

Trócsányi Zoltán

Hasznos-e egy új részecske felfedezése?

„Az alapkutatás annál hasznosabb, minél inkább megfelel a gyakorlati hasznosításról” – írta lassan fél évszázada Szentgyörgyi Albert *Az őrült majom* című könyvében. A tudománytörténet mutatja, hogy az idő múlásával minden alapvető felfedezés alkalmazást nyer, és hozzájárul az élet minőségének javulásához. A lappangási időszak néhány évtől akár egy évszázadig is tarthat, de a történelem előrehaladásával rövidülni látszik. E gondolatokat egyre inkább elfelejtik a tudomány támogatói. Pályázatok és beszámolók állandó eleme a nyilatkozat a kutatási eredmények azonnali gyakorlati hasznosíthatóságáról még a felfedező kutatás esetén is. Vajon Szentgyörgyi tévedett, vagy esetleg az elmúlt 50 év alatt megváltozott e gondolat érvényessége?

A címben felvetett kérdés különösen időszerű. 2013. december 10-én adták át a 2013. évi fizikai Nobel-díjat két elméleti fizikusnak, a belga *Francois Englert*-nek és a brit *Peter W. Higgs*-nek, az indoklás szerint „*annak a jelenségnek elméleti előrejelzéséért, amely megmagyarázza az elemi részecskék tömegének eredetét, és amelynek érvényességét az elmúlt évben megerősítette a CERN¹ Nagy Hadrongyorsítójának ATLAS és CMS kísérletei által talált új részecske felfedezése*”. Vajon mit jelent ez az indoklás? Mit jelentenek az „elemi részecske” és „tömeg” fogalmak? Mindkettőről van hétköznapi elképzelésünk, de vajon egybeesnek-e azzal, amit a tudomány ért rajtuk? És vajon mi haszna egy olyan felfedezésnek, amelyet hétköznapi gondolkodásunkkal fel sem bírunk fogni? Jelen írásunkban ez utóbbi kérdésre keressük a választ.

Az első elemi részecskét *Joseph John Thomson* fedezte fel 1897-ben. A katódsugarak közel fél évszázados rejtélyét oldotta meg. A rejtély az volt, hogy miből áll a két fémlémezre kapcsolt elektromos feszültség hatására a katódból kilépő sugárzás. Thomson volt az, aki gondos méréseivel egyértelműen be tudta bizonyítani, hogy a katódsugár olyan részecskékből áll, amely részecskék azono-

1 A tanulmányban előforduló betűszavak a következő elnevezéseket rejtik: CERN = Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire. (A francia elnevezés angol megfelelője: European Council for Nuclear Research. A szervezet mai hivatalos elnevezése: European Organization for Nuclear Research.) ATLAS = A Toroidal LHC ApparatuS; CMS = Compact Muon Solenoid; LHC = Large Hadron Collider

sak, és meg tudta mérni a részecskék töltésének és tömegének hányadosát. Az elektron felfedezéséért 1906-ban kapott Nobel-díjat, nem érdemtelenül. Az elektron felfedezése *előbb rendkívül ösztönzően hatott a fizikai tudomány fejlődésére*, majd *némi késéssel rendkívüli gyakorlati alkalmazásokat nyert*. Hogy mást ne említsünk, a katódsugarak több mint ötven éven keresztül szolgálták embermilliók szórakozását a televíziók képcsöveiben.

Nyugodtan kijelenthetjük, *mai világunkban a kényelmet szolgáló eszközök túlnyomó többsége a világ legkisebb építőkövei működésének megértését célzó erőfeszítések „mellékterméke”*. A „legkisebb” jelentése korról korra változik, az észlelőberendezéseink felbontásától függ. Amíg a fényt használtuk a mikrovilág felderítésének eszközeként, a legkisebb közvetlenül látható szerkezet a mikrométeres tartományba esett. Ennél kisebb méretekről is lehetett ismereteket szerezni közvetett módon a spektroszkópia felhasználásával. Ehhez már szükség volt egy matematikai modellre is, amelynek segítségével kapcsolatot lehet teremteni a mért sugárzási spektrum, és például az atom szerkezete között. A korszakot jellemző legkisebb méretek az atomi méretek voltak.

A mikrovilág megismerésében áttörést jelentett az a felfedezés, hogy nem csak fényt, hanem részecskéket is lehet apró szerkezetek felderítéséhez használni. A közvetlen megfigyelésnek részecskére alapuló eszköze az elektronmikroszkóp, amellyel nanométeres tartományban lehet az anyag szerkezetét feltérképezni. Ennél kisebb méretek feloldásának eszköze a részecskegyorsító, amely ismét közvetett ismereteket szolgáltat. Használatához matematikai modellre van szükség, amelynek segítségével számszerű becslést lehet adni részecskeütközésszerű események különböző végállapotainak gyakoriságára. A modell jószágát a valódi kísérletekben létrejövő végállapotok megszámlálásával lehet ellenőrizni. A 20. század elején így sikerült Thomson tanítványának, *Ernest Rutherford*nak munkatársaival az atommag létezését kimutatni aranyfóliának hélium ionokkal történő bombázása során. Így született az atomról alkotott képünk: hihetetlenül kicsi, femtométeres nagyságú atommag körül elektronok keringenek a mag méretéhez képest akár óriási távolságra is: az atom százezerszer nagyobb magjánál (ha futballpálya méretűnek képzeljük az atomot, az atommag gombostűfejnyi a közepén).

Noha ma már tudjuk, hogy az atommag nem elemi részecske, száz évvel ezelőtt ez nem volt nyilvánvaló, így ismét feltehetjük a kérdést, volt-e gyakorlati haszna felfedezésének. Kevés ilyen különleges hatású felfedezés volt a történelemben, amely tulajdonképpen egy elképesztő véletlennek köszönhető. Korábban említettem, hogy a részecskeütközésszerű események értelmezéséhez matematikai modellre van szükség, amelynek mennyiségi jóslatait a mért szóródási képpel kell összevetni. Rutherford matematikai modellje Newton klasszikus mechanikáján alapult, amelyben középiskolai matematikai ismereteket felhasználva kiszámolhatjuk, hogy egy pontszerű, töltéssel rendelkező részecske hogyan fog szóródni egy szintén töltéssel rendelkező szórócentrumon. A jóslatok és a mérés-

sek összehasonlítása megerősítette a Rutherford-féle atommodellt. A történetben a bukfenc ott van, hogy ma már tudjuk, az elemi részek világát nem Newton klasszikus fizikája írja le helyesen, hanem a kvantummechanika, amelynek kialakulásában a Rutherford-féle atommodell perdöntő szerepet játszott. *Werner Heisenberg* ugyanis váltig azon törte a fejét, hogyan lehet, hogy a mag körül keringő elektron nem hullik a másodperc tört része alatt az atommagba. A kérdés megválaszolásához kifejlesztett kvantummechanikáért 1932-ben kapott Nobel-díjat. A kvantummechanika azonban nagyon más eredményeket szokott szolgáltatni, mint a klasszikus. Egyetlen kivétel Rutherford szórás kísérlete.

A kvantummechanika 1925-ös megszületése három éven belül elvezetett a pozitron létezésének jóslatához. A jóslatért *Paul A. M. Dirac* 1933-ban kapott Nobel-díjat, egy évvel az után, hogy *Carl D. Anderson*nak kísérletileg sikerült kimutatnia létezését. Anderson is Nobel-díjat kapott 1936-ban, nem véletlenül. Felfedezése az első antirészecske kísérleti megfigyelése volt, így mai részecskefizikai elméletünknek egyik alapköve. De jelentős gyakorlati haszna is volt. Gondoljunk például a pozitron emissziós tomográfiára (köznapi nevén PET-re), amely a pozitron felfedezése után mintegy 30 évvel jelent meg, és mára a gyógyászat egyik fontos, a belső elváltozásokat feltáró eszközévé vált. Szintén a gyógyászatban nyert gyakorlati alkalmazást a Rutherford tanítványa, *James Chadwick* által 1932-ben felfedezett neutron. A felfedezést 1935-ben értékelték Nobel-díjjal. A neutron segítségével radioaktív izotópokat állítanak elő gyógyászati célokra. A kvantummechanikából leszűrt tapasztalatok tették lehetővé a maghasadás felismerését is, ami pedig elvezetett az atombomba kifejlesztéséhez, és így a történelem menetének meghatározásához.

További, Rutherfordéhoz hasonló kísérletekkel sikerült rájönni, hogy az atommag is tovább bontható protonokra és neutronokra (összefoglaló néven barionokra), amiért *Robert Hofstadter* kapott Nobel-díjat 1961-ben. Ez ugyan nem jelentette új részecske felfedezését, azonban ismét hasonló kísérletben derült fény arra, hogy a proton és neutron sem elemi részecske, hanem kvarkokból épül fel. A proton két darab u és egy d , míg a neutron két d és egy u kvarkból áll. Az általunk ismert anyag felépítéséhez tehát három eleminek ismert részecske szükséges: u és d kvark, valamint elektron. A 20. század közepén azonban a kozmikus sugárzásban, majd később laboratóriumi kísérletekben jónéhány új, részben az ismert barionokra, részben az elektronokra hajazó részecskét fedeztek fel. Kiderült, hogy a barionokra hasonlító részecskék két nagy csoportba sorolhatók. Az egyikben három kvark kötött állapotai találhatók (ezek a barionok), a másik csoportban pedig egy kvark és antikvark kötött állapotai (ezek a mezonok). A barionok és mezonok tömege nagy például az elektronéhoz képest, ezért ezeket összefoglaló néven hadronoknak nevezik. Az elektronra hasonlító részek mind elemiek, és viszonylag könnyűek, összefoglaló nevük lepton.

A hadronok többsége bomlékony, keletkezésük után a másodperc töredéke alatt el is bomlanak. Az ilyen részecskék felhasználása a gyakorlatban nehézkes.

Fontos gyakorlati alkalmazásokat nyertek azonban a felfedezésükhöz kifejlesztett eszközök, a részecskegyorsítók és észlelőberendezések. Például lineáris gyorsítókat használnak kórházakban rákos sejtek sugárkezelése céljából. 2004-ben a világon mintegy 17500 gyorsítóberendezés működött, ezeknek több mint fele kórházakban diagnosztikai és terápiás célokkal. A másik nagy csoportot az iparban használt gyorsítók képezik. Kutatási céllal mindössze a berendezések 2%-át használják, igaz ezek között vannak a valamilyen jellemzőt tekintve legkiválóbb gyorsítók.

Az elemi részecskéket erők tartják össze, rendezik változatos kötött állapotokba. Az erőket mezők közvetítik. E mezők közül az elektromos és mágneses mezővel már sokan találkoztak. Hatásukra az elektromos töltéssel rendelkező részecskék lendülete megváltozik, tehát erővel hatnak rájuk. Minthogy a töltéssel rendelkező részecske önmaga is mező forrása, így a töltött részecskék mező közvetítésével hatnak egymásra. Az elektromágneses erőt közvetítő sugárzásról tudjuk, hogy önmaga is képes lendületet és energiát szállítani. Gondoljunk csak a nap sugárzására, amely bőrünket melegíti. Az ilyen tulajdonsággal rendelkező sugárzást nevezzük mezőnek.

Négyféle alapvető kölcsönhatást ismerünk a természetben: *tömegvonzás, elektromágneses, gyenge és erős kölcsönhatások*. Az első kettővel találkozunk a makroszkópikus világunkban is. A gyenge kölcsönhatás felelős az anyag radioaktív bomlásáért. Az erős kölcsönhatás csak a kvarkok között hat, és köti azokat hadronokba. A tömegvonzás a többi háromhoz képest elhanyagolhatóan kicsi, így az elemi részek világában nem játszik szerepet. Esetében az erőhöz köthető mezőt közvetlenül nem sikerült kimutatni. A másik három kölcsönhatás esetében a mező létezéséről annak elemi megnyilvánulásának észlelése segítségével győződhattünk meg. Egy mező elemi megnyilvánulása meghatározott energiát és lendületet szállító részecske, például a foton. Ugyanígy az elemi anyagrészecskék is anyagmezők elemi megnyilvánulásának tekinthetők. A matematikai modell, amelynek segítségével részecske-ütközések végállapotainak gyakorisága megbecsülhető, az anyag- és erőmezők kvantumelmélete. E mezők kitöltik a teret, elemi megnyilvánulásaik a részecskék.

A 20. század végére alakult ki a részecskefizikai Standard Modell (SM). A SM olyan mezők kvantumelmélete, amelyeknek részecskéit pontszerűnek képzeljük, mert az eddigi eszközeink feloldóképességének határán belül nem találunk semmilyen kisebb szerkezetre utaló nyomot. 2012-ig kétfajta elemi részecskét, anyagi részecskéket (építőköveket, például elektron) és a köztük fellépő kölcsönhatásokat közvetítő részecskéket (ragasztókat, például foton) ismertünk. Érdekes megfigyelés, hogy az építőkövek mindegyike fermion (perdülete $1/2$ a redukált Planck állandó egységében mérve), a ragasztók pedig bozonok (perdületük 1 ugyanazon a skálán). A fermionok három családba csoportosíthatók. Egy családhoz tartozik egy kvarkpár és egy leptonpár. A párok tagjainak

elektromos töltése éppen egy elektron töltésével különbözik. A családok egymásnak ugyanolyan ismétlődései, csupán a részecskék tömege különbözik.

A SM mezőelméletének van egy alapvető ellentmondása a tapasztalattal, mégpedig az, hogy az elmélet szerint a részecskéknek nem lehet tömege. Márpedig van, sőt a családok között éppen a részecskék különböző tömege tesz különbséget.

1964-ben előbb *Robert Brout* és *Francois Englert*, majd néhány hónappal később tőlük függetlenül *Peter W. Higgs* jelentetett meg egy-egy közleményt egy olyan jelenség matematikai leírásával, amely magyarázatot adna, hogy a SM kvantum-mezőelméletében hogyan lehet az elemi részecskék tömegét értelmezni. A kulcs egy különleges tulajdonságokkal rendelkező mező (amelyet később a tudományos közösség *Brout-Englert-Higgs*-, vagy röviden *BEH*-mezőnek keresztelt) létezésének feltételezése. A többi mező nagyságának várható értéke üres térben nulla. Nem úgy a *BEH*-mezőé, amelynek értéke még üres térben sem nulla. A SM-ben szereplő nullatömegű részecskéknek a speciális relativitás szerint fénysebességgel kellene mozogni, és így nem képezhetnének olyan kötött rendszert, mint például egy atom, tehát mi sem létezhetnénk. A részecskék azonban kölcsönhatnak a mindent kitöltő *BEH*-mezővel, ami mintegy „lelassítja” azokat. A lassulás mértéke következetesen értelmezhető úgy, mintha a részecskéknek tömegük lenne. Ha a *BEH*-mező hirtelen megszűnne, a részecskék fénysebességgel szétszaladnának, és a világban mindenféle szerkezettel rendelkező anyagi csoportosulás megszűnne.

A két közlemény még élő szerzőinek ítelték a 2013. évi fizikai Nobel-díjat. Vajon miért éppen most, közel ötven évvel az elméleti jóslat után díjazták az eredeti munkákat? A SM sok jóslatát nagy pontossággal igazolták a mérések az elmúlt fél évszázadban, különösen a múlt század utolsó évtizedében működő genfi gyorsító, a Nagy Elektron-Pozitron ütközőgyűrű (*CERN LEP*) kísérletei. Nem sikerült azonban megfigyelni az elmélet jóslatát, a nullánál nagyobb tömegű *Higgs*-részecskét. Miért? Azért, mert az elmélet csak annyit jóslt, hogy a tömege nem nulla, de azt nem, hogy mennyi. Így a keresésére irányuló erőfeszítések ahhoz hasonlíthatók, hogy egy homokkal megtöltött versenyuszodában kell találnunk néhány különleges homokszemet, amelyek például tökéletes gömb alakúak, de a méretükről fogalmunk sincs, hogy mekkora. A 21. század technikájára volt szükség ahhoz, hogy a keresés sikerrel járjon. A *CERN LHC* gyorsítójának kísérletei 1500 billió proton-proton ütközés végállapotát vizsgálva ugyan csak statisztikusan, de hét 9-es (99.99999 %-os) biztonsággal ki tudták mutatni egy soha korábban nem észlelt részecske létezését, amelynek tulajdonságai a SM által jóslt *Higgs*-részecske tulajdonságaival látszanak egyezni.

Vajon fog-e a *Higgs*-részecske gyakorlati alkalmazást nyerni? A jövőt nem jósolhatjuk meg. Azt azonban máris állíthatjuk, hogy a *Higgs*-részecske felfedezéséhez vezető rögzös, fél évszázados út máris gyökeresen megváltoztatta hétköznapijainkat. A kivételes nehézségű kutatások olyan újszerű feladatok elé állít-

ják a felfedezőket, amelyek megoldása könnyen vezethet nagy hatású fejlesztésekhez. Példaként gondoljunk a világhálóra, amelynek első működő változatát azzal a céllal fejlesztették ki a CERN-ben, hogy az ott előállított adatokhoz a világ bármely részén hozzá tudjanak férni az adatokat elemző kutatók.² Újabb, még kevésbé közismert példa, hogy az említett 150 billió proton-proton ütközés adatainak feldolgozása nem lehetséges egyetlen számítóközpontban. A világ minden tájára elosztott számítóközpontok, az ún. GRID számítástechnika a megoldás kulcsa, amely szintén a CERN-ből indult hódító útjára, és rohamos sebességgel terjed.

Remélem, példáim elegendő meggyőző erővel támasztják alá, hogy igen, *van gyakorlati haszna egy új részecske felfedezésének*, méghozzá nem is kicsi. Az előzőekben csak a műszaki, orvosi, stb. alkalmazásokat említettem, és nem beszéltem a társadalmi hatásokról. A CERN kísérletei például sok ezer kutató együttműködését igénylik. Az elefántcsonttorony magányos kutatójának eszméje átalakulóban van. Az egyre nagyobb kihívások világméretű összefogást kívánnak. Ki ne értékelné többre az egyiptomi piramisokat egy kis építő csapat által létrehozható csodálatos családi háznál? A CERN-beli kutatások sok nemzet kutatóinak békés célú összefogását hozták, előbb Európában, ami mára világméretűre duzzadt. Nem véletlenül fontolgatják sokan, hogy az idén 60 évesse váló CERN-t felterjesszék a 2014. évi béke Nobel-díjra.

2 Ne tévesszük össze a világhálót az internettel. Az internet a számítógépek és azokat összekötő adattovábbító csatornák összessége, amelynek az alapjait az Egyesült Államokban fejlesztették ki hadiipari céllal. A világháló olyan számítógépes alkalmazás, amelynek segítségével távoli számítógépen elhelyezett adatokhoz a távoli számítógépet üzemeltető személyzet közreműködése nélkül hozzá lehet férni. A feladat megoldására többféle alkalmazás született (például ftp = file transfer protocol), de a http (hypertext transfer protocol) terjedt el leginkább, amelynek az első formája a CERN-ben Tim Berners-Lee által fejlesztett w3 volt.