

programjának realizálásától is, ami a gyorsító luminozitásának több mint három nagyságrenddel való emelését tűzte ki célul. Japánban már működik a J-PARC első valódi kaongyár. Az USA-ban a RHIC, Brookhaven és a J-lab., Virginia programok jelentős hozzájárulást adhatnak a hadronfizikához.

A hadronfizikai kutatások fejlődési irányait igen részletesen tárgyalja *A magfizika perspektívái Európában* című munka [15].

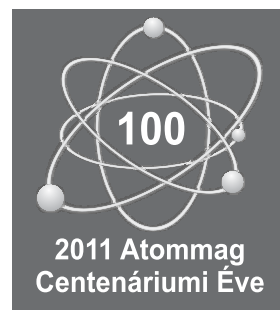
Irodalom

1. Particle Data Group, *Review of Particle Physics*, *J. Phys. G* 37 (2010) 075 021.
2. M. M. Islam, R. J. Luddy, A. V. Prokudin, *Int. J. Mod. Phys. A* 21 (2006) 1.
3. B. Bressan, V. Greco, *CERN Courier* 49 (2009/September) 19.

4. F. Bradamanti, *Nucl. Phys. News* 18/4 (2008) 32.
5. S. D. Bass: The spin structure of proton. *Rev. Mod. Phys.* 77 (2005) 1257.
6. P. Hidas, *Fizikai Szemle* 53/10 (2003) 359.
7. E. Klempt, A. Zaitsev, *Phys. Rep.* 454 (2007) 1.
8. T. Fényes: *Részecskék és kölcsönhatásaik*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2007.
9. S. Godfrey, N. Isgur, *Phys. Rev. D* 32 (1985) 189.
10. S. Capstick, W. Roberts, *Prog. Part. Phys.* 45 (2000) 241.
11. L. Ya. Glozman, *Phys. Rep.* 444 (2007) 1.
12. I. Montvay, G. Münster: *Quantum fields on a lattice*. Cambridge Univ. Press, Cambridge 1994.
13. Ch. Davies, *CERN Courier* (2004/June) 23.
14. U. Wiedner, *Nucl. Phys. News* 20/4 (2010) 19.
15. G. Rosner, M. Makarow (eds.): *NuPECC Long Range Plan 2010: Perspectives of Nuclear Physics in Europe*. European Science Foundation, Strasbourg
16. K.-T. Brinkmann, P. Gianotti, I. Lehman, *Nucl. Phys. News* 16/1 (2006) 15.



2011 Atommag Centenáriumi Éve keretében
a Magyar Tudományos Akadémia
Fizikai Tudományok és Műszaki Tudományok
Osztályai 2011. május 5-én közös Rutherford-
emléknapot rendeztek.
Az emléknap két tudománytörténeti megközelítésű
előadása a következő írások alapja.



RUTHERFORD ÉS A SZÁZÉVES MAGFIZIKA

Bencze Gyula

KFKI Részecske és Magfizikai Kutatóintézet

Szinte minden tudományos előadás kötelezően azzal kezdődik, hogy *már a régi görögök is*. Nos, a görög tudomány már a kezdetekkor arra kereste a választ – szükségképpen spekulatív úton – hogy miből áll a világ, mi a világot összetartó alapelv, a létező princípiuma.

Az arisztotelészi négy elem gondolata először *Empedoklész*nél jelenik meg (i.e. 480–430). A világ sokfélesége négy alapelem, a föld, a víz, a tűz és a levegő különböző arányú kompozíciójából jön létre. Ezzel a képpel szakít *Démokritosz* atomelmélete (i.e. 430 körül), miszerint az anyag végtelen sokaságú parányi, és épp ezért az érzékszervek által nem észlelhető atomból áll. *Simonyi Károly A fizika kultúrtörténete* című könyvében a következőket hangsúlyozza: „Mai szemmel nézve, vagy helyesebben a XIX. század szemével nézve, az állandóságot a változásban, vagy másként kifejezve: a változás lehetőségét az állandóság megtartásával legsikeresebben Démokritosz oldotta meg az atomelmélete segítségével.” Egyes tudománytörténetesek

Démokritosz elméletében a fizikatörténet és szükségképpen a filozófiatörténet legzseniálisabb gondolatát látják, amelyből modern világképünk kialakult. *Arisztotelész* kritikája miatt azonban az egész elmélet 2000 évig méltánytalanul háttérbe szorult.

Arisztotelész (i.e. 350.) visszatér Empedoklész négy eleméhez, anyagelmélete szerint az egyes elemek között átmenetek is lehetségesek. A való világ ezen anyagok különböző keverékéből áll össze. Az elmélet feltételezi, hogy az anyag folytonos, akármeddig osztható, és minden része azonos szerkezetű a kiinduló résszel. Arisztotelész filozófiája sajnálatos módon tagadta a megfigyelés és a kísérletek szerepét a megismerésben, és ezért hosszú ideig a tudomány fejlődésének akadályává vált.

Démokritosz elméletének fő propagálója és továbbfejlesztője a költő és filozófus *Lucretius* (i.e. 99–55?) volt, aki ugyan latin nyelven publikált, azonban epikureus filozófiája miatt tevékenységét – részben az egyház hatására – nem vették komolyan, ezért az atomelméletéről egészen *Pierre Gassendi* (1592–1655) munkásságáig a nyugalom nem vett tudomást.

A klasszikus fizika fejlődését szerencsére ez a körlmény csak kevésbé befolyásolta, így a mechanika,

Bencze Gyula írása teljes terjedelmében a *Természet Világa* 2011. júniusi számában olvasható. Köszönjük *Staar Gyula* főszerkesztőnek, hogy beleegyezett a szerkesztett közlésbe.

termodinamika, statisztikus fizika és az elektromosságban kialakulása viszonylag zavartalan volt. A 19. század végén azonban a természetes radioaktivitás felfedezésével olyan jelenségek vártak magyarázatra, amelyekhez új, modern fogalmakra volt szükség.

A magfizika bölcsője

1896-ban *Antoine Henri Becquerel* felfedezi a radioaktivitást, megfigyeli, hogy az urán megfeketíti a fénképezőlemez, valamint a megfeketedést okozó sugárzás elektromos töltéssel rendelkezik. A kísérletekbe bekapcsolódik a Curie-házaspár, *Marie és Pierre Curie*, akik hamarosan azt is felfedezik, hogy nemcsak az urán, hanem a tórium is radioaktív – maga a „radioaktív” elnevezés is Marie Curie-től ered.

1897-ben *J. J. Thomson* a katódsugarakat tanulmányozva felfedezi az elektront. A laboratóriumában dolgozó ifjú új-zélandi kutató, *Ernest Rutherford* 1899-ben felfedezi, hogy a rádium kétfajta sugárzást bocsát ki, az egyiket alfa-, a másik, áthatolóbb sugárzást béta-sugárzásnak nevezi el.

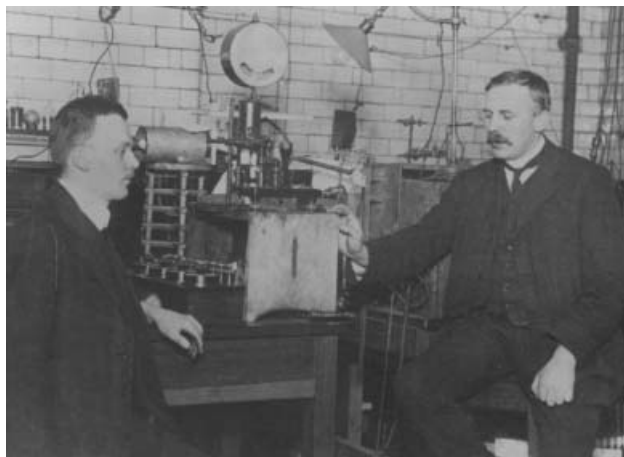
1902: Ernest Rutherford és *Soddy* kidolgozza a radioaktív bomlás elméletét.

1904: Rutherford felfedezi, hogy az alfa-sugárzás nehéz, pozitív töltésű részecskékből áll.

1905: *Albert Einstein* publikálja a speciális relativitás elméletét, amely szerint az anyag és energia egymásba átalakulhat ($E = mc^2$).

A 20. század első éveire tehát a kutatók nagyjából megértették a radioaktivitás jelenségének főbb vonásait. Tudták, hogy az α -sugarak pozitív töltésű ionokból állnak, és sejtették azt is, hogy azok valójában a héliumatom ionjai. A β -sugarakról tudták, hogy elektronokból állnak, valamint azt is sejtették, hogy a sugárzás harmadik fajtája, a γ -sugárzás hasonlít a *Röntgen* által felfedezett X-sugarakhoz. Ismeretes volt továbbá, hogy egy elem egyszerre csak egyfajta sugárzást bocsát ki, amely az elem számára egyben kémiai átalakulást is jelent. Meghatározták a bomlási törvényt és megalkották a felezési idő fogalmát. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezeket a jelenségeket nem magfizikai jelenségeknek tekintették, minthogy az atom szerkezetéről akkor még nem voltak ismereteik. Rutherford azonban már helyesen sejtette meg, hogy a radioaktivitás jelensége új területekre fogja terelni a kutatásokat, mivel a következő óvatos kijelentést tette: „A radioaktivitásról megmutatták, hogy olyan kémiai jelenségek kísérik, amelyekben folyamatosan új típusú anyag keletkezik. ... Ezekből az a következtetés vonható le, hogy ezek a kémiai változások szükségképpen szubatomi jellegűek.”

Az eredményeket a tudományos közösség Nobel-díjjal jutalmazta: 1903-ban a az elemek bomlásának kutatásáért és a radioaktív anyagok kémiaiában elért eredményeiért Becquerelt „rendkívüli szolgálatainak elismeréséül, melyet a spontán radioaktivitás felfedezésével nyújtott”, míg Marie és Pierre Curie-t



1. ábra. Ernest Rutherford (jobbra) munkatársával Hans Geigerrel a híres, aranyfóliás szórás kísérlet berendezése előtt.

„rendkívüli szolgálataik elismeréséül, melyet a Henri Becquerel professzor által felfedezett sugárzás közös tanulmányozásával nyújtottak”.

Ernest Rutherford 1908-ban kémiai Nobel-díjban részesült „az elemek bomlásának kutatásáért és a radioaktív anyagok kémiaiában elért eredményeiért”. A kémiai Nobel-díj átadása utáni banketten mondott kis beszédében 1908. december 11-én Rutherford megjegyezte, hogy az *életében már sok különféle és különböző sebességű átalakulást vizsgált, de ezek közül a leggyorsabb az volt, amikor egyetlen pillanat alatt fizikusból kémikus lett!*

A magfizika megszületése

Az atom első modellje 1903-ban *Lénárd Fülöptől* származik. Elektron szórás kísérletek alapján feltételezte, az atom tömegének nagy része kis térfogatra koncentrálódik, és minden elem alapvető építőeleme egy pozitív és negatív töltés kötött rendszere, a „dynamida”.¹ Az elem tömegszáma arányos a dynamidok számával, azaz a hidrogénatom egyetlen dynamid, míg a héliumatom négy dynamidból épül fel. Ez a modell azonban nem tudta magyarázni, hogy az atomból a bomlaskor miért csak a negatív töltésű részecskék (elektronok) szabadulnak ki.

J. J. Thomson 1904-ben megalkotott modellje azt a tényt igyekezett figyelembe venni, hogy az atomból radioaktív bomlásnál β -sugárzás alakjában elektronok távoznak, vagyis az atomban szükségképpen elektronoknak kell jelen lenni. Modelljét *mazsolás kalács* (plum pudding) modellnek is nevezik, mivel az elképzelés szerint az atomban pozitív elektromos közegeben (puding) elektronok mozognak.²

¹ P. Lenard: Über die Absorption der Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit. *Ann. Physik* 12 (1903) 714–744.

² J. J. Thomson: On the structure of the atom: an investigation of the stability and periods of oscillation of a number of corpuscles arranged at equal intervals around the circumference of a circle; with application of the results to the theory of atomic structure. *Phil. Mag., Ser. 6/7* (1904) 237–265.

Ezekben az években több modell is született az atom szerkezetére és tulajdonságaira vonatkozóan, ezek azonban sikertelennek bizonyultak és igen hamar feledésbe merültek (*H. Nagaoka* (1904): The Saturnian model; *Lord Rayleigh* (1906): Electron fluid model, *J. H. Jeans* (1906): Vibrating electron model; *G. A. Schott* (1906): Expanding electron model; *J. Stark* (1910): The archion model).

Thomson modelljének kísérleti vizsgálatára végezte el 1910-ben Rutherford híres szórás kísérletét *Geiger* (1. ábra) és a fiatal doktori ösztöndíjas *Marsden* segítségével, amelyben radioaktív preparátumból származó α -részecskékkal sugárzott be egy aranyfóliát, majd detektálta az azon áthaladó részecskék szögeloszlását (2. ábra). A szórást a klasszikus mechanika segítségével tárgyalta, feltételezve, hogy a beeső részecske és az atom közötti Coulomb-kölcsönhatás pozitív és negatív töltések különböző eloszlásából tevődik össze. Nagy meglepetésére, a várakozással ellentétben nagy szögekben, azaz hátrafelé is szóródtak részecskék, ami arra utalt, hogy az atomban a pozitív töltés egy igen kis központi térfogatban koncentrálódik. Korabeli hasonlattal élve, az atommag az atomban olyan, mint „légycsiga a katedrálisban”.

A feljegyzések szerint Rutherford a következőképpen kommentálta a meglepő eredményt: „olyan volt, mintha az ember egy 15 hüvelykes lövedéket lőtt volna WC-papírba és az visszapattanva eltalálta volna őt!” („It was almost as if you fired a 15 inch shell into a piece of tissue paper and it came back and hit you.”)

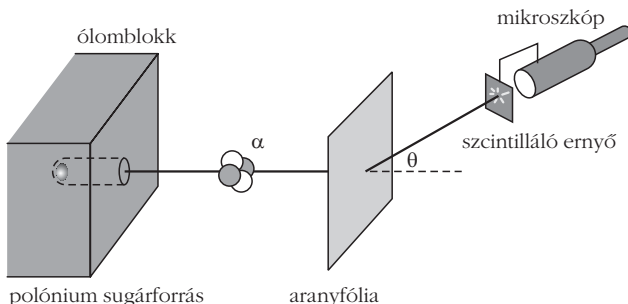
A kísérleti eredményeket az azóta híressé vált Rutherford-féle hatáskeresztmetszet segítségével lehetett leírni:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4 E \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^2,$$

amelyben e az elektron töltése, Z_1 és Z_2 az ütköző részecskék töltésszáma, E a bombázó energia és θ a szórási szöget jelenti.

A kísérleti eredmények alapján alakult ki az atommag Rutherford-féle modellje, amelyben egy központi pozitív töltés, az „atommag” körül mozognak az elektronok a vonzó Coulomb-térben. Ezt a modellt fejlesztette tovább az 1912-ben Manchesterben vendégeskedő *Niels Bohr*, és lett belőle a Bohr–Rutherford, majd Bohr–Sommerfeld-féle atommodell. 1913-ra az atom-

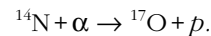
2. ábra. Rutherford híres szórás kísérletének elve.



ról a következő fizikai kép alakult ki: az atom egy központi részből, az atommagból, és a körülötte keringő elektronokból áll. A semleges atomban az elektronok száma megegyezik az atomnak a periódusos rendszerben elfoglalt helyét jellemző Z rendszámmal, az atommag pozitív töltése ebből adódóan Ze . Az atomsúlyhoz legközelebb álló A egész számot töltésszámmal nevezve, az atommag így A számú hidrogén atommagból is állhatna, ha össztöltése nem lenne különböző. A töltésszám úgy áll helyre, ha azt képzeljük, hogy az $A-Z$ számú proton mellett van egy-egy elektron, amely a pozitív töltést közömbösíti. Vagyis az atommagban Z számú proton és $A-Z$ számú proton-elektron párnak kell lennie. Ez az elképzelés azonban csak kevésbé volt meggyőző. Nem véletlen tehát, hogy a Bohr-féle atommodell kapcsán Rutherford már 1921-ben felvetette a neutron, egy semleges részecske esetleges létezését az atommagban, amely valahogymegkompenzálhatja a protonok elektromos tasztítását és stabilizálhatja az atommagokat.

Az atommagfizika megszületésének tehát az 1911-es esztendő tekinthető, amikor Rutherford híres szórás kísérletének eredményét publikálta a *Philosophical Magazine*-ben. Az atommodell sikere nyomán 1914-ben tudományos érdemeiért lovaggá ütötték, majd közbeszólt az I. világháború.

Rutherford a háború alatt főként a tengeralattjárók akusztikus detektálásának problémájával foglalkozott, majd 1917-ben visszatért kutatásaihoz, és az α -részecskék és a könnyű elemek atomjainak kölcsönhatását kezdte tanulmányozni. A természetes radioaktív anyagok α -sugárzását használva bombázó nyalábnak 1919-ben kísérletei során azt találta, hogy ha az α -részecskék eltalálnak egy-egy nitrogén magot, abból egy hidrogénmagot ütnek ki, azaz mesterséges elemátalakulás, más szóval a következő atommagreakció jön létre:

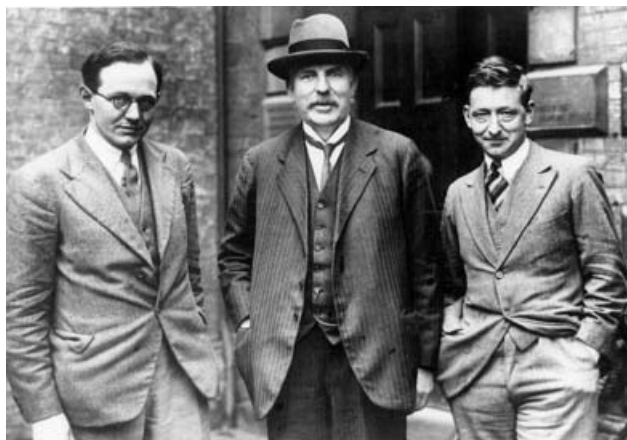


Csak 1923-ban sikerült *Blackett*nek Wilson-kamra segítségével észlelni és megörökíteni ezt az eseményt és egyértelműen igazolni, hogy a héliummag nemcsak kilöki a nitrogénmagból a protont, hanem abba be is épül. Rutherford fontos észrevétele volt még, hogy az így keletkező proton energiája nagyobb, mint a reakciót létrehozó alfa-rész kinetikus energiája, így a magátalakulás közben energia szabadul fel.

A tényekhez tartozik még, hogy a hidrogén atommagjának elnevezése, a proton is Rutherfordtól ered. Az első magreakció megfigyelése 1919-ben meglepően kis figyelmet váltott ki mind a szakmai körökben, mind pedig a sajtóban.

A magfizika felvirágzása

A Cavendish Laboratóriumba 1919-ben igazgatóként visszatért Rutherford kezdeményezésére tovább folytak a magfizikai kutatások, különös tekintettel a megfelelő kísérleti feltételek javítására. Két területen volt szükség a mérés technika továbbfejlesztésére: a ré-



3. ábra. John Cockroft, E. Rutherford és Ernest Walton.

szecskék detektálása, valamint a bombázó részecskék energiájának növelése, azaz a részecskék gyorsítása terén. Hans Geiger nevű munkatársa ezért részecske-számlálót kezdett fejleszteni, amelynek egy korszerűbb változata, a Geiger-Müller-számláló 1928-ban született meg Németországban, és azóta is nélkülözhetetlen alapeszköze a magfizikai és részecskefizikai kutatásoknak.

A század 20-as éveiben a magfizikai kutatások stagnáltak, csak kevés új eredmény született. Ennek főleg technikai okai voltak, mivel a radioaktív preparátumok által szolgáltatott α -részecske nyaláb energiája és intenzitása sem volt megfelelő az atommag szerkezetének vizsgálatára. Rutherford a Royal Society 1927. évi ünnepi ülésén november 30-án a következőket hangsúlyozta felszólalásában: „A tudomány szempontjából igen nagy érdekességgel bírna, ha laboratóriumi kísérletekben lehetőség lenne elektronokból, illetve atomokból olyan nyalábokat létrehozni, amelyek energiája nagyobb mint az alfa-részecskéké. Ez olyan új kutatási területet nyitna meg, amely minden bizonnyal rendkívül értékes információt szolgáltatna nemcsak az atommagok szerkezetére és stabilitására vonatkozóan, hanem sok más irányban is.” Kezdeményezésére a Cavendish Laboratóriumban Ernest Walton, majd később hozzá csatlakozva John Cockroft (3. ábra) kezdett a részecskegyorsítás kérdésével foglalkozni. Az első becslések szerint az atommagok szerkezetének vizsgálatához 8–10 millió volt gyorsítófeszültségre lett volna szükség, ami rendkívüli technikai problémákat jelentett. Lényeges változást hozott azonban George Gamownak a német *Zeitschrift für Physik*-ben 1928-ban megjelent cikke,³ amelyben egy új kvantummechanikai jelenség, az alagúteffektus segítségével magyarázta az atommagok alfa-bomlását. Eredményéből következően elméletileg lehetővé vált töltött részecskékkel atommag-reakciót létrehozni akkor is, ha a bombázó energia kisebb volt, mint az atommag pozitív töltése okozta taszító „Coulomb-gát” energiája.

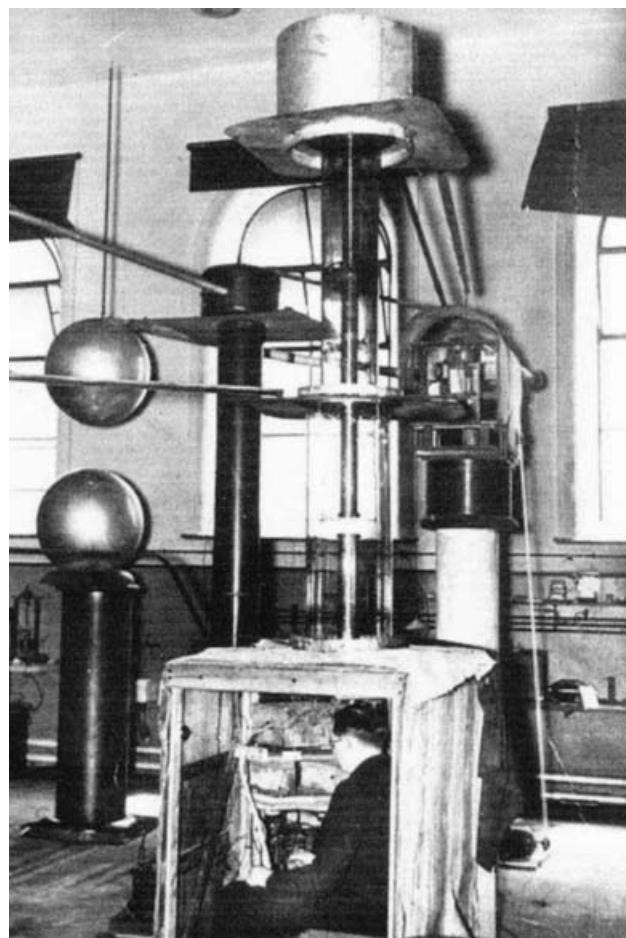
³ G. Gamow: Zur Quantentheorie des Atomkernes. *Z. Physik* 51 (1928) 204.

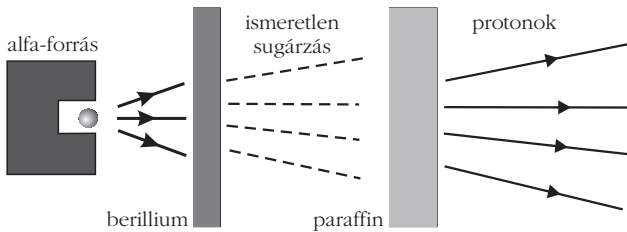
Az első gyorsítóberendezés kifejlesztése nemcsak fontos fejezete a tudománytörténetnek, hanem egyben nagy erővel megindított nemzetközi verseny is volt. A Cavendish Laboratórium kutatóinak több országban voltak riválisai: a Kalifornia Egyetemen Berkeley-ben Ernest Lawrence és Stanley Livingston új ötlettel körpályán való gyorsítást igyekezett megvalósítani, és elkezdte a „ciklotronnak” keresztelt berendezést fejleszteni. Robert van de Graaff az elektrostatikus gyorsító újszerű változatán, a későbbiekben Van de Graaff-generátornak elnevezett berendezésen dolgozott a Princeton Egyetemen, Merle Tuve pedig a washingtoni Carnegie Institutionban igyekezett hasonló berendezést létrehozni.

A teljesség kedvéért feltétlenül meg kell említeni, hogy az első részecskegyorsítóra vonatkozó szabadalmi bejelentés Szilárd Leótól származik, aki 1928. december 17-én Németországban egy lineáris „részecskegyorsító”-ra kért szabadalmat.

Cockroftnak és Waltonnak ötévi munkájába került, hogy megépítsen egy működő berendezést, amely 1932 elején már képes volt nagyjából félmillió volt feszültséggel gyorsított stabil hidrogénnyalábot előállítani. Rutherford sürgetésére azonnal elkezdtek a kísérleteket (4. ábra), és 1932. március 14-én látványos eredményt értek el: 125 keV energiára felgyorsí-

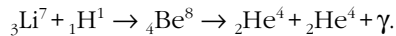
4. ábra. Cockroft és Walton első „kaszkád” generátora, a detektornál Walton látható.





5. ábra. A neutron felfedezése.

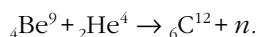
tott hidrogén-atommagokkal lítium fémet bombázva azt találták, hogy a lítiumatom magja szétesik két hélium-atommagra, amelyek energiája lényegesen nagyobb, mint a bombázó hidrogénnyalábé, azaz a reakció során energia is felszabadul:



A gyorsítók létrehozására megindított versenyt tehát Cockroft és Walton kaszkád-generátora nyerte meg, amellyel eredményesen gyorsítottak protonokat. Ez az esemény az akkori sajtóban nagy hírverést kapott. Sir Douglas Cockroft és Ernest Thomas Sinton Walton 1951-ben elnyerte a fizikai Nobel-díjat „úttörő munkájukért az atommagok mesterségesen gyorsított atomi részecskékké létrehozott átalakításában”. Érdekes fejlemény, hogy az „atomhasításért” folyó versenyben a második helyre szorult Ernest O. Lawrence már 1939-ben Nobel-díjat kapott a ciklotronért és az azzal elért kísérleti eredményekért.

Időközben *Walther Bothe* és *H. Becker* Németországban 1930-ban egy kísérlet során azt találta, hogy ha radioaktív forrásból származó nagy energiájú alfa-részecskéikkel bizonyos könnyű elemeket (berillium, bór, lítium) bombáznak, akkor egy addig ismeretlen, nagy áthatolóképességű sugárzás keletkezik. Először ezt röntgensugárzásnak gondolták, bár annál is nagyobb volt az áthatolóképessége, és az eredményeket nagyon nehéz volt ily módon értelmezni. A kísérletet megismételve a következő eredményt 1932-ben *Irène Joliot-Curie* és *Frédéric Joliot-Curie* publikálták. Ha a kijövő sugárzást paraffinra, vagy más hidrogéntartalmú anyagra bocsátották, akkor abból nagy energiájú protonok lökődtek ki. Ezt még nehezebb volt röntgensugárzással magyarázni.

A kísérletet megismétlő *James Chadwick*nek végül 1932 áprilisában sikerült a jelenséget értelmeznie. Sokféle kísérletet végzett arra, hogy kizárja a röntgensugárzási elméletet. Azt feltételezte, hogy egy protonnal nagyjából megegyező tömegű semleges részecske lökődik ki. Ezt a feltételezését több kísérlet elvégzésével igazolta is (5. ábra). A következő magreakció játszódott tehát le



Vagyis Chadwick (6. ábra) megtalálta a neutront, az atommag semleges alkotórészét, amelynek létezését Rutherford már a 20-as évek elején megsejtette. Felfedezéséért 1935-ben Nobel-díjat kapott.

1932 tehát nemcsak a Cavendish Laboratóriumnak, hanem a magfizika új tudományának is kiemelkedően sikeres éve volt. Rutherford a Royal Society április 28-i

Az atommagok szerkezete címmel szervezett vitaülésén Chadwick, a neutron felfedezését ismertető, előre meghirdetett beszámolója előtt büszkén jelentette be Cockroft és Walton szenzációs eredményét, az „atommag széthasítását”, meg sem várva az eredmények nyomtatásban való megjelenését a *Nature* című folyóiratban.

Ennyi új kísérleti eredmény után a továbbfejlődéshez már szükség volt az eredmények elméleti értelmezésére is. Rutherford kedvenc szavajárását idézve, a fizikusok akár a gyerekek „szétszedték az órát és megtudták mi van benne, most már elmélet kellett az összerakáshoz!”

Szerencsére nemcsak a kísérlet, hanem az elmélet terén is voltak azonban fontos fejlemények:

1925: *Werner Heisenberg*, *Max Born* majd a továbbiakban *Erwin Schrödinger* kidolgozza a mikrovilág tulajdonságait leíró elméletet, a kvantummechanikát.

1927: *Werner Heisenberg* megfogalmazza a híres határozatlansági relációt, amely kimondja, hogy nem lehetséges egyszerre tetszőleges pontossággal meghatározni egy részecske helyét és impulzusát.

1932: *Werner Heisenberg* az atommag alkotórészei, a protonok és neutronok, valamint tulajdonságaik leírására a kvantummechanikát használja.

És voltak további alapvető kísérleti eredmények is:

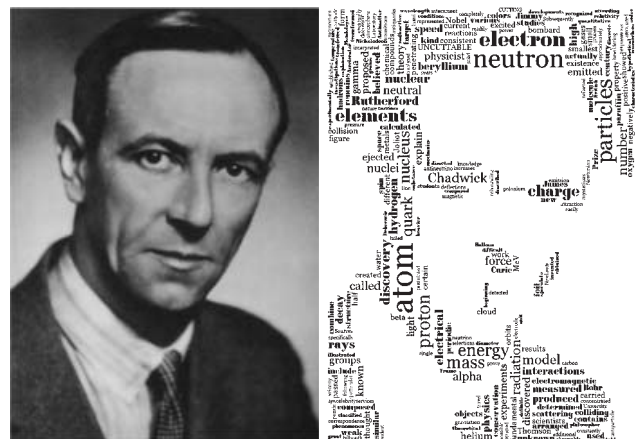
1931 november: *Harold Urey* felfedezi a deutériumot, a hidrogén kettes tömegszámú izotópját, amely egy proton és egy neutron kötött rendszere.

1934: *Frédéric* és *Irène Joliot-Curie* felfedezi a mesterséges radioaktivitást. *Fermi* atommagokat neutronokkal bombázva új elemeket hoz létre, valamint létrehozza tudtán kívül az első hasadási magreakciót. *Fermi* 1938-ban elnyeri a fizikai Nobel-díjat „neutronbesugárzással létrehozott új radioaktív elemek létezésének kimutatásáért, és a lassú neutronok által indukált magreakciók kapcsolódó felfedezéséért”.

1938: *Otto Hahn* és *Fritz Strassmann* felfedezi a maghasadást, amelynek elméleti interpretációját *Lise Meitner* és *Otto Frisch* adja meg. A világon mindenütt elkezdődik a maghasadás tanulmányozása.

Az első kísérletek felfedték, hogy az atomnak belső struktúrája – atommagja – van, a további kísérletek

6. ábra. James Chadwick, mellette a portré a magfizikában leggyakrabban használt angol kifejezésekből (forrás: www.tagxedo.com).





7. ábra. Ernest Lord Rutherford of Nelson címere (balra), Rutherford-bélyegek (középen) és Rutherford képe a százdolláros bankjegyen (jobbra).

megállapították, mely alkotórészekből áll ez a mag, amely részecskékké váló bombázás következtében átalakulhat. Az alkotóelemek ismeretében most már a dinamika alapvető törvényeit kellett felderíteni – erre szolgált a kvantummechanika – a feladat ezek után már szinte önmagától adódott.

A maghasadás felfedezésével – a politika hathatós közreműködése mellett – megindult a verseny a nukleáris energia felszabadításáért, ezen belül az atombombáért. A magfizika tudománya csak a háború után jött igazán lendületbe, amikor sorra vizsgálták az erős és gyenge kölcsönhatás tulajdonságait, az atommagok szerkezetét, a magreakciók mechanizmusát, valamint a magfizika eredményeinek alkalmazását a fizika más területein.

Az erős és gyenge kölcsönhatás, ezen belül a nukleon-nukleon kölcsönhatás tulajdonságainak vizsgálata, az atommagok szerkezetének, az atommagreakciók mechanizmusának tanulmányozása a háborút követően rohamosan fejlődni kezdett. Az új, nagyenergiájú gyorsítók létrehozásával megindultak a részecskefizikai kutatások is, majd a csillagok energia-termelésének és az elemek szintézisének Bethe-féle elképzeléséből fejlődött ki a nukleáris asztrofizika. Napjainkban a magfizikán belül már számos, önmagában is hatalmas tudományterület alakult ki. Különösen fontos hangsúlyozni, hogy a magfizika, ezen belül a nukleáris analitika módszerei ma már számos más tudományterület nélkülözhetetlen eszközévé váltak.

A magfizika napjainkra „nagy tudománnyá” vált, költséges nagyberendezésekkel és hosszú távra történő tervezéssel. A magfizika hosszú távú elképzelései a következő évtizedre elektronikus és nyomtatott formában is elérhetőek a nagyközönség számára [6].

Rutherford „személyi kultusza”

Rutherford kétségtelenül a brit tudomány egyik legsikeresebb és legnagyobb hatású képviselője. Már életében rengeteg elismeréssel és kitüntetéssel halmozták el. Nobel-díja után már 1914-ben megkapta a lovagi címet, majd J. J. Thomson örökébe lépve a 1919-

ben került a nagyhírű Cavendish Laboratórium élére. 1925-ben lett a Royal Society elnöke, és 1931-ben nemesi címet kapott Ernest Lord Rutherford of Nelson névvel, a hozzátartozó címmel és a következő jelmondattal: *Primordia Quaerere Rerum* (Az alapelveket kell keresni), amely *Lucretiustól* származik (7. ábrán balra).

Új Zélandon, Kanadában, sőt még az akkor létező Szovjetunióban is bélyeget adtak ki tiszteletére (7. ábrán középen), szülőhazájában pedig arcképe a százdolláros bankjegyet díszíti (7. ábrán jobbra). Nobel-díjasként, valamint a híres Cavendish Laboratórium igazgatójaként a nemzetközi tudományos közösségnek is legnagyobb tekintélyű tagja volt.

Rutherford sikeres kutatói pályafutása során talán csak egyetlen alkalommal tévedett, amikor kizárta az atommagok energiája ipari méretekben történő felszabadításának lehetőségét. 1933-ban Londonban egy, a Royal Societyben tartott előadásában kijelentette, hogy: „Ezekben a folyamatokban [magreakciókban] ugyan sokkal több energiához juthatunk, mint amennyi a protontól származhat, azonban átlagosan nem várhatunk több energiát ilyen módon. Ez az energiatermelésnek igen szegényes és hatástalan módja, és bárki, aki az atomok átalakulásában keresi az energia forrását, hiú ábrándokat kerget.” Szilárd bevallása szerint ez az előadás annyira megmozgatta a fantáziáját, hogy eljutott a nukleáris láncreakció gondolatához. Ötletével felkereste Rutherfordot, aki azonban nem vette őt komolyan. Ennek ellenére a láncreakció ötletéről Szilárd 1934. március 12-én szabadalmi bejelentést tett a brit Szabadalmi Hivatalnál.

Rutherford 1937. október 19-én hirtelen hunyt el, így nem érthette meg a maghasadás egy évvel későbbi felfedezését, valamint az atombombáért folyó versenyfutást. Hamvait a Westminster Apátságban helyezték el *Sir Isaac Newton* és *Lord Kelvin* mellett. (Érdeemes megjegyezni, a legnagyobbak közül sem mindenki részesült ebben a megtiszteltetésben, így például *P. A. M. Dirac*, a kiemelkedő angol elméleti fizikust Floridában temették el. Csak évekkel később kapott emlékkövet a Westminster Apátságban.)

Halála után a *New York Times*-ban a következő nekrológ jelent meg: „Csak kevés embernek adatik meg, hogy halhatatlanná váljék, még kevesebbeknek, hogy még életükben olimposzi rangra emelkedjenek. Lord Rutherford mindkettőt elérte. Egy olyan generációban, amely tanúja volt a tudománytörténet egyik legnagyobb forradalmának, mindenki elismerte az atom végtelenül bonyolult belső világa vezető szakértőjének, egy olyan univerzuménak, amelybe neki sikerült elsőként behatolni.”

A hivatalos elismeréseknél érdekesebb azonban, hogyan emlékszik rá a szakmai közösség. A Cavendish Laboratóriumban közismert volt Rutherford hihetetlen munkabírása és határozottsága. Munkatársai ezért a „Krokodil” becenevet adták neki (egyesek szerint az elnevezés az akkori vendégkutató *Pjotr Kapica*tól ered.) A diákok szerint azonban azért is krokodil, mert „a krokodil nem tudja a fejét elfordítani ... mindig előre kell mennie mindent elnyelő állkapcsával”.

Kapica tisztelete jeléül megbízta *Eric Gill* szobrászművészt, hogy a Cavendish Laboratórium falára készítsen egy nagy krokodilust ábrázoló domborművet (8. ábra). A művész korábban már készített Rutherfordról egy domborművet is. Az elkészült művet azóta is nagy figyelem kíséri mind a munkatársak, mind pedig a látogatók részéről [7].

Különleges figyelmet érdemel George Gamow kis paródiája a „Krokodilról” [8]:

George Gamow: A krokodilus

E jóképű, szívélyes szőke lord
Nem más mint a brit Ernest Rutherford.
Egy új-zélandi farmer volt az apja,
S paraszti voltát le sem tagadhatja;
Mikor „halkan” beszél, vagy „lágyan” énekel,
Hangját a párnázott ajtó sem fogja fel,
Hát még ha bosszantják, és bőszen haragra gerjed,
Elképzelni se jó a súlyos dörge delmet,
Amelyet osztogat; s hogy ő a föld fia,
E stílussal nem sikerül titkolnia.
De hadd mesélek el inkább egy esetet.

Egy ízben Gamowot teára hívta meg,
Amelyet Bohr tiszteletére rendezett
(Bohr nevére tán hallott már az olvasó).
A társaságban sok mindenről folyt a szó:
A férfiaknál golf s krikett a téma,
A nők pedig – még erre nem volt példa –
Divatról beszéltek; csak Bohr unatkozott
S szólt Gamowhoz, az ablakra mutatva: „ott
Az udvaron motorkerékpárt láttam ...
A működését megmutatná? Nos, utánam”!

S már ment is lefelé, a társa meg
Követte, hisz mi mást is tehetett?!
És lenn az udvaron Gamow sorjában
Elmondta, mi mire való, s a lábzan
Égő Bohr úgy pattant nyeregbe, mint aki



8. ábra. A „krokodilus” a Cavendish Laboratórium falán.

Motorversenyre készül hajtani.
Az utcán gázt adott és – fel a járdakőre;
Ember, állat riadtan menekült előle.
De a lendület biz hamar alábbhagyott,

Bohr nem jutott el messzire, s ahogy
Úgy ötven yardnyi út után keresztben
Megállt a járdán, s akár egy veretlen
Hadvezér, kihúzta magát a motoron –
Az egész Queen Roadon megállt a forgalom

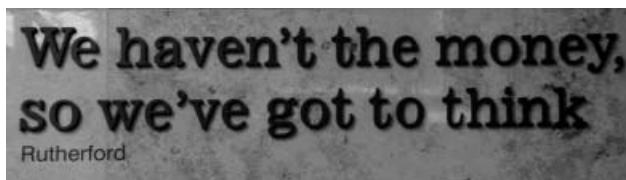
Közben Gamow is odaért és mindent megtett,
Hogy helyreállítsa a tömegben a rendet,
S azon fohászzkodott: inkább az ördögöt,
Mint Rutherfordot most! De máris dörögött
A mély hang mögötte: „Gamow, az istenit!
Ha még egyszer od’ adja Bohrnak ezt a járgányt,
Hogy botránnyt csináljon itt az utcán, hát
Esküszöm kitaposom a belit!”

(*Bárány György* fordítása)

Rutherford „útravalója” a mai kutatóknak

Rutherford személyiségéről, személyes tulajdonságairól könyvtárnyi irodalom található. Fennmaradt mondásai beszédesek és lényegre törőek. Száz év távlatából is hasznos tanácsokkal szolgálnak vagy fontos felismerést hangsúlyoznak a ma magfizikusai számára.

Nem olyan a dolgok természete, hogy egyetlen ember birtelen óriási felfedezést tehet: a tudomány lépésről-lépésre balad és mindenki az elődei munkájára támaszkodik. Ha az ember egy birtelen és váratlan felfedezésről hall – mint derült égből a villámcsapás –



9. ábra. Rutherford mondása „kőbe vésve”.

biztos lehet abban, hogy az az egyik ember másakra gyakorolt hatásából ered, és ez a kölcsönhatás teremti meg a tudomány fejlődésében rejlő óriási lehetőségeket. A tudósok nem egyetlen ember ötletét használják fel, hanem ugyanazon problémán gondolkodó kutatók ezreinek együttes bölcsességét, mindenki hozzáteszi a maga kis hozzájárulását a tudás nagy épületéhez, amely folyamatosan épül.

„Nagy híve vagyok a dolgok egyszerűségének, és ahogyan azt valószínűleg tudják, hajlamos vagyok az egyszerű és átfogó ötletekbe úgy belekapaszkodni, mintha az életem függene tőle, míg a bizonyíték nem lesz túl erős a makacsságom számára.”

Ha a kísérletnél statisztikára van szükség, akkor jobb kísérletet kellett volna tervezni.

„Egy állítólagos tudományos felfedezésnek nincs semmi értéke, ha nem lehet azt megmagyarázni egy pincérnőnek is.”

A tudományban csak fizika van, minden más csupán bélyeggyűjtés.

„A társadalomtudományok terén bármilyen kutatási eredmény egyetlen lehetséges értelmezése az, hogy: van amikor igen, van amikor nem!”

Nincs pénzünk, ezért gondolkodnunk kell (9. ábra).

Irodalom

1. Robin Mckown: *The Giant of the Atom: Ernest Rutherford*. Julian Messner, New York, 1962.
2. Clare George: *The Cloud Chamber*. Sceptre, Hodder & Stoughton, London, 2003.
3. Naomi Pasachoff: *Ernest Rutherford: Father of Nuclear Science*. Enslow Publishers, Berkeley Heights, NJ, 2005.
4. Brian Cathcart: *The Fly in the Cathedral*. Farrar, Straus and Giroux, New York, 2005.
5. Richard Reeves: *A Force of Nature*. W. W. Norton & Company, New York, 2008.
6. *Perspectives of Nuclear Physics in Europe*, NuPECC Long Range Plan 2010, European Science Foundation
7. P. L. Kapica: *Kísérlet, elmélet, gyakorlat*. Gondolat, Budapest 1982.
8. *Ponticulus Hungaricus*, II. évfolyam 1. szám, 1998. január

RUTHERFORD AKTUALITÁSA

Berényi Dénes
ATOMKI, Debrecen

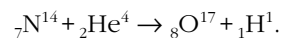
Rutherford pályája során – nyugodtan mondhatjuk így – számos világraszóló eredményt ért el, de ezek közül is kiemelkedik három, amelyet valóban *korszakalkotónak* kell tekinteni.

Az első, amit *Frederick Soddy*val együttműködésben fedezett fel (1902) a radioaktivitást vizsgálva, hogy a radioaktív bomlás során *az egyes elemek atomjai más elemek atomjaivá* alakulnak át, ami ellenkezett az elemek változatlanságáról vallott akkori felfogással és tulajdonképpen az alkimisták elképzeléseinek megvalósulását jelentette.

A második, még az előbbinél is jelentősebb felfedezését aranyfólián történő alfa-szórás vizsgálatával érte el. *Marsden* munkatársa azt találta (1909), hogy kis számban hátrafelé is szóródnak alfa-részecskék (tízezerből néhány). A méréseket csak úgy lehetett értelmezni, hogy az atomnak van egy, az atom méreténél mintegy százezerszer kisebb átmérőjű magja, amelyben az atom tömege összpontosul. *Rutherford így felfedezte az atommagot* és megszületett a fizika új ága: az atommagfizika.

Végül hasonló jelentőségűek azok a kísérletei, amelyek *az atommagok mesterséges átalakításához* vezettek, bebizonyítva, hogy egyes elemek atomjai nemcsak

spontán alakulhatnak át másik elem atomjaivá, mint az a radioaktív bomlás folyamán történik, de a folyamat mesterségesen is előidézhető (1919). Nitrogén gázt bombázott alfa-részecskékkal és Wilson-féle ködkamrában észlelte a folyamatból kilépő protonokat, vagyis



Rutherford pályája során szinte számtalan kitüntetésben részesült. A sors fintora, hogy az atommag felfedezője, az atomfizikai kutatás elindítója 1908-ban *kémiai* Nobel-díjat kapott.

Mit tanulhatunk ma Rutherfordtól?

Bizonyára van, aki úgy gondolja, hogy a technika és speciálisan a tudományos kísérleti technika az elmúlt évszázad alatt olyan sokat fejlődött, hogy Rutherford tapasztalataival nem sokat lehet kezdeni. Ezt a hozzáállást támogatja, hogy közelebről megtekintve Rutherford döntő kísérleteinek körülményeit, azok mai szemmel szinte „primitívnek” tűnnek: szcintilláló ernyők, egyszerű mikroszkópok, kezdetleges ködkamra stb.

A valóságos helyzet – meggyőződésem szerint – mégsem ez. Rutherford kutatási stílusa, tudományos pályája során végzett tevékenysége és magatartása számos olyan vonást mutat, amelyik tanulsággal szolgálhat nemcsak a mai, de akár az elkövetkező századok kutatóinak is.

A tanulmány a Magyar Tudományos Akadémia Fizikai Tudományok Osztálya és Műszaki Tudományok Osztálya által rendezett, az MTA közgyűléséhez kapcsolódó Rutherford tudományos emlékülésen, 2011. május 5-én tartott előadás írott változata.