb részecske indul ki egy pontból egyszerre, a fizika más területein még nem találkoztunk, tehát az első kérdésünk az, hogy vájjon a meglevő elmélet alapján lehet-e ilyen jelenséget magyarázni, vagy pedig a jelenség értelmezése új elmélet felállítását teszi szükségessé. Sugárzás és anyag kölcsönhatásaként ismeretes, hogy pl. ha egy elektronsugár, melyet mondjuk Röntgen-csőben állítunk elő, ráesik az antikatódra, onnan újfajta

sugarakat, a Röntgen-sugarat váltja ki; az ütközéskor az elektron lefékeződik, elveszti mozgási energiáját és ez az energia elektromágneses hullám, Röntgen-sugár alakjában távozik el; vagyis általánosítva mondhatjuk, hogy korpuzkuláris sugár anyaggal ütközve elektromágneses hullámot, fotont vált ki. Hasonlóan ismeretes radioaktív anyagok sugárzásának vizsgálataiból, hogy a nagy energiájú gammasugár, amikor valamely anyag atomjával ütközik, egy elektronpárt: elektront és pozitront termel, vagyis a foton ütközésekor egyidejűleg két korpuzkuláris sugár keltődik. Olyan folyamatot azonban, hol egyszerre kettőnél több részecske keltődne az ütközés kapcsán, nem ismerünk. Mégis mint *Bhabba* és *Heitler* kimutatták, az itt vázolt két folyamat: a korpuzkuláris sugár fotonkeltése és a foton sugár széthasadása elektronpárra elégséges a kozmikus sugárzás záporjelenségének értelmezéséhez. A 12-ik vázlatos ábra mutatja, hogy miképpen kell elgondolnunk a folyamatot: egy elektron ütközéskor kivált egy fotont, a foton ütközve az atommagba, pozitív és negatív elektront kelt; úgy a pozitron, mint az elektron tovább haladva ismét fotonokat bocsátanak, ezek a fotonok megint elektronpárokra hasadnak s. í. t.; egy bizonyos rétegvastagság áthaladása után tehát már az egy elektrontól 2, 4, 8... elektronsugár lett. Ha most az anyag, amiben a sugár halad, nagyon sűrű, a cm^1 -ben sok atom foglaltatik, úgy megnő annak a valószínűsége, hogy ütközik atommaggal és így az egyes lépések: a foton, illetve elektronpár kiváltása oly sűrű roszkopikusán úgy vesszük észre, mintha valóban egyetlen pontban keltődött volna valamennyi sugár. Ezzel megkaptuk mindjárt annak a magyarázatát is, hogy miért épp a Wilson-kamrába helyezett ólomlemezről látunk leggyakrabban záporokat kiindulni, mert az ólom egy cm^1 -ében 600-szor több atom van, mint pl. a levegő cm^1 -ében. Még arra a kérdésre is meg kell felelnünk, hogy miért nem észleljük ugyanezen jelenséget pl. a radioaktív sugarak esetében is. A választ abban találjuk, hogy a kozmikus sugár elektronjának energiája tíz-száz-ezerszer nagyobb, mint egyelektroné. Míg tehát egy $\frac{1}{3}$ -sugár az ütközés és foton-kibocsátás közben teljese-



12. ábra.

követik egymást, hogy mi mak-

követik egymást, hogy mi mak-
 pontban keltődött
 egyetlen sugár. Ezzel megkaptuk mindjárt annak a magyarázatát is, hogy miért épp a Wilson-kamrába helyezett ólomlemezről látunk leggyakrabban záporokat kiindulni, mert az ólom egy cm^1 -ében 600-szor több atom van, mint pl. a levegő cm^1 -ében. Még arra a kérdésre is meg kell felelnünk, hogy miért nem észleljük ugyanezen jelenséget pl. a radioaktív sugarak esetében is. A választ abban találjuk, hogy a kozmikus sugár elektronjának energiája tíz-száz-ezerszer nagyobb, mint egyelektroné. Míg tehát egy $\frac{1}{3}$ -sugár az ütközés és foton-kibocsátás közben teljese-

megsemmisül, sőt a kiváltott foton is csak oly kevés energiát nyer, hogy mielőtt alkalma lenne újabb atommaggal összetalálkozni, máris elveszti energiáját, addig a kozmikus elektron és foton nagy energiájánál fogva az ütközés után is tovább halad és a kiváltott résznek is nagy energiát tud átadni.

Kitűnt azonban, hogy az itt vázolt sokszorozódási folyamat nem mindenfajta zápor értelmezéséhez elégséges. Megismertünk ezeken a záporokon kívül úgynevezett robbanási záporokat is, hol valóban mintegy robbanást okoz a kozmikus sugár az eltalált atommagban, csakúgy, mint egy srapel, mely a betonfedezékbe ütközik és a betonból számtalan repeszdarabot szór szét minden irányban; így a robbanási záporban is mindenféle sugárfajták löveltetnek ki. A 13. ábra mutat egy ilyen robbanási záport, az egy pontból minden irányban kiinduló vastag vonalak protonok, vagy még nehezebb részek nyomai.

Ezek után visszatérhetünk azon kérdésünkre, hogy vajjon a kozmikus sugarak csak pozitronok és elektronok, esetleg protonok, vagy pedig találunk bennük eddig ismeretlen új részecskéket is. Bizonyos tapasztalatok már 1934-ben arra utaltak, hogy a kozmikus sugárzásban szereplő részecskék egy része súlyosabb, mint az elektron, de könnyebb, mint a proton, de csak 1937-ben sikerült *Anderson* és *Neddermeyernek* ezeket a nehéz elektronokat, vagy mint ahogy ma nevezni szokás, *mezonokat* Wilson-kamra segítségével valóban kimutatni, és megmérni, hogy e részek kb. 150—200-szor nehezebbek, mint az elektronok. Ilyen nehéz részek létezésére *Yukawa* már megelőzőleg, tisztán elméleti megfontolások alapján is eljutott, mert az atommagok közt működő erők helyes értelmezésében ilyen részek fontos szerepet játszanak. Kérdés azonban, hogy a *Yukawa* által feltételezett részek azonosak-e a kozmikus sugarakban észlelt mezonokkal? A kétféle részecske tömege mindenesetre egyforma nagyságúnak adódott, de ezen túl is egy nevezetes pontban találhattunk megegyezést. A *Yukawa*-részek ugyanis eltérően az eddig ismert elemi részecskéktől, az elmélet szerint nem stabilisak, hanem egy bizonyos idő, egy milliomod másodperc eltelte után, minden külső beavatkozás nélkül szétesnek elektronra és neutrínóra. Viselkedésük, tehát hasonló a radioaktív elemek atomjának viselkedéséhez, melyek szintén spontán bocsátják ki az α , β , γ sugarakat, azaz külső hatás nélkül bomlanak el. Vajjon a mezonok esetében is észlelhető-e ezen szétesés? Bár Wilson-kamrában mezonból keletkező elektront csak nemrég sikerült észlelni, a kétféle rész: a mezon és *Yukawa*-rész azonosságát mégis

már hamarabb is meg lehet állapítani, ugyanis számos, a kozmikus sugárzás kapcsán észlelt jelenség kielégítő magyarázatát csak éppen azáltal lehetett megtalálni, hogy ha feltesszük, hogy a kozmikus sugárzásban instabil részek haladnak, melyek egy bizonyos, energiájuktól függő hosszúságú út megtétele után szétesnek és a széteséskor újabb ionizáló rész keletkezik, sőt ezen jelenségekből kiszámítható a mezonok élettartama és ez ugyanolyan nagyságrendűnek adódott, mint a Yukawa-rész elméletileg meghatározott élettartama.

A mezon bomlásakor úgy mondtuk, hogy az elektronra és neutrínóra esik szét. A neutrínó mondhatnánk a kísértet szerepét játssza a sugár-részecskék közt, ugyanis ténylegesen észlelni jelenlétét semmiképpen sem lehet, mert sem tömege, sem töltése nem lévén, közvetlenül nem árulja el magát. Neutrínókra először a Λ -bomlás magyarázata kapcsán *Pauli* következtetett, mert szükséges volt feltenni, hogy a bomló radioaktív atommag az elektronon, γ -sugáron kívül még egy részecskét bocsát ki, melynek azonban sem tömege, sem töltése nem lehet. A kozmikus sugárzás kapcsán, különösen *Barnóthy* és *Forró* nagy mélységekben végzett vizsgálatai látszanak arra utalni, hogy a legnagyobb mélységekbe csupán ezek a neutrínók tudnak áthatolni és a föld belsejében észlelhető kozmikus sugárzás a neutrínók által termelt záporokból áll. Valószínű, hogy ezek a neutrínók azok, melyek a mezonok bomlásakor keletkeznek.

Mindezek alapján a kozmikus sugárzás természetére a következő kép alakult ki: a légkör határára elektronok, pozitronok és fotonok esnek be, ezek ott záporok segítségével rohamosan megsokszorozódnak, de a közönséges záporokon kívül mezonokat is termelnek. A légkörön a kozmikus sugárzás mezonok alakjában halad át. A mezonok útjuk közben már részben szétesnek és szétesésükkor elektronok keletkeznek, melyek mindenhol ismét záporokat létesítenek. A széteséskor keletkező semleges, töltés nélküli rész, a neutrínó behatol mélyen a föld belsejébe is és ugyancsak záporok segítségével létesít ott is mérhető sugárzási erősséget. Lehetséges, hogy ezeken kívül léteznek oly nagy energiájú protonok is a világűrbeli jövő kozmikus sugárzásban, melyek közvetlenül képesek áthatolni a légkörön, sőt még vastag földrétegeken is.

A kozmikus sugárzás eredetének helyére nézve ezidőszert még csak sötétben való tapogatózásra vagyunk utalva. Nem észleltek még semmiféle olyan jelenséget, melynek segítségével meg lehetne mondani, hogy a sugárzás hol, miféle csillagtípusokban ered. Sőt a sugárzás erőssége éjjel-nappal

annyira állandó, nem látszik függeni attól, hogy miféle égtájból eredő sugarak érhetik el a mérőkészüléket, így kevés kilátás van arra, hogy a sugárzás forrását hamarosan sikerüljön megtalálni.

Hasonlóan a kozmikus sugarak keletkezésére nézve sem tudunk semmit. Azok a folyamatok, melyeket pl. a radioaktív bomlás analógiájára tudnánk elképzelni, nem szállítanak elegendő energiát, hogy belőlük kozmikus sugár keletkezhetne.

Mindazonáltal, hogy sok kérdésben nem jutottunk sokkal előbbre, mint voltunk a sugárzás felismerésekor, mégis megállapíthatjuk, hogy az a 30 év, ami *Hess* első felfedező felszállása óta eltelt, oly sok tekintetben gazdagította az anyag szerkezetére vonatkozó tudásunkat — hogy másra ne, mint csak a pozitron és mezon felfedezésére utaljak —, hogy nyugodt lélekkel állíthatjuk, hogy az elért eredmények megérték azt a nagy fáradságot, kitaratást, az expedíciók kényelmetlenségét és veszélyét, amivel a kozmikus sugárzás kutatása jár.