

MORZSÁK A MAGFIZIKA HŐSKORÁBÓL – 1. RÉSZ

Tóth Eszter
Vác

Sigmund Freud és Ferenczi Sándor reggelente az egyetemi vendégháztól induló faszorban sétáltak. Freud előadás-sorozatának aznapi témáját beszéltek meg. 1909. szeptember 7-ét frunk és a Massachusetts állambeli Worcesterben vagyunk. A Clark University 20 éves fennállását ünnepli. Neves előadókat hívtak meg szerte a világból.

Ez időben a pszichológiának és a Freud által népszerűsített pszichoanalízisnek egész Amerikában, de különösen a Clark Universityn komoly szerepe volt. Az egyetem akkori rektora, *Granville Stanley Hall* alapította meg az Amerikai Pszichológiai Egyesületet (1892). Így a fővendég Sigmund Freud volt, vele érkezett Worcesterbe *Carl Jung* és Ferenczi Sándor (1. ábra).

Sigmund Freud (1856, Freiberg, ma Příbor, Csehország – 1939, London) a lélek-elemzés, a pszichoanalízis megteremtője. Szerinte az elfojtásuk miatt tudattalanná váló emlékek befolyásolják az ember viselkedését. Különösen a szexuális és agresszív elfojtások vezethetnek neurózishoz, ami a tudatalattiak felszínre hozásával kezelhető. Felfedezte, hogy az elfojtott emlékek szabad asszociáció révén is felszínre hozhatók. Ez pedig megoldható például az álmok elemzésével is. Fontos diagnosztizáló szerepet velt a „véletlen elszólások”, a tévesztések felismerésében.

Ferenczi Sándor (1873, Miskolc – 1933, Budapest) 1908-tól Freud tanítványa és barátja. 1913-ban megalapította a Magyar Pszichoanalitikai Társaságot, egyike volt a Nemzetközi Pszichoanalitikai Társaság alapítóinak is, illetve 1918-tól majd egy évig annak elnöke lett. Rokona *Neumann Jánosnak*, és nagyon valószínű, hogy Neumannt ő kezelte 5 éves korában, akit háromévesen egy kakas nagyon kellemetlen helyen kapott meg. És ezért gyakran kukorékolt. Ferenczi közeli barátja *Ortway Rudolf*, aki fizikusként jó viszonyban volt szinte minden, akkor a világban fizikát művelővel. Így Ferenczi első kézből értesült a nagy felfedezésekről az atom- és magfizikában. Az csak



1. ábra. Ülnek (balról jobbra): Sigmund Freud, Granville S. Hall és Carl Jung; hátul állnak (szintén balról jobbra): Abraham A. Brill, Ernest Jones és Ferenczi Sándor. Worcesterben, 1909 szeptemberében.

valószerűsíthető, hogy Ferenczi jól ismerte a nála 12 évvel fiatalabb *Hevesy Györgyöt* is. És még sok közös ismerős... Ortwayn kívül például a Polányi-család, köztük *Polányi Mihály* kémikus. Ferenczi és Hevesy Budapesten csupán egy kilométerre laktak egymástól, valamint mindketten ugyanazon a napon kapták és vesztették el professzori kinevezésüket a Budapesti Tudományegyetemen.

Az 1900-as évek elején az Egyesült Államokban még nem volt igazán komoly érdeklődés a természettudományok iránt. Az első amerikai tudományos Nobel-díjat (1907) *Albert Abraham Michelson* (1852, Strzelno, ma Lengyelország – 1931, Pasadena) kapta, aki történetesen éppen a worcesteri Clark University egyik első tanára volt. A Nobel-díjat precíz optikai berendezéseiért, és az azokkal végzett kísérletekért kapta. Híres kísérlete, a Michelson–Morley-kísérlet 1887-ben azt kívánta megállapítani, hogy a Föld milyen sebességgel halad az éternek nevezett (képzeletbeli) abszolút nyugvó térhez képest. A sebesség nagyon sok irányban megmérve nullának adódott.

Talán Michelson volt az, aki kiverekedte, hogy az ünnepi hétre hívják meg az 1908-as év egyik Nobel-díjasát is. Így került *Ernest Rutherford* is Worcesterbe. Rutherford 1908-ban kémiai Nobel-díjat kapott az atommag bomlásainak és a radioaktív anyagok kémiai vizsgálatáért. (Rutherford fizikus volt, őt is meglepte, hogy kémiai Nobel-díjat kapott.) Egyik nap Rutherford és a Ferenczivel sétálgató Freud véletlenül összetaláltak. Meglehet, Ferenczi ekkor kérte meg



Tóth Eszter – Rátz Tanár Úr életműdíj, 2014 – nyugdíjas fizikatanár, de még tanít iskolában. Írt fizikatankönyveket, amelyek megjelentek kínai, japán, angol, spanyol nyelven is, volt a fizikatanárok nemzetközi egyesületének titkára, félszáz országban tartott előadást fizikatanításról. De vallja: nem ezek a dolgok hitelesítik, hanem tanítványai sikerei az OKTV, TUDOK, a KöMaL versenyeken, és elsősorban felelős, szabad Emberré válásukban.

Rutherfordot, hogy fogadja el fiatal kutatótársának Hevesy Györgyöt. Mindenesetre Hevesy jelentkezett Rutherfordnál, és nemsokára ezt a választ kapta:¹ (Lábjegyzetbe mindig az eredeti angol verziót adom.)

„Tisztelt Uram!

Megkaptam levelét, amelyben engedélyt kér, hogy a Manchesteri Egyetem Fizikai Laboratóriumában a radioaktivitás témában dolgozhasson.

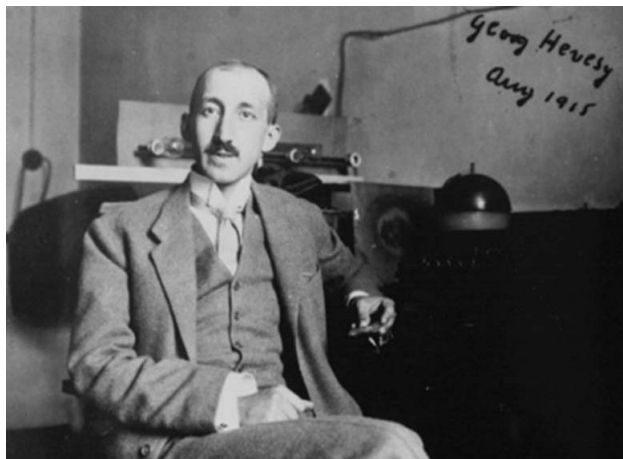
Örömmre fog szolgálni, ha kedvezően bírálhatom el javaslatát, feltéve, ha Ön képes legalább egy egyetemi évet eltölteni a Laboratóriumban. Valamennyi idő szükséges, hogy megismerkedjen a mérési módszerekkel, és az nem remélhető, hogy egy rövid kutatást végre lehessen hajtani ennyi idő alatt.

Tájékoztatására megemlítem, hogy Önt valószínűleg »kutató hallgatónak« tudjuk felvenni. Ez évi 900 font tandíjat von maga után, ami fedezi az Egyetem költségének legnagyobb részét. A Laboratórium minden eszközét és lehetőségét ingyenesen ajánlja fel a kutatásra.

Örülnek, ha azt a hírt kapnám Öntől, hogy tudja vállalni ezeket a feltételeket.

Tisztelettel E. Rutherford

Hevesy György (2. ábra) 1911 januárjában lázas betegen érkezett meg Manchesterbe, ahol később élete legboldogabb éveit töltötte Rutherforddal dolgozva. Valószínűleg jelen volt 1911. március 7-én a Manchester Literary and Philosophical Society (Irodalmi és Filozófiai Társaság) által rendezett összejövetelen. A fizikátörténet szerint Rutherford itt mondta el először nyilvánosan, hogy a kísérletek azt igazolják, hogy az atomnak egy piciny méretű, de nagy tömegű magja van, amely az atom teljes pozitív elektromos töltését tartalmazza. Ezt a napot, 1911. március 7-ét tartjuk ma a nukleáris fizika születésnapjának. A hallgatóság irodalom és tudományok iránt érdeklődő manchesteri üzletemberek és fiaik voltak. (Például az akkor húsz éves *James Chadwick*, aki 21 év múltán majd felfedezi a neutron.) Amúgy az első előadást egy zöldség-gyümölcs nagykereskedő tartotta egy különlegesen ritka kígyóról, amit egy jamaikai banán-



2. ábra. Hevesy György

szállítmányában talált. A kígyót, természetesen, be is mutatta. Utána következett Rutherford. Nem lehetett könnyű helyzetben. Egy ritka kígyó után. Chadwick később így emlékezett vissza: „ez volt a legmegrázóbb előadás számunkra, fiatal fiúk számára, akik akkor voltunk ... Tudatában voltunk, hogy ez a nyilvánvaló igazság, ez Az!”²

De térjünk vissza Worcesterbe! 1909. szeptember 10-én Rutherford előadására dugig megtelt a terem. Ott volt persze Ferenczi és Freud is. (A pszichológusokat és hasonlókat nagyon felizgatta, hogy olyan láthatatlan dolgokról, mint a sugárzás, tudományt lehet csinálni. A lélek sem látható...) Az előadás címe: *A radio-aktív anyagokból származó alfa-részecskék természete*.³

Rutherford kiment a közönség elé, megállt egy ideig mozdulatlanul, szigorúan nézett körül kék szemével bozontos szemöldöke alól, majd rideg hangon megszólalt:

„A radio-aktív anyagok α -sugárzásának természete és tulajdonságai, amelyeket most prezentálok, a legfontosabb és legérdekesebb problémák a radio-aktivitás területén.” (A radio-aktivitás magyarul: sugárzó tevékenység. Rutherford angolul akkor még nem írta egy szóba, csak kötőjellel.) „A sugárzások e típusának gondos tanulmányozása jelentős szerepet játszik sok, nagyon fontos tény felderítésében, amelyek jelentősen bővítik tudásunkat nemcsak a sugárzásról, de a radio-aktív átalakulások természetéről is.”⁴

¹Dr. G. von Hevesy
Karlsruhe
June 25, 1910
Dear Sir,

I have received your letter asking for permission to work at the Physical Laboratory of the University of Manchester on radioactivity.

I shall be pleased to consider favourably your proposal, provided you are able to spend at least a University year in the Laboratory. Some little time is required to become acquainted with the methods of measurement and it is not possible to hope to accomplish even short research under that period.

I may mention for your guidance that you could probably be admitted as a "Research Student". This entails a fee of £ 900 per year to the University and cover the greater part of the University expenses. The Laboratory provides all the apparatus and facilities for research free of charge.

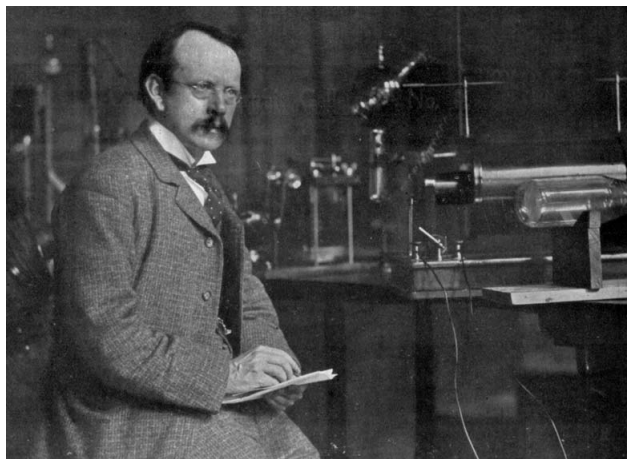
I shall be glad to hear from you whether you will be able to come under these conditions.

Yours sincerely E. Rutherford

²it was "a most shattering performance to us, young boys that we were ... We realized this was obviously the truth, this was it" – in Richard Rhodes: *The Making of the Atomic Bomb*. Simon & Schuster, New York, NY, USA (1986) 50. oldal.

³Ernest Rutherford: History of the Alpha Rays from Radio-active Substances in *Lectures delivered at the celebration of the twentieth anniversary of the foundation of Clark University*. Worcester, Mass., September 7–11, 1909, 83–95.

⁴The nature and properties of the α rays from radio-active substances have presented one of the most important and interesting problems in the field of Radio-activity. A careful study of this type of radiation has been instrumental in bringing to light a number of very important facts which have added much to our knowledge not only of the radiation itself, but also of the nature of radio-active transformations." – in History of the Alpha Rays... 83. oldal.



3. ábra. Joseph John Thomson

Majd szinte monoton hangon ismertette az addig felismert radioaktív sugárzásokat, az α -, β - és γ -sugárzást.

Talán Rutherford a huszadik században az a fizikus, aki számára a kísérleti megtapasztalás volt igazán döntő érv bármilyen vitában. Nagyon egyszerűre tervezett, átláthatóvá megépített eszközei segítségével szinte együtt élt a vizsgált anyaggal, amellyel éppen kísérletezett. Tisztelte a Természetet, tisztelte a tényeket.

Személyiségének ez a tényekhez való szigorú ragaszkodása adott hitelt minden mondatának. Amint előadásában az α -részecskékkal végzett kísérletei és az azokból levont következtetések felé közeledett, merevsége oldódott, szeme csillogni kezdett. Belelendült. És ezzel az intellektuális örömmel fertőzte meg hallgatóit is.

„Geiger és Marsden azt a meglepőényt figyelték meg, hogy egy nehéz fémre, mint például az aranyra beeső 8000 α -részecske közül átlagosan 1 úgy térül el a molekulákkal [értsd a fém alkotóival] való találkozásakor, hogy újra a beesés irányában tűnik fel.”⁵

Nem tudom, hogy aki most olvassa az előbbi mondatot, megérzi-e ennek háborzongató, akkor, abban az időben háborzongató voltát. Mert akkoriban (1909 táján) minden, az átlagosnál műveltebb ember számára már többé-kevésbé elfogadott volt, hogy atomok léteznek. Bennük leheletkönnyű negatív elektronok úszkálnak egy atomméretű pozitív masszában.

Az elektront 1897-ben *Joseph John Thomson* (1856, Manchester – 1940, Cambridge) fedezte fel (3. ábra). Megmérte töltését, tömegét, pontosabban nem ezeket, hanem ezek hányadosát, az e/m fajlagos töltést. Az elektron elektromosan negatív töltésű, fajlagos töltése: $e/m \approx 1,8 \cdot 10^{11}$ C/kg. Felfedezésért 1906-ban kapott Nobel-díjat. Thomson az elektron felfedezése után úgy képzelte el az atomot, mint egy gömbölyű pudingot, amelynek mazsolái az elektronok. A puding pedig az atom elektromosan pozitív töltésű

⁵„Geiger and Marsden observed the surprising fact that about 1 in 8000 α particles incident on a heavy metal like gold is so deflected by its encounters with the molecules that it emerges again on the side of incidence.” – in History of the Alpha Rays... 88. oldal.

anyaga, amelynek tömege csaknem a teljes atom tömegével megegyező (azaz az atommégnél az elektronok piciny tömegével kevesebb).

1897-ben Thomsonnak már annyi kísérleti bizonyítéka lett, hogy bejelentse: a katódsugár nagy sebességű, piciny tömegű, elektromosan negatív töltésű részecskék sokasága. Azaz felfedezte az *elektronokat*. Érdekes, hogy az elektron elnevezés hat évvel korábban, 1891-ben született. Az ír *G. J. Stoney* (1826–1911) „az elektromos töltés alapegységét”⁶ nevezte el elektronnak. (Az elektron szó eredete görög: $\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\nu$ és borostyánt jelent. A gazdag görög férfiak a Balti- és Északi-tenger partján gyűjtött, import borostyánt előszeretettel viselték ékszer gyanánt szőrös keblükön. A borostyán szőrrel dörzsölődve negatív elektromos töltésűvé válik. Apró testeket így magához ránt, majd eltaszít. Ezért ezt az elektrosztatikus jelenséget az ógörögök a borostyánról nevezték el.) Stoney-tól valódi hősi tett volt, hogy az „elektromosság atom”-járól beszélt, mert 1900 előtt a fizikusok nagy része még nem igazán fogadta el az atomok létét, arról nem is beszélve, hogy az elektromosságnak is atomjai lennének. Ami tulajdonképpen érthető. *Michael Faraday* (1791–1867) elektromos és mágneses kísérletei alapján *James Clerk Maxwell* (1831–1879) 1873-ban írta meg értekezését az elektromosságról és mágnességről.⁷ Ebben a kísérletekkel és mérési eredményekkel gyönyörűen összecsendülő matematika, az elektromos és mágneses mezőt egy szonett tömörségével leíró négy Maxwell-egyenlet sokáig bővületében tartotta a fizikusokat. A folytonos mező volt az igazán tiszta fizikai alapfogalom. Az atomok, molekulák csak a maszatos kémia hipotetikus fogalmai. (Amikor én jártam egyetemre, ami azért egy kicsit később volt, 1970 táján, az egyszerűbb lelkű egyetemi fizikus oktatók még mindig leszólták a piszkos kémiát a gyémántcsillogású tudománnyal, a fizikával szemben. Érdekes, hogy ez már akkor is zavart, pedig matematika-fizika szakos hallgató voltam.)

Valószínű, hogy a Worcesterben 1909 szeptemberében, az előadóteremben összegyűlt tömeg (néhány fizikust és Ferenczit kivéve) sem háborzódzott eléggé Rutherford korábban idézett mondatán, mert Rutherford nagyon lassan és tagoltan így folytatta:

„Egy ilyen eredmény hatalmas intenzitású elektromos mezőre hívja fel a figyelmet az atom környezetében vagy az *atomon belül* (kiemelés tőlem, mindjárt mondom, hogy miért), különben lehetetlenség volna, hogy az oly nagy sebességgel mozgó és oly nagy tömegű részecske ekkora nagy szögben megforduljon.”⁸

⁶„the fundamental unit of electrical charge” – in G. J. Stoney: Of the “Electron”, or Atom of Electricity. *Philosophical Magazine* S5V38 (1894) 418–420.

⁷J. C. Maxwell: *A treatise on electricity and magnetism*. Clarendon Press, Oxford, 1873.

⁸„Such a result brings to light the enormous intensity of the electric field surrounding or within the atom, for otherwise it would not be possible for such a massive particle moving with such great velocity to be turned through such a large angle.” – in History of the Alpha Rays... 88–89. oldal.

Ahhoz, hogy egy nagy sebességű és nagy tömegű, tehát óriási lendületű részecske mozgása ekkorát változzon, óriási taszítóerő, tehát óriási elektromos térerősség szükséges. (Gondold el, mintha pingponglabda helyett medicinlabdával pingpongoznál! Mekkora kellene ütnöd?)

A ponttöltés keltette elektromos mező térerőssége,

$$E = \frac{kQ}{R^2}$$

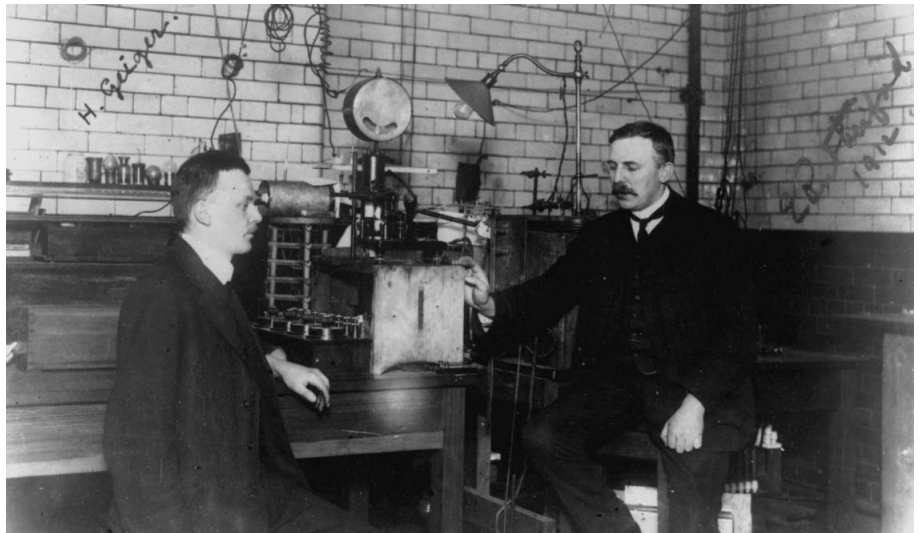
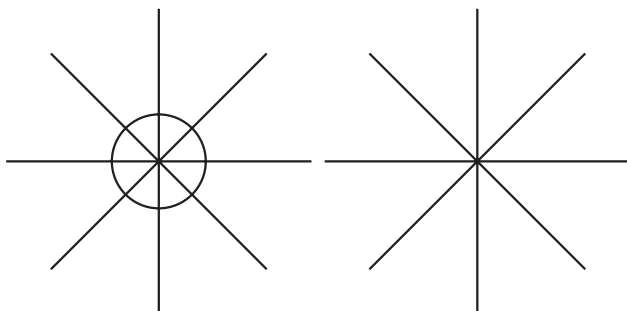
a ponttöltéshez közeledve növekszik. Az egyenletesen töltött gömb pontszerűnek tekinthető a gömbön kívül. A gömb felületénél azonban elérjük a maximális térerősséget, azon belül a térerősség lineárisan nullára csökken a középpontig. Ha az atom pozitív töltése atomméretű, (aranyatom $R \approx 0,144 \cdot 10^{-9}$ m), akkor a felületéig eljutva a térerősség nem elegendő a nagy sebességű α -részecske lendületének megfordításához. Ahhoz, hogy az α -részecske lendületének irányváltozása az elektromos erő hatására a kísérletben tapasztalt csaknem 180 fokot elérje, az atom pozitív töltésének az atom méreténél százezerszer kisebb sugarú gömbben kell tartózkodnia. Ekkor a felületnél a tízmilliárdszor nagyobb térerősség már visszafordítja az α -részecskét (4. ábra).

(Ez a munkatétellel hamar ellenőrizhető. A kísérletben szereplő α -részecskék mozgási energiája körülbelül 10^{-12} J volt. Az atom pozitív töltésének elektromos mezője által végzett fékezési munka, amíg azt az α -részecske R távolságra megközelíti

$$W = k \frac{Q_1 Q_2}{R},$$

ahol Q_1 az α -részecske, Q_2 az aranyatom pozitív töltése, az R pedig az a sugár, amilyen picinynek kell legalább lennie a pozitív „pudingnak” ahhoz, hogy a felületéhez érkezve az α -részecske teljes mozgási

4. ábra. Homogéenen feltöltött R sugarú gömb esetén a térerősség a gömb középpontjától mérve.



5. ábra. Hans Geiger és Ernest Rutherford a manchesteri laboratóriumban 1907-ben vagy 1908-ban. Kettőjük között valószínűleg az őt Geiger-cső van, fenn pedig az az elektroszkóp látszik, amely kilendülésével jelezte, ha a csőbe radioaktivitásból származó, nagy energiájú, ionizáló részecske érkezett.

energiája éppen elfogyjon. $W = E_m$. Mennyi lett az R ? Hányszor kisebb, mint az aranyatom sugara?)

Rutherford már ekkor, 1909. szeptember 10-én Worcesterben azt mondta, hogy az α -részecske az *atomon belül* találkozhatott nagyon erős elektromos mezővel. És bár nyilvánosan még nem mondta ki, de mint az előbb láttuk, ez minden fizikus (és Ferenczi) számára nyilvánvalóvá tette, hogy az atom pozitív töltését NEM egy atomméretű pudिंग hordozza, hanem ennél jóval kisebb geometriai méretbe kell összpontosulnia. Ezt a piciny geometriai méretű, nagy tömegű, pozitív anyagdarabot nevezzük ma atommagnak, angolul nucleusnak. Mondhatnánk, hogy a nukleáris fizika két évvel korábban 1909. szeptember 10-én született meg.

De nem mondom. Csak elgondolkodtam rajta. A fenti idézetek Rutherford 1909. szeptemberi előadásából valók abban az értelemben, hogy az elhangzott előadások szövegét a Clark University könyv alakban kiadta. A könyv 1912-ben jelent meg, benne Rutherford cikkének beérkezési idejéről 1910. szerepel. (Ezen az éves eltéréseken nem kell csodálkozni. Akkoriban a publikálások még nem interneten át száguldoztak, a publikációk megjelenésének sebessége a postahajók sebességén, és a nyomdászok ügyességén múlt.) Mivel Rutherford cikke 1910-ben érkezett meg Manchesterből (UK) Worcesterbe (USA), feltehetnénk, hogy valóban előbb született meg a magfizika, mint 1911 márciusa. Ugyanakkor Rutherford akár 1911. március 7-e után is belecsempészhette a cikkbe a kérdéses mondatokat. Mert megint csak akkoriban a nyomdászok által kiszedett és tördelt, úgynevezett kefelevonatokat mindig visszaküldték a szerzőnek (postahajón!), hogy olvassa át és javítsa, ahol hibát talál. Kevés mondatot, de még ekkor is bele lehetett írni a cikkbe. Így lehetséges, hogy a nukleáris fizika születésnapja mégiscsak 1911. március 7. A ritka kigyó bemutatása után.



6. ábra. 1909-ben csoportkép készült Manchesterben a Fizika Tanszék összes dolgozójáról. Ebből a képből vágtam ki a 7. ábrán látható, az atommag felfedezésében kulcsszereplő három fiatal.

Rutherford elkötelezett becsületessége a kísérleti tények megszerzésében és értelmezésében mégis inkább azt sugallja, hogy a fent idézett mondatok valóban elhangzottak már 1909-ben, Worcesterben. A hozzá vezető kísérletek természetesen jóval korábban történtek. Geiger (5. ábra) és Marsden Manchesterben 1907-ben nem véletlenül kezdte vizsgálni az α -részecskék áthaladását az aranyfólián. Rutherford még

7. ábra. Alul balra Rutherford (38 évesen), a középső sorban jobbra Geiger (27 évesen) és felül jobbra Marsden (20 évesen).



1906-ban a kanadai McGill Egyetemen dolgozván tapasztalta az α -részecskék közel 2 fokos eltérülését, szóródását egyik kísérletében, amikor csillámpalát helyezett a sugárzás útjába. Már ez a két fokos eltérülés is nagyon meglepte. Olyannyira, hogy már akkor kiszámította, hogy eltérüléshez milyen nagy elektromos térerősséggel kellett találkoznia a nagy lendületű α -részecskének. Életrajzírója szerint már ekkor leírta: „Ilyen eredmény világosan mutatja a tényt, hogy az anyag atomjai nagyon erős elektromos mezőnek a székhelyei.”⁹ 1907-ben, Angliába (Manchesterbe) visszaköltözve listát készített a megvizsgálandó jelenségekről. A listán a hetedik az „ α -sugárzás szóródása”¹⁰ volt. A kísérlet kivitelezését Rutherford Geigerre és Marsdenre bízta (6. és annak részlete, a 7. ábra).

Hans Geiger (1882, Neustadt-an-der-Haardt – 1945, Potsdam, Németország) 1907-től néhány évig Rutherfordnál dolgozott Manchesterben, ahol kifejlesztette a ma Geiger–Müller-számlálónak hívott eszköz őst abból a célból, hogy a radioaktív részecskéket egyesével lehessen megszámlálni. Miután kiderítette, hogy a csővel és a szcintillációs ernyőn ugyanannyi α -részecskét lehet megszámlálni, az utóbbival kezdték megfigyelni az aranyfólián áthaladó α -részecskék szóródását, mert a szcintillációs ernyőn a beérkező α -részecske helyét is meg lehetett határozni. Ebben a kísérletben vállalt tevékeny részt az akkor 18 éves Ernest Marsden.

Ernest Marsden (1889, Rishton, UK – 1970, Wellington, Új Zéland). Az arany-, ezüst-, platina- és alumíniumfóliákon áthaladó α -részecskék zöme a két fokos elhajlási tartományban volt. De Marsden alkalmanként „elkószált” α -részecskét is észrevett. Marsden így emlékezett vissza: egy délután bejött hozzájuk Rutherford, és sokat beszélgettek a hiányzó, az elkószáló α -részecskékről. Azután elmentében Rutherford visszafordult hozzá: „Nézd meg, hogy látsz-e a fém felületéről visszaverődő α -részecskéket!”¹¹ Megnézte. Pedig sem ő, sem Geiger, sőt, talán még Rutherford sem hitte, hogy találni fog élesen hátraszóródó α -részecskét. De talált...

Ernest Marsden (1889, Rishton, UK – 1970, Wellington, Új Zéland). Az arany-, ezüst-, platina- és alumíniumfóliákon áthaladó α -részecskék zöme a két fokos elhajlási tartományban volt. De Marsden alkalmanként „elkószált” α -részecskét is észrevett. Marsden így emlékezett vissza: egy délután bejött hozzájuk Rutherford, és sokat beszélgettek a hiányzó, az elkószáló α -részecskékről. Azután elmentében Rutherford visszafordult hozzá: „Nézd meg, hogy látsz-e a fém felületéről visszaverődő α -részecskéket!”¹¹ Megnézte. Pedig sem ő, sem Geiger, sőt, talán még Rutherford sem hitte, hogy találni fog élesen hátraszóródó α -részecskét. De talált...

⁹“Such results bring out clearly the fact that the atoms of matter must be the seat of very intense electrical forces.” – in Norman Feather: *Lord Rutherford*. Blackie & Son, London (1940) 131. oldal.

¹⁰“Scattering of alpha rays” – in *Lord Rutherford*, 117. oldal.

¹¹“See if you can get some effect of alpha particles directly reflected from a metal surface.” – in E. Marsden: *Rutherford at Manchester*. in J. B. Birks (ed.): *Rutherford at Manchester*. Heywood & Co., London (1962) 8. oldal.