

KÉSEI MEGEMLÉKEZÉS SOMOGYI ANTALRÓL

Uray László
Budapest

Hajdani professzorom és szakdolgozatom témavezetője, *Somogyi Antal* életének kilencvenedik évében, 2010 októberében hunyt el, de haláláról csak később, a *Fizikai Szemléből* értesültem, ahol három munkatársa (*Erdős Géza, Kecskeméty Károly és Király Péter*) számolt be munkásságáról [1]. Már ekkor felmerült bennem a gondolat, hogy nekem is kellene írnom a hozzá kapcsolódó emlékeimről.

Én magam korán elkerültem a KFKI-ból, a kozmikus sugárzás fizikájától távol eső területen dolgoztam (fémfizika, különös tekintettel a volfrámra). Úgy érzem, hogy a *Fizikai Szemle* olvasói számára tanulságos lehet, ha felidézem emlékeimet a KFKI-ban az 1960-as évek elején végzett kozmikus sugárzási kutatásokról. Az elemi részecskék gyorsítós vizsgálata legtöbb országban ekkor még gyermekcipőben járt, és a nagyenergiájú fizika kutatói gyakran a kozmikus sugárzást használták olcsó, bár eléggé kis intenzitású forrásként. Azóta sokszorosára nőtt a gyorsítókkal elérhető energia, de még mindig nagyságrendekkel elmarad a Földünk légkörébe érkező kozmikus sugárzási részecskék legnagyobb energiájától.

Így kerültem kapcsolatba a kozmikus sugárzási kutatásokkal

Egyetemi tanulmányaimat az ELTE Természettudományi Kara Fizikus Szakán végeztem 1956–61 között. Szakdolgozatom témájaként a kozmikus sugárzást választottam, talán mert ez a téma érdekesnek látszott a modern magfizika szempontjából, és mert a téma ismerős volt *Jánossy Lajos A kozmikus sugárzás* című népszerű könyvéből [2], amit már középiskolásként olvastam. A kozmikus sugárzás témaválasztással ke-

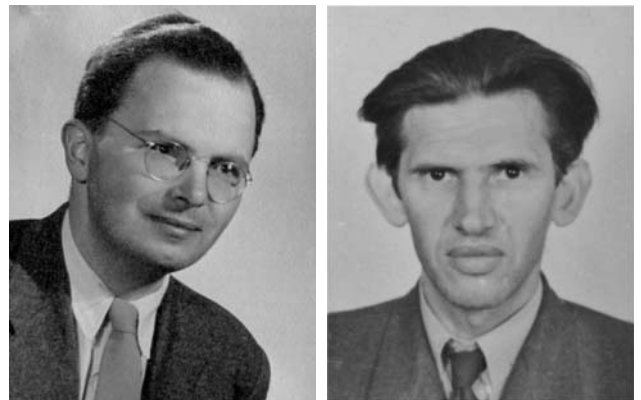
Köszönetet mondok Király Péternek, aki eredeti kéziratomat átnézte, javította és a kozmikus sugárzási kutatások újabb fejleményeivel kibővítette, valamint Kecskeméty Károlynak a hasznos konzultációkért.

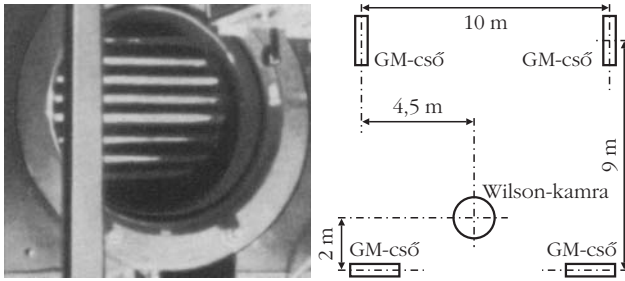
rültem Jánossy professzor tanszékére, ahol a szakdolgozatomat Somogyi Antal (*1. ábra*) irányítása alatt készítettem el.

Jánossy Lajos, aki a kozmikus sugárzás tanulmányozásában és kutatásában nemzetközileg elismert hírnevet szerzett, a KFKI-ban a beérkező nagyenergiájú kozmikus sugarak vizsgálatára egy koincidencia-berendezéssel működő soklemezű Wilson-féle ködkamrát építtetett [3].

Az már akkoriban is ismert volt, hogy a Föld légkörébe elég nagy energiával érkező protonok vagy más atommagok a felső légkörben töltött vagy semleges π - és K-mezonokat (pionokat és kaonokat) és más elemi részecskéket hoznak létre, majd a semleges pionok két gamma-fotonra bomlanak, míg a töltött pionok részben további kölcsönhatásokban újabb pionokat és egyéb erősen kölcsönható részecskéket keltenek, részben nagy áthatoló képességű müonokká bomlanak. A semleges pionok a légkörben elektronokból és gamma-sugarakból álló elektromágneses kaszkádokat keltenek. Ha a légkörbe belépő részecske energiája elég nagy, akkor a kiterjedt légitáporok egyes részecskéi a tengerszintig is eljut-

1. ábra. Somogyi Antal és Jánossy Lajos.





2. ábra. Balra a kozmikus sugárzás vizsgálatára szolgáló soklemez-es Wilson-kamra [9]. Jobbra a Wilson-kamrához épített 4 darab GM-csővel vezérelt koincidencia-berendezés [5].

nak, míg kisebb energiák esetén csak magas hegyeken figyelhetők meg. A kozmikus sugárzási témakör kapcsolódott Jánossy Lajos *Valószínűségszámítás* című előadásához, amelyhez később gyakorlatokat vezettem. Szakdolgozati feladatom a koincidencia-berendezés által vezérelt soklemez Wilson-kamra segítségével készült felvételek (mintegy 14 ezer) átnevezése, kimérése és kiértékelése volt a maximum likelihood módszerrel (szokásos magyar elnevezése a legnagyobb valószínűség módszere). Maguk a ködkamrás felvételek nagyrészt az 50-es évek második felében készültek [3, 4].

Munkám során állandó megbeszélést folytathattam Somogyi Antallal, részletesen megvitatva az eredmények értelmezését. A vizsgálatok eredményeit az [5] és a [6] cikkekben írtuk meg, a kiértékelés és a számítás módját pedig [7]-ben részleteztük.

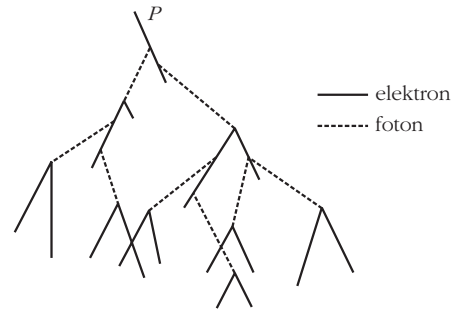
Mindezek alapján 1961-ben írtam meg *Kiterjedt légizáporok zenitszögeloszlása* című szakdolgozatomat [8].

A ködkamrafelvételek kiértékelése

A Wilson-kamra belseje a beépített 7 darab ólomlemezrel a 2. ábra bal oldalán látható, a hozzá épített 4 darab GM-csővel vezérelt koincidencia-berendezést pedig az ábra jobb oldala mutatja [5]. A Wilson-kamrát triggerelő koincidencia-berendezés biztosítja, hogy a Wilson-kamrában megjelenő részecskék valóban kiterjedt, vagyis elég nagy területen egyszerre lezúduló részecskézáporból származnak.

Feladatom a Wilson-kamrával készült felvételek kimérése és -értékelése volt a felső ólomlemez fölé érkező kozmikus sugárzási részecskék zenitszögeloszlása alapján. Ez a feladatom elsősorban Jánossy professzor statisztikai módszerének alkalmazását jelentette a Földünkre érkező nagyenergiájú kozmikus részecskék által keltett kiterjedt légizáporok kimérése és kiértékelésére. A beérkező részecskék a levegőben bonyolult folyamatokban vesznek részt, amelyek során elektron-foton kaszkádzáporok is létrejönnek. Ezek sémáját a 3. ábra mutatja.

Ha az elsődleges részecskék (általában protonok) nagy energiával érkeznek a légkörbe, azok az egyes atommagokon csak kissé szóródnak, így a keltett zápor iránya is alig változik. A következő képen (4.



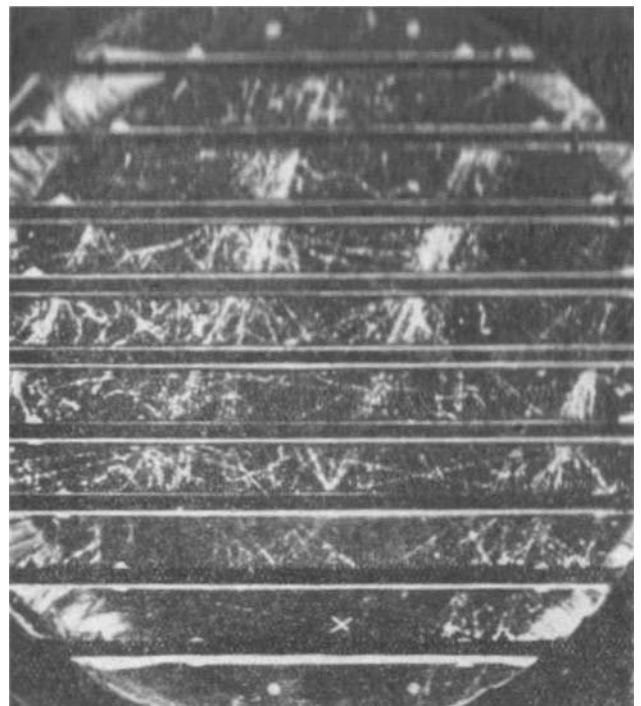
3. ábra. Az elektron-foton kaszkádzápor kifejlődésének vázlatos képe [2]. A kihúzott vonalak az elektronok, a szaggatott vonalak a fotonok nyomait jelzik. A rajzon a P primer elektron útközben fotonokat vált ki, a fotonok viszont egy-egy elektron-positron párt keltenek, és így tovább. A Wilson-féle ködkamrában csak az ionizáló elektronok és pozitronok nyomai láthatók, a fotonoké nem.

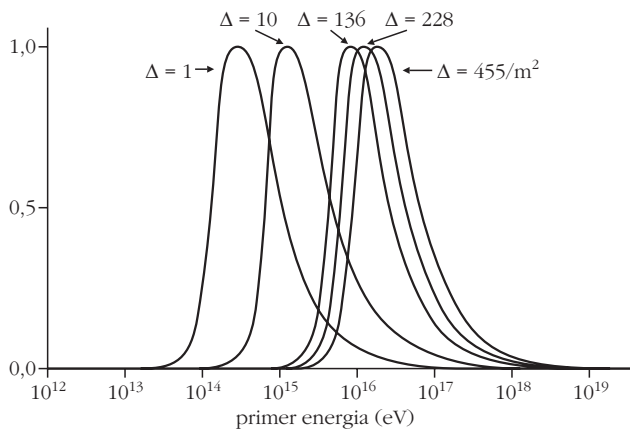
ábra) egy többszörös kaszkádzápor látható ([3]-ból véve), amely mutatja, hogy az elsődleges részecskéből kifejlődött részzáporok nagyjából megtartják az eredeti irányt.

A kiterjedt légizáporok a levegőben keletkező részecskék millióit tartalmazzák. Egy kaszkádfolyamatban szereplő több millió részecske kiváltásához a levegőben nagyságrendileg 10^{16} eV kezdeti energiára van szükség. Bár a légizáporok csak részben elektron-foton kaszkádzáporok, a más részecskék keltésére fordított energia a primer részecske energiájának becslésénél figyelembe vehető. Így egy kiterjedt légizáporban fellépő összes energia gyakran meghaladja a 10^{16} eV-ot, tehát a primer részecskének kívülről legalább ekkora energiával kellett a Föld légkörébe érkeznie.

Első közelítésben a záporban keletkező teljes N részecskeszám arányos a záport kiváltó részecske E_0

4. ábra. Egy többszörös kaszkádzápor képe [3]-ból átvéve.





5. ábra. Az E_0 primer energiák likelihood-függvényei néhány Δ részecskesűrűség mellett, függőlegesen beeső záporok esetén.

energiájával. Az adott szinten észlelhető részecskék száma viszont erősen változik aszerint, hogy milyen vastag légrétegen haladt át a zápor. Maximumát még a legnagyobb energiáknál és függőleges beesés esetén is a tengerszintnél magasabban éri el. A maximum szintje alatt a részecskeszám csökken, amit a primer energia becslésénél figyelembe kell venni. Az észlelési hely (KFKI) tengerszint feletti magasságánál és az általunk vizsgált záporoknál ez a csökkenés erős, közel exponenciális volt.

A zápor irányát (pontosabban, annak a Wilson-kamra ablaksíkjára való vetületét) vagy a nagyobb energiájú részecskék irányából, vagy a beérkező párhuzamos részecskék irányából becsülhetjük. *P. C. Bhattacharya* [5]-ben az első módszert alkalmazta, míg én szakdolgozatomban a másodikot, majd a közös cikkben a két módszer eredményét össze is hasonlítottuk. Az egyezés nem volt tökéletes. A záporok csillapodási (attenuációs) hosszára, amit a záporok gyakoriságának zenitszögfüggése alapján határoztunk meg, a második módszerrel mintegy 15%-kal kisebb érték adódott. Mivel a záporok szerkezetére vonatkozó akkori modellek ma már nagyon kezdetlegesnek tűnnek, az eltéréseken nem kell csodálkoznunk.

A Wilson-kamrába felülről belépő közel párhuzamos részecskék száma alapján megbecsülhetjük a zápor felületi részecskesűrűségét (Δ/m^2). A legfelső ólomlemez területe 220 cm^2 , ezért ha a legfelső ólomlemez fölött 3, 5, vagy 10 nyomot találunk, az felel meg az 5. ábrán $\Delta = 136, 228$, illetve $455 \text{ elektron}/m^2$ sűrűségnek. (A $\Delta = 1$ és a $\Delta = 10$ -hez tartozó görbék csak összehasonlításként szerepelnek.) Az ábra függőlegesen beeső záporok esetére mutatja az ezen záporokat kiváltó primer energiák likelihood-függvényét. Látható, hogy az adott részecskesűrűségek esetén a primer energiák körülbelül 10^{15} – 10^{19} eV között voltak.

Azonos mért részecskesűrűség mellett a ferdén, θ zenitszög alatt érkező záporok primer energiája nagyobb, mint a vertikális (zenit irányából jövő) záporok esetén. Ennek oka, hogy a ferde záporok $1/\cos\theta$ faktoriall vastagabb légrétegen haladtak át. A szögeloszlásból így a záporok csillapítási (attenuációs)

hossza megbecsülhető. Kis komplikációt jelent, hogy θ helyett csak annak a kamra ablaksíkjára való vetületét ismerjük, de ezt a nehézséget egy megfelelő transzformációval korrigálhatjuk. A zenitszögeloszlást $A\cos^n\theta$ alakúnak feltételezve, és a mérésekben kapott részecskék számát Poisson-eloszlásúnak tekintve, az eredményeket a maximum likelihood módszerrel értékeltük ki. Így az egyes záporoknál n -re és az A záporgyakoriság-paraméterre becslést kaptunk. A kiértékelés részletei megtalálhatók [5], [6] és [7]-ben.

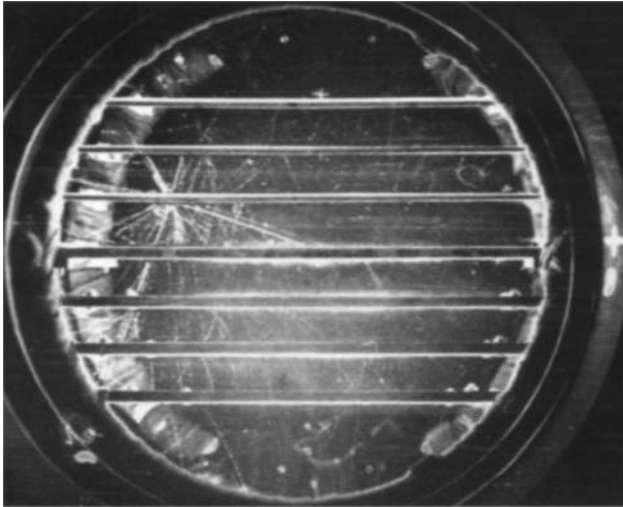
További megjegyzések

Somogyi Antallal történő megbeszéléseink jellemzésére kiemelek egy érdekességet. Számomra a kozmikus részecskék és a kozmikus légi záporok talán túlzottan is a reális valóságban léteztek, hiszen azok nyomait ott láttam a felvételeken, amit nekünk kellett megfigyelni és lemérni. Ha megbeszélés közben ilyeneket mondtam, akkor a professzor úr néha kijavított, hogy azok nem biztos, hogy a valóságban is úgy léteznek, hanem éppen azért mérünk és vizsgáljuk a felvételeket, hogy kutatásaink alapján ezek tulajdonságaira következtetéseket vonhassunk le és megállapításokat tehessünk róluk. Nekem ez ekkor kissé elvont elképzelésnek látszott.

Talán a kozmikus sugárzási témaválasztásom és a szakdolgozatom alapján szerzett gyakorlatom volt az oka, hogy Jánossy professzor megbízott, hogy a korai hatvanas években az előadásához kapcsolódó *Valószínűségi számítás* gyakorlatot vezessem a fizikus és a geofizikus hallgatók számára. Jánossy professzorral való ismeretségem – az előadásai látogatása mellett – főleg e gyakorlatvezetés során felmerült megbeszélésekkel volt kapcsolatos. Mind az előadásait hallgatva, mind ezen megbeszélések alapján úgy éreztem, hogy kiváló kutatót és jelentős fizikust ismertem meg benne.

A Wilson-kamra felvételek átnézése során több szép képet választottam ki, elsősorban azzal a céllal, hogy ezeket a szakdolgozatomba beilleszthessem. Ezek a felvételek – természetesen – elsősorban kozmikus légi záporokat mutatnak, de a szebb magfizikai eseményekre vonatkozó képeket is kiválasztottam. Ezeket a felvételeket Somogyi Antal örömmel vette, és azt mondta, hogy a későbbiekben még hasznos lehet nekünk. A képeket lemásoltatta, és a másolatokból az egyik sorozatot nekem adta. A mérések és azok kiértékelésének vázlatos leírása után e képekből is szeretnék néhányat bemutatni.

Az 1960-as évek közepén Somogyi Antal Angliában töltött néhány évet, ahol kiterjedt légi záporok kutatásában vett részt. Leeds közelében, a Haverah Parkban volt a világ akkori legnagyobb, mintegy 12 km^2 -re kiterjedő ilyen célú berendezése. Ottani tapasztalatai alapján úgy látta, hogy ezen a területen a nagy berendezéseké a jövő, és nem tudunk a nagy, gazdag állományokkal versenyezni. Ezért hazatérte után olyan témákra váltott, ahol csoportjával nemzetközi együtt-



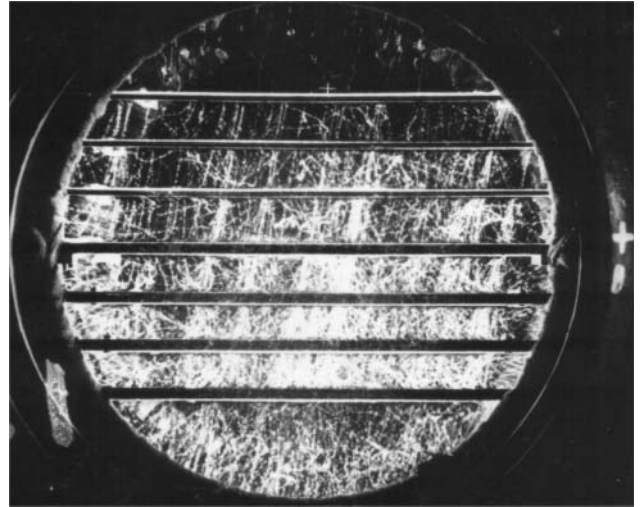
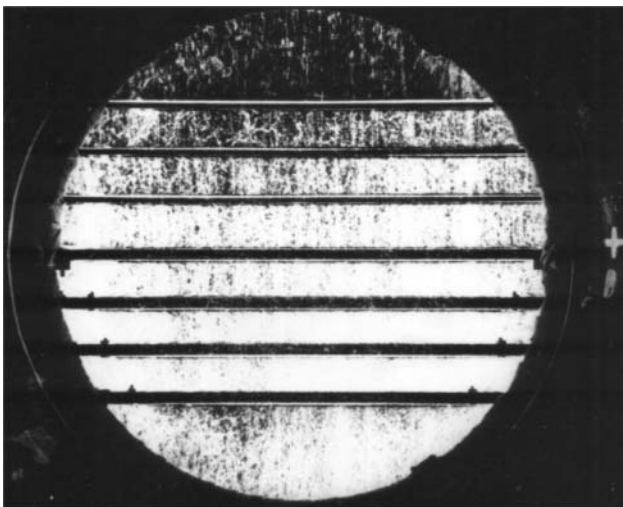
6. ábra. Jellegzetes magreakció képe, megtalálható az *Atommaglexikonban* [9], a XIX. képpoldalon.

működésben világszínvonalú kozmikus tárgyú kutatásokat tudott végezni.

Diplomám megszerzése (1961) után új munkahelyre kerültem (Újpest, MFKI), ahol *Millner Tivadar* irányítása alatt a Tungstam, majd a General Electric által gyártott volfrám fém és izzószál fizikai tulajdonságaival foglalkoztam. Az új témaválasztásomhoz az is hozzájárult, hogy a KFKI-ban a Matematikai Főosztályra kerülve úgy láttam, hogy a valószínűségszámítás megfelelő szintű műveléséhez matematikussá kellett volna képeznem magam, és én ekkor már több kedvet éreztem a fémfizika és az anyag tulajdonságainak vizsgálatához, ahol a kutatás tárgyát jobban rögzítve éreztem a „látható” anyaghoz, vagyis a volfrám fémhez.

Új témaválasztásom ellenére sem szűnt meg érdeklődésem a kozmikus sugárzás iránt, legalább az ismeretterjesztés szintjén nem. Így a *Fizikai Szemléből* értesültem Somogyi Antal haláláról. Ugyanekkor meglepve láttam, hogy az egykor általam kiválasztott, atommag-reakciót mutató képet az *Atommaglexikon* [9] is átvette (6. ábra).

8. ábra. Rendkívül sűrű, vertikális zápor, az alsó részeken gyakorlatilag lehetetlen megszámolni a részecskéket.



7. ábra. Sok, ferdén, párhuzamosan haladó részecskét tartalmazó zápor.

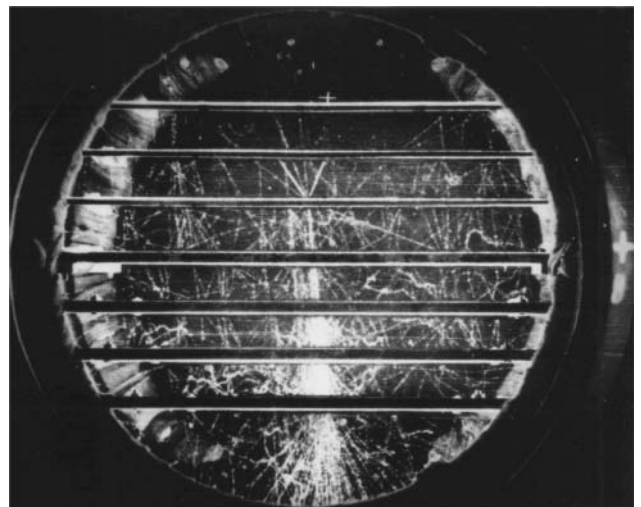
Néhány érdekes Wilson-kamra felvétel

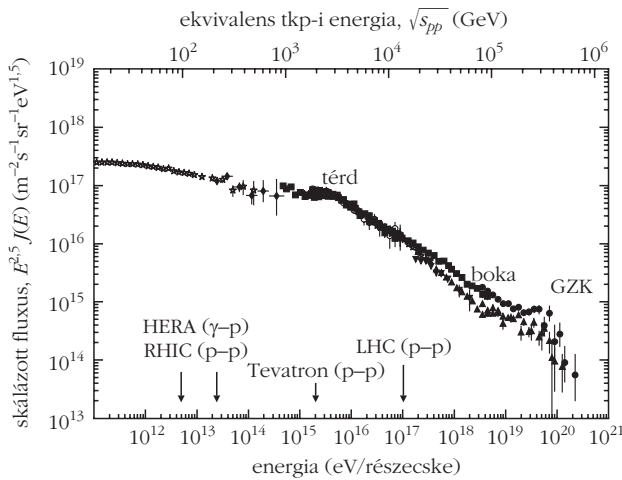
A KFKI-ban működő expanziós Wilson-kamrához eredetileg erős mágneses tér létrehozására alkalmas berendezést is terveztek, ez azonban sohasem készült el. Így a kamrában látható nyomok a szomszédos ólomlemezek között egyenesek, és nem teszik lehetővé a különböző töltésű és tömegű részecskék egyszerű azonosítását. Ízelítőként néhány jellegzetes képet mutatok be (7., 8. és 9. ábrák), részletesebb elemzés nélkül.

Miért érdekes ma is a kozmikus sugárzás, és mit várunk kutatásától?

A levegőt zárt edényben is ionizáló, nagy áthatoló képességű sugárzást a 20. század elején több kutató is megfigyelte. Annak felfedezését, hogy ez a sugár-

9. ábra. A kép itt is egy érdekes magreakcióval kezdődik, mint a 6. ábrán, azonban az egyik nagy energiájú részecske arra is képes, hogy további ólomlemezekben komoly kaszkádzáport keltsen.





10. ábra. A primer kozmikus részecskék spektruma az egyes részecskék energiájának függvényében. A jobb felismerhetőség kedvéért a görbe jellegzetes pontjait vagy görbületeit szokás „térd”, „boka”, illetve GZK-levágás néven emlegetni [12].

zás légkörünkön kívülről származik, főleg Victor Franz Hess 1912-es ballonkísérleteinek tulajdonítják, aki ezért 1936-ban megkapta a fizikai Nobel-díjat [10, 11]. A felfedezés jelentőségét mutatja, hogy az 1930-as évektől az 1950-es évek közepéig felismert elemi részecskék túlnyomó többsége a kozmikus sugárzás tanulmányozásának köszönheti megtalálását. Ebben az időszakban Jánossy Lajos és munkatársai is jelentős eredményeket értek el a kozmikus sugárzás vizsgálatá terén.

Az 1950-es évektől a kozmikus sugárzás kutatása több, egyaránt fontos irányban folytatódott. A nagy energiájú kölcsönhatások további vizsgálata mellett megjelent az űrkutatás, ami egyrészt a Föld és a Nap környezetében (a magnetoszférában, a Napon és a helioszférában) felgyorsult, különböző energiájú részecskék vizsgálatával, másrészt a galaktikus eredetű, de viszonylag kis energiájú kozmikus sugárzás összetételének és időbeli változásainak tanulmányozásáért is foglalkozik. Emellett egyre nagyobb fontosságot nyert a kozmikus eredetű gamma-sugárzás vizsgálata, amelynek azért nagy a jelentősége, mert a gamma-sugarak – a töltött részecskéktől eltérően – egyenes irányban terjednek, így forrásuk azonosítható, és hírt adnak a forrásban végbemenő részecskegyorsítási folyamatokról is. Egyre nagyobb jelentőséget nyer a neutrínók megfigyelése, amihez a Déli-sark alatti jégben köbkilométeres detektorrendszert alakítottak ki. Hatalmas föld alatti detektorrendszereket építettek ki a nagy energiájú müonok és neutrínók tanulmányozására, valamint egzotikus, ma még ismeretlen új elemi részecskék keresésére is. A magas légkörbe felbocsátott ballonokon és a Nemzetközi Űrállomáson is tanulmányozzák a kozmikus eredetű antirészecskéket.

A részecskefizikai kutatásokat az 1950-es évektől a részecskegyorsítók kifejlesztése és alkalmazása uralja, de a gyorsítókkal elért körülbelül 10^{10} eV-tól néhány-szor 10^{12} eV-ig terjedő részecskeenergiákhoz képest a kozmikus záporokat létrehozó részecskék energiája

továbbra is sokkal nagyobb. Emlékeztetünk arra, hogy a több, mint 50 éve végzett Wilson-kamrás vizsgálataink szerint a mért elektronsűrűségek a Föld légkörébe érkező 10^{16} – 10^{19} eV energiájú protonoktól származhattak. Fontos azonban megjegyezni, hogy a CERN-ben előállított részecskenyalábok intenzitása sok nagyságrenddel nagyobb, mint a kozmikus sugárzásé. Emellett a protonok szembeütköztetésével olyan nagy tömegközépponti ütközési energiát lehet elérni, ami már összevethető azzal, mint amikor a nagy energiájú kozmikus sugárzási részecskék a légkörbe csapódnak.

A Kövesi-Domokos Zsuzsa cikkéből [12] átvett 10. ábra a kozmikus sugárzás spektruma mellett a legfontosabb ütközőnyalábos gyorsítók ekvivalens energiáit is mutatja (például a vízszintes tengelyen a Tevatron vagy az LHC esetét).

A 10. ábra szerint a fluxus 10^{15} eV körül, az úgynevezett „térd” után gyorsabban csökkenésbe megy át, majd 10^{18} eV körül a görbe újra ellaposodik a „boka” névvel. Az extrém energiájú kozmikus sugarak a boka feletti tartományban vannak. Ez a tartomány lehetőséget ad a részecskefizika eddig ismeretlen területének feltárására. Az extrém nagy energiák tartományában ugyanis új részecskefizikai jelenségek léphetnek fel, amelyek a közös Standard modellel nem magyarázhatók.

Külön említést érdemel a néhány-szor 10^{19} eV feletti, úgynevezett GZK-levágás a spektrumban. Azt, hogy a spektrum ilyen energiákon jóval meredekebbé válik, már az 1960-as években, közvetlenül az egész Univerzumot kitöltő mikrohullámú háttérsugárzás felfedezése után megjósolták. A jelenség oka az, hogy az ilyen nagy energiájú protonok már kemény gamma-sugárzásként érzékelik a mikrohullámú sugárzást, és azzal kölcsönhatva pionokat keltenek, ami erősen korlátozza azt a távolságot, ahonnan a protonok el tudnak érni hozzánk.

Mivel az extrém nagy energiájú részecskék gyakorisága rendkívül kicsi, ezek csak nagy területről összegyűjtve, speciális technikákkal vizsgálhatók. Szerencsére itt segítséget nyújtanak a kiterjedt légizapórok, amelyekben egyetlen, a légkörbe érkező részecske energiája a földfelszínen sok négyzetkilométeren részecskék milliárdjai között oszlik el. Ezek vizsgálatára sokáig a Japánban épített felszíni zápor-detektor, az AGASA (Akeno Giant Air Shower Array) szolgált, ahol a detektorok körülbelül 100 km^2 -nyi területen voltak szétterítve. Ennek segítségével azonban még nem tudtak bizonyítékot találni a GZK-levágásra.

Később Argentínában hozták létre azt a mintegy háromezer négyzetkilométert lefedő hatalmas detektorrendszert, amely már megbízhatóan mutatta a GZK-levágást. E rendszer – a felszínen elhelyezett detektorok mellett – olyan érzékelőket is tartalmaz, amelyek a felső légkörben a záporok hatására létrejövő fluoreszcens fényt is detektálják (persze csak éjszaka). A berendezés neve Pierre Auger Observatórium lett, a kiterjedt légizapórok francia felfedezőjének tiszteletére.

Irodalom

1. Erdős Géza, Kecskeméty Károly Király Péter: Somogyi Antal (1920–2010). *Fizikai Szemle* 60/12 (2010) 427.
2. Jánossy Lajos: *Kozmikus sugárzás*. Művelt Nép könyvkiadó, Budapest, 1954.
3. Kántor Károly, Zsdánszky Kálmán.: Automatikus üzemű Wilson-kamra kozmikus sugárzás vizsgálatára. *Magyar Fizikai Folyóirat* 6 (1958) 191–208.
4. Gémesy Tibor, Sándor Tamás, Somogyi Antal.: A kozmikus sugárzás kiterjedt légizáporainak vizsgálata Wilson-kamrával. *MTA KFKI Közl.* 8/1 (1960) 4–6.
5. P. C. Bhattacharya, T. Gémesy, T. Sándor, A. Somogyi, L. Uray: The attenuation length of extensive air showers in air. *Il Nuovo Cimento* 24 (1962) 290–300.
6. A. Somogyi, L. Uray: Determination of the absorption length from the angular distribution by means of the method of maximum likelihood. *Supplemento al Nuovo Cimento* 26 (1962) 358–363.
7. Somogyi Antal, Uray László: Exponenciális abszorpció paramétereinek meghatározása irányeloszlásból a legnagyobb valószínűség módszerével. *MTA KFKI Közl.* 10 (1962) 403–422.
8. Uray László: *Kiterjedt légizáporok zenitszögeloszlása*. Diplomamunka, ELTE, Budapest, 1961.
9. Jánossy Lajos (főszerkesztő): *Atommaglexikon*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.
10. Somogyi Antal: A kozmikus sugárzás felfedezésének 50. évfordulójára. *Fizikai Szemle* 12/5 (1962) 133.
11. Király Péter: Jánossy Lajos és a 100 éve felfedezett kozmikus sugárzás. *Fizikai Szemle* 62/12 (2012) 400–406.
12. Kövesi-Domokos Zsuzsa: Kozmikus sugárzás extrém energiákon, I. és II. rész. *Fizikai Szemle* 62 (2012) 234–239., valamint 298–300.