

TUDOMÁNYOS ELŐRELÁTÁS A SZUBNUKLEÁRIS FIZIKÁBAN

Mikor a *tudományos előrelátás* (predikció) manapság annyira széles körű és aktuális problémakörét tárgyaljuk, jellegzetes példaként a Neptunusz bolygó helyzetének Leverrier és Adams nevéhez fűződő előrelátását említjük. Mint ismeretes, ez a híres predikció annak idején, 1846-ban óriási tudományos szenzációnak számított, és jogosan tekintették a klasszikus newtoni fizikán alapuló égi mechanika ragyogó bizonyítékának.

E felfedezés nem kerülte el a marxizmus megalapítóinak figyelmét sem. Engels a Kopernikusz tanítására mint elvi alapra támaszkodó égi mechanika diadalát méltatva, a következőket írja a Neptunusz bolygó „tollhegyel“ való felfedezéséről: „Kopernikusz naprendszere háromszáz éven keresztül feltevés volt, oly feltevés, amelynek igaz voltára százszoros, ezerszeres pénzt lehetett tenni, de mégis csak feltevés. De amikor Leverrier azokból az adatokból, melyeket ez a rendszer nyújtott, nemcsak azt számította ki, hogy szükségképpen lennie kell egy ismeretlen bolygónak, hanem még azt a helyet is kiszámította, ahol ennek a bolygónak az égbolton állnia kell, és amikor Galle ezt a bolygót valóban meg is találta, ekkor Kopernikusz rendszere bebizonyosult.“

Ha csak futó pillantást vetünk a fizika modern, huszadik századi fejlődésére, olyan jelentős tudományos predikciók eseteivel találkozunk, amelyek fontosságukban és a fizika további fejlődésére gyakorolt hatásukban sokkal jellegzetesebbek, jelentőség szempontjából felülmúlják a Neptunusz bolygó felfedezését. Közelebbről az atommagfizikáról és az elemi részek fizikájáról (a szubnukleáris fizikáról) van szó, amelyeknek fejlődésében a tudományos előrelátás számos olyan „fegyvertényét“ figyelhetjük meg, amelyek lényegesen befolyásolták a tudományág előrehaladását, és teljesen új, ma már önálló irányzatokat alakítottak ki. Ilyen értelemben említjük meg a pozitronnak mint az első antirészecskének, a neutrino részecskének, a gyenge kölcsönhatásoknál a paritás meg nem maradásának az előrelátását, a kvarkok és a szuperfénysebességű (a félynél gyorsabb) tachyonok feltételezését stb. Az alábbiak során osztályozni próbáljuk az elemi részek fizikájában szerepet játszott predikciók típusait keletkezésük körülményei és leglényegesebb tulajdonságaik szerint. E besorolás természetesen nem a predikciók eseteinek általános osztályozását akarja jelenteni, és csak a szubnukleáris fizikára vonatkozik — azonban egy részletesebb, gnoszeológiai szempontból végzett tanulmányozás esetleg lehetővé tenné kiterjesztését más tudományágakra is. Osztályozási kísérletünkkel a tudományos predikciónak, ennek a természettudományokban és a filozófiában egyaránt sokat vitatott fogalomnak mélyebb megértéséhez szeretnénk hozzájárulni.

*

Hogy az említett predikciók osztályozását elvégezhessük, vizsgáljuk meg röviden és csupán néhány jellegzetes példára szorítkozva a konkrét történelmi és másfajta körülményeket, amelyek közepette keletkeztek.

1. Kezdjük a legismertebbel, a *pozitron* esetével. 1928—30 között P.A.M. Dirac angol fizikus megalkotta az elektron relativisztikus kvantumelméletét, mely abban az esetben érvényes, ha az elektron a fényt megközelítő sebességgel mozog. Spinoriális hullámegyenlete (az ún. Dirac-egyenlet) ma a relativisztikus kvantummechanika alapegyenlete. A Dirac-egyenletből egyenesen következik, hogy léteznie kell egy olyan részecskének is, amelynek nyugalmi tömege megegyezik az elektronnal, de elektromos töltése ellenkező előjelű, tehát pozitív. Ezt a részecskét, amely az *elektron antirészecskéje*, keresztelte el Dirac *pozitron*-nak. Diracnak ez a meglepő jóslata az antirészecske létezéséről lényegében az elektron spinoriális hullámegyenletének relativisztikus és kvantumtulajdonságaiból következik — egy olyan elméletből tehát, amelyet nem azzal a céllal dolgoztak ki, hogy a pozitron létezését bizonyítsa, hanem kvantum- és relativisztikus jelenségek leírására. 1932-ben egy amerikai fizikus, C.D. Anderson a kozmikus sugárzásban felfedezte éppen azt a részecskét, amelyet Dirac megjósolt. E felfedezést nemcsak az a tette nagy jelentőségűvé, hogy igazolta Dirac elméletét, hanem az is, hogy *kísérletileg sikerült kimutatni az első antirészecskét*. Ha ezt az esetet összehasonlítjuk Leverrier és Adams predikciójával, megfigyelhetjük, hogy ők ugyan tényleg egy új bolygót fedeztek fel, de ez nem különbözött lényegesen az addig ismertektől. Az antirészecskék gondolata viszont annyira új, annyira meglepő volt, hogy 1930-ban még maga Dirac is hajlott arra, hogy pontatlannak tekintse egyenletét.

A Neptunusz fölfedezése a klasszikus mechanika igazolása volt. A pozitron kimutatása több, mint a Dirac-elmélet helyességének ellenőrzése; e felfedezés új utat nyitott az atommagfizikában és az elemi részek fizikájában. Nyomában egy ma már majdnem önálló tudományág, az *antirészecskék, az antianyag fizikája* kezd körvonalazódni¹, amely talán mind méreteiben, mind fontosságában túlhaladja az elméletet, amely életet adott neki.

2. Ugyancsak jelentős tudományos előrelátásnak számít a *neutrino* felfedezése. A neutrínót 1930-ban „vezette be” a fizikába Wolfgang Pauli, hogy szabadjon a béta-bomlásnál észlelt energia, impulzus és impulzusnyomaték meg nem maradásával kapcsolatos gondoktól. Ez a predikció nemcsak megoldotta a folytonos béta-spektrum „nagy kérdéseit”, de egy új tudományágot is alapított: a *neutrínofizikát és a gyenge kölcsönhatások elméletét*, amelyek szerepe egyre fontosabb az asztrofizikában és a modern relativisztikus kozmológiában. Ma már tudjuk, hogy a neutrino elektromos töltés nélküli részecske, nyugalmi tömege nagyon kicsi (a kétkomponensű neutrino-elmélet szerint zérus), csak gyenge kölcsönhatásokban vesz részt, s ezért joggal tekinthetjük ezek fő képviselőjének. Mivel kölcsönhatása az anyaggal nagyon gyenge, létezését hús éven át csak indirekt kísérleti módszerekkel lehetett kimutatni. 1956-ban végül R. Davis, majd C. Cowan és F. Reines kísérletei ragyogó bizonyítékát adták Pauli hipotézisének: direkt módszerekkel detektálták a neutrínót, sőt antirészecskéjét, az antineutrínót is.

3. A neutrínofizika további fejlődéséhez tartozik T. D. Lee és C. N. Yang kínai fizikusok feltételezése a *gyenge kölcsönhatások bal-jobb aszimmetriájáról* (paritástartó voltáról), melynek első kísérleti igazolása C. S. Wu nevéhez fűződik.²

Lee és Yang prevíziója, majd az ezzel kapcsolatos elméleti és kísérleti kutatások sora valószínű forradalmat jelentett a fizikában, mivel az említett aszimmetria a természetben létező kölcsönhatások formáinak alapvető tulajdonságaival függ össze. Feltételezését az a tette szükségessé, hogy így lehetővé vált az 1955—56-os évek nagy problémája, az ún. „tau-téta rejtély” — vagyis a töltött K mezonok

két és három pionos bomlásánál észlelt ellentmondások — megoldása. A „tautéta rejtély“ megoldása után a szimmetriasértéssel kapcsolatban nem egy, még ma is megoldatlan kérdés vetődött fel (utalunk itt elsősorban a CP-sértés még nyitott problémáira³). Ennek következtében újra kellett értékelni jó néhány tételt a fizikai kölcsönhatások legfontosabb megmaradási törvényeire vonatkozóan.

4. A nukleáris erők elméletével kapcsolatban ugyancsak figyelemreméltó tudományos előrelátásról számolhatunk be, amely nagy hatással volt a magfizika és a szubnukleáris fizika fejlődésére. Hideki Yukawa, a Nobel-díjas japán fizikus 1934-ben egy új részecske létezését feltételezte⁴, amelynek nyugalmi tömege az elektron és a proton tömege között van. Ezek a ma *mezonok*nak nevezett részecskék csere útján közvetítik a nukleonok között az erős kölcsönhatást, és segítségükkel magyarázhatjuk meg a magerők tulajdonságait — nevezetesen azt, hogy intenzitásuk kb. ezerszer nagyobb a coulomb-erőkénél, de hatósugaruk rövid: mindössze 10^{-3} cm körül van. Yukawa prevíziója egy új elméletet teremtett, a *nukleáris kölcsönhatások mezon-elméletét*. Az első mezon 1937-ben mutatták ki kísérletileg, ez azonban *nem* a Yukawa-féle részecske; azt csupán tíz év múlva fedezte fel a C. I. Powell vezetése alatt álló fizikuscsoport a kozmikus sugárzásban, s ma pi-mezonnak vagy pionnak nevezzük.

A pi-mezon tömege az elektron tömegének 270-szerese. A pionok kimutatása a kozmikus sugárzásban és későbbi mesterséges előállításuk a nagy részecskegyorsítókban igazolja az atommagerők mezon-elméletét, bebizonyítja a skaláris mezonok létezését. Az utóbbi tíz-tizenöt évben — különösen a vektor* és pszeudoskalár mezonok felfedezése óta — rohamosan elszaporodtak a különféle mezon-típusok. Mindezek az elemi részecskéknek elég széles skálájú csoportját alkotják, a *hadronok* vagy más néven a *rezonanciák* csoportját, melyeknek tulajdonságaival a szubnukleáris fizika egyik legújabb ága, a *hadronfizika* foglalkozik.

5. A rövid átlagos élettartammal (kb. 10^{-23} — 10^{-25} sec) rendelkező rezonanciák feltűnő sokasága feltétlenül osztályozási elméletek szükségességéhez vezetett. Annak ellenére, hogy e téren már vannak jelentős eredmények, sajnos mégis egyre késik az az egységes, mindent átfogó elmélet, amely megmagyarázná az elemi részecskék ma ismert spektrumát. Néhány figyelemreméltó részeredményről itt azért számolunk be, mert ezek fontos tudományos predikciókhoz kötődnek, és jelentősen befolyásolták a szubnukleáris fizika fejlődését az utóbbi tíz évben. Utalunk elsősorban a Lie-csoportok — pontosabban az SU(3) és SU(6) csoportok — elméletének felhasználására egy „*unitér szimmetria-modell*“ keretében. Az első ilyen próbálkozás M. Gell-Mann amerikai fizikus nevéhez fűződik, akivel egyidőben, de tőle függetlenül ugyanarra az eredményre jutott Y. Ne'eman izraeli fizikus mérnök.⁵ Az SU(3) csoport, vagyis a 3×3 matrixok speciális unitér csoportja segítségével egy rendszert szerkesztettek, az ún. *nyolcas utat* (eightfold-way). A tudományos világ eleinte fenntartással fogadta az új osztályozást, ami nem csoda, hiszen ebből az elméletből egy olyan új részecske létezése következik, amelynek tömege 3300 elektrontömeg. Ez a legnagyobb nyugalmi tömegű részecske lenne, és mivel az elmélet „jóslata“ szerint negatív elektromos töltésű, *omega minusz híperon* nevet kapott. Nagy gyakorlati nehézségek leküzdése árán egy fizikusokból, mérnökökből és elméleti szakemberekből álló kutatócsoportnak 1964-ben Brookhavenben (USA) végre sikerült kísérletileg is kimutatnia az omega minusz híperon létezését.

Ezzel a tudományos előrelátás újabb nagy sikerét könyvelhette el az elemi

* A vektor-mezonok (1-es spinnel rendelkező mezonok) hipotézisét és a vektoriális mezonter alapegyenletét a neves román elméleti fizikus, Alexandru Proca (1897—1955) vezette be, még 1936-ban.

részek fizikája, ami a kutatás továbbfejlesztéséhez vezetett: a Lie-csoportok elméletét egyre többen és egyre eredményesebben használták fel a hadronok osztályozásában. E téren külön említésre méltó egy másik próbálkozás: Gell-Mann és G. Zweig 1964-ben felállított ún. *kvarkmodellje*⁷. A modell hasonlít a japán S. Sakata „összetett modell“-jéhez, tehát csak három alapvető, valóban „elemi“ részecske létezését tételezi fel: ezek a *kvarkok*. Ezeknek különféle kombinációi alkotják az erősen kölcsönható elemi részek, a hadronok (mezonok és barionok) ma ismert gazdag világát. Az új elemi részek legfurcsább tulajdonsága a tört értékű elektromos és barion töltés, amit eddig még sohasem tapasztaltak a fizikában. A kvark-elmélet igen hasznosnak bizonyult a hadronok különböző tulajdonságainak megmagyarázására, ezért a fizikusok hallatlan lendülettel fogtak kísérleti bizonyításához — munkájuk azonban ez idő szerint még nem hozta meg a várt eredményt. Ha sikerül a tört értékű töltéssel rendelkező elemi részek létezését kimutatni, ez a tudománytörténet talán egyik legszenzációsabb és legizgalmasabb hipotézisét igazolja majd.

6. Utolsó példaként vegyünk ismét egy olyan feltételezést, amelyet — akár csak a kvarkokét — még nem sikerült kísérletileg igazolni. A *tachyonok* létezéséről van szó, az olyan részecskékéről, amelyek sebessége nagyobb, mint a fénysebesség légüres térben. A fizikusok több mint ötven év óta csaknem egyöntetűen állítják, hogy a természetben nem létezhet $3 \cdot 10^8$ m/sec értéknél nagyobb sebesség, ami a légüres térben haladó fény sebességét jelenti. A lehetséges sebességtértéknek ez a korlátozása egyenes következménye a speciális relativitáselméletnek, és maga Albert Einstein vezette be 1905-ben, a relativitásról szóló munkájában. Néhány évvel ezelőtt E.C.G. Sudarshan újra megvizsgálta Einstein erre vonatkozó állítását, és munkatársaival együtt kimutatta, hogy Einstein elmélete voltaképpen nem tiltja a fénysebességnél gyorsabb részecskék létezését, sőt amennyiben kiterjesztjük az *imaginárius nyugalmi tömegű részecskékre*, ez a feltételezés az elmélet egyenes következménye lesz⁸. Az így kiszélesített, szuperfénysebességű és imaginárius nyugalmi tömegű részecskékkal (tachyonokkal) foglalkozó elmélet elnevezése a „*metarelativitás*“; és ebben a speciális relativitáselmélet törvényei — lényegtelen módosításokkal — továbbra is érvényesek maradnak. Ma gazdag szakirodalom foglalkozik a tachyonok létezésével, és kísérleti tervek egész sora várja a megvalósítást, a hipotézis helyességét igazolandó.

Függetlenül a most folyó vagy a jövőre tervezett kísérleti eredményektől, ez a predikció izgalomban tartja a tudományos világot, kutatásokra ösztönöz és feltétlenül hozzájárul a fizikai jelenségek lényegének tisztázásához.

Miután megvizsgáltuk a modern szubnukleáris fizika jelentősebb tudományos predikcióit, próbáljuk meg ezeket különféle jellegzetes típusokhoz sorolni. Vegyük az osztályozás alapvető feltételül a predikciók keletkezésének módját és körülményeit, s természetesen leglényegesebb tulajdonságaikat. E módszerrel a következő fontosabb predikció-típusokat vezethetjük be:

- a. Nagy „rejtélyeket“, súlyos tudományos ellentmondásokat egy új részecske (vagy jelenség) bevezetésével megoldó predikciók csoportja;
- b. Hipotézisek, amelyeket egy eddig általánosnak hitt megmaradási törvény (vagy szimmetria-elv) tagadása tett szükségessé;
- c. Predikciók, amelyek általánosabb célból felállított elmélet melléktermékeként (vagy következményeként) születtek;
- d. Predikciók, amelyek alapelemét (alapvető tulajdonságát) képezik egy

egészen új, széles spektrumú, új jelenségek kategóriájára vonatkozó elméletnek (pl. az elemi részek egy újfajta kölcsönhatásának);

e. Predikciók, amelyek egy már ismert elmélet általánosításából, természetes kiszélesítéséből születtek — úgy, hogy az eredeti elmélet törvényei lényegükben ne változzanak.

Az előbb ismertetett példák közül az a. típushoz tartozik, többek között, Pauli feltételezése a neutrino létezéséről. Ebben az esetben csakugyan lényeges ellentmondást küszöböl ki a különös tulajdonságokkal rendelkező új részecske bevezetése. Ugyanide tartozik Cvijanovich, Jeannot és Sudarshan feltételezése a „spion“ („spinning pion“, vagyis spinnel rendelkező pion) létezésével kapcsolatban⁹, vagy L.B. Okun, M. Lévy és M. Nauenberg elmélete, amely egy vektor-bozon segítségével próbálja megoldani a semleges kaonok hosszúéletű komponensének két és három pionos bomlásával kapcsolatos problémát.¹⁰

A b. típusú prevíziók egyik legjellegzetesebb példája Lee és Yang elmélete a gyenge kölcsönhatások paritás-sértéséről, valamint T. D. Lee, J. Bernstein és G. Feinberg szenzációs feltételezése az elektromágneses kölcsönhatás töltésszimmetriásértésével kapcsolatban.¹¹ A meglepő ebben a prevízióban az, hogy ellentétben áll egy eddig általánosan hitt szimmetriatörvénnyel, nevezetesen az elektrodinamika töltésszimmetriájának (a pozitív és negatív töltések ekvivalenciájának) törvényével.

A c. típushoz sorolható esetekre — amint már mondtuk — jellemző, hogy más elméletek melléktermékeként jelentkeznek. Később aztán megtörténhetik, hogy jelentőségükben felülmúlják az eredeti elméletet, mely keletkezésüket előidézte (megjegyezni kívánjuk, hogy vannak esetek, amikor ez utóbbi megállapítás más típushoz tartozó prevízióknál is fennáll). Jellemző példa itt Diracnak a pozitronra vonatkozó prevíziója, amelyről fentebb beszéltünk. Ugyancsak ide tartozik az omega minusz hiperon hipotézise és a kvarkok elmélete: mindkettő tulajdonképpen az unitér-szimmetria elmélet következménye, amelynek célja a hadronok osztályozása volt. Vegyünk még egy utolsó példát a c. típusba tartozó prevíziók sorából, mely azonban csak részben tartozik az általunk tanulmányozott területhez. Egy olyan izotrop *elektromágneses alapsugárzás* létezésének előrejelzéséről van szó, amely betölti az egész világegyetemet, és $2,7\text{ K}^\circ$ hőmérsékletnek felel meg. Egy ilyen sugárzás tulajdonképpen a Gamow által kezdeményezett és az utóbbi időben jelentős mértékben kifejlesztett „*forró univerzum*“-nak vagy „*Big Bang*“-nak („nagy bum“) nevezett relativisztikus kozmológiai modell¹² egyenes következménye. Ezt a homogén és izotrop tulajdonságokkal rendelkező termikus alapsugárzást leelőször a Bell Intézet kutatói, A. Penzias és R.W. Wilson fedezték fel 1965-ben. Azóta a világ több más kutatóközpontjában sikerült igazolni eredményeiket. Az 1965-ben felfedezett kozmikus „*háttér*“-sugárzás olyan jellegű (homogén, izotrop stb.), hogy egyik jelenleg megfigyelhető kozmikus objektumtól sem származhat, és úgy kell felfognunk, mint amely a világegyetem egy korábbi forró állapotának maradványa, „*reliktum-sugárzás*“. Ennek a kozmikus maradványsugárzásnak a kimutatását, mely a „*forró univerzum*“ modell tulajdonképpeni kísérleti bizonyítéka, úgy emlegetik, mint az elmúlt évek legfontosabb fizikai felfedezését.

A d. típusú prevíziók jellegzetes példaként említhetjük a *mezon* tudományos előrelátását. Ez a nevezetes predikció, amely — mint láttuk — a magerők Yukawa-féle mezon-térelméletének alapvető gondolata, messzemenően bebizonyította hasznosságát az erős kölcsönhatások leírásában, s fontos szerepet játszik az egész hadronfizikában.

Az e. típus illusztris képviselője Sudarshan prevíziója a szuperfénysebességű részecskékről, a tachyonokról. A tachyonok hipotézise a metarelativitáshoz vezet, amely az imaginárius nyugalmi tömegű részecskék speciális relativitás-elmélete, ahol $E=mc^2$ (az Einstein-féle képlet tehát továbbra is érvényes).

Befejezésül még egyszer hangsúlyozzuk, hogy nem állt szándékunkban felállítani a tudományos predikciók általános osztályozását, sőt a választott tárgykör, az elemi részek fizikája összes lehető predikció-típusait sem merítettük ki. Mivel osztályozásunk alapját az említett tudományág legjellegzetesebb példái képezték, a fent említett típusok kijelölése a szubnukleáris fizikában előforduló tudományos predikciók klasszifikálására irányuló első kísérletnek tekinthető. Biztosak vagyunk abban, hogy ezzel a módszerrel tovább (esetleg általánosabb szinten) folytatva a kérdés tanulmányozását, benne megfelelő változtatásokat eszközözölve, kiterjeszthetjük más tudományágakra is, s ezzel fényt deríthetünk a tudományos megismerés folyamatában oly fontos szerepet játszó fogalom, a tudományos predikció sajátos mechanizmusára.

JEGYZETEK

- ¹ G. Amaldi, *Materia e antimateria*, Arnoldo Mondadori Editore, Roma; H. Alfvén, *World-Antiworld*, 1967, Berkeley, USA.
- ² T.D. Lee, C.N. Yang, *Phys. Rev.*, **104**, 254 (1956); C.S. Wu et al., *Phys. Rev.*, **105**, 1413 (1957); V.L. Telegdi et al., *Phys. Rev.*, **105**, 1681 (1957); H. Fraunfelder et al., *Phys. Rev.*, **106**, 386 (1957).
- ³ T. Toró, *Rev. Filozofie*, **16**, 335 (1969).
- ⁴ H. Yukawa, *Proc. Phys. Math. Soc. Japan*, **17**, 48 (1935).
- ⁵ M. Gell-Mann, *Phys. Rev.*, **125**, 1067 (1962); Y. Ne'eman, *Nucl. Phys.*, **26**, 222 (1961).
- ⁶ V.E. Barnes et al., *Phys. Rev. Lett.*, **12**, 204 (1964).
- ⁷ M. Gell-Mann, *Phys. Rev. Lett.*, **8**, 214 (1963); G. Zweig, CERN-Preprint Nr. 8419, Th. 412 (1964).
- ⁸ E.C.G. Sudarshan, *Am. J. Phys.*, **30**, 718 (1962).
- ⁹ C.B. Cvijanovich et al., *Phys. Rev. Lett.*, **14**, 117 (1965).
- ¹⁰ L.B. Okun, *U.F.N.*, **89**, 603 (1966); M. Lévy, M. Nauenberg, *Phys. Rev. Lett.*, **12**, 155 (1964).
- ¹¹ T.D. Lee et al., *Phys. Rev.*, **139 B**, 1650 (1965).
- ¹² G. Gamow, *Phys. Rev.*, **74**, 505 (1948); E. Harrison, *Phys. Today*, **21**, 31 (1968).