

Egy kis szakmai kirándulás

– Megemlékezés a világ első atomreaktorának kritikussá válásáról –

E honlapon energetikai szemlélettel évek óta írok a klímavédelemről és a diktatórikus befolyása alatt álló közös klíma- és energiapolitikáról. Megfogadtam, ha kell újra és újra leirom, akár századszor is, hogy ez a politika mennyire tudománytalan, mennyire tudatosan félrevezető, mennyire hazug, aljas és ártalmas. Az utóbbi időben mások, akár Nobel-díjasok, professzorok, tudósok és szakemberek, szervezetek véleményét és írásait ismertetve mutatom be, hogy szakmai vonalon milyen sokan állnak ki a klímarealista felfogás mellett. Az általánosan elfogadottnak hazudott klímapolitika teljesen negligálja ezeket a véleményeket és nem tűri a bírálatokat. Az írásokból az is kiderül, hogy egyre gyorsulva közeledik az igazság pillanata, mert előbb-utóbb mindig győzedelmeskedik az igazság, az áltudományos állítások és az azokra épülő mozgalmak és politikák szükségszerűen megbuknak. A klímavédelmi politika és a Green New Deal, a zöld átállás már eddig is sok-sok kárt okozott az emberiségnek.

Most, friss szakmai levegőre vágyom, ezért a szakmámhoz tartozóan, annak egy tudományos állomását, **a maghasadás és az első atomreaktor történetét** ismertetem röviden, elsősorban **Teller Ede önéletrajzi könyve**¹ és **Laura Fermi Atom a családban** c. könyve alapján. Nem kommentálva, szigorúan csak szó szerinti idézetekkel.

*** **

Kedves Teller!

Kérem, bocsássa meg a csatolt levél hivatalos hangnemét. Nagyon szívesen látjuk Önt.
Enrico Fermi

Így történt, hogy 1932 késő tavaszán ingyen szobát és ellátást kaptam a Collegium Hungaricum Tiberis-parti épületében, egy ódon palotában, a Palazzo Falconieriben. ...

Fermi éppen olyan nagyszerű embernek bizonyult, mint amilyenek a levele mutatta. Míg ott voltam, igen megkedveltem őt és a feleségét, Laurát is. ...

Épp Rómában voltam, amikor Fermi és fiatal fizikus csoportja neutronokkal kezdte bombázni a periódusos rendszer minden elemét. A neutronokat egy évvel korábban fedezte föl James Chadwick. Fermi és a csoport megfigyelte, hogyan fogják be a neutronokat a különféle elemek atommagjai, és megvizsgálták a keletkező új atommagokat. Megfigyelték az így keletkező béta-radioaktivitást (amikor az atommag kibocsát egy elektront, és maga is megváltozik). E munka során szinte minden nap új és új felfedezést hozott.

¹ Teller Ede: Huszadik századi utazás tudományban és politikában. Huszadik Század Intézet, Budapest, 2002.

Látogatásom után érkezett el Fermi a módszeres kutatómunkában a legnehezebb elemhez, az uránhoz. Amikor az uránatom magját bombázta neutronokkal, elég sok radioaktív elemet figyelt meg, nem csupán egyet vagy kettőt. Mivel minden korábbi esetben a neutron befogása révén nehezebb elemek keletkeztek, Fermi magától értetődően azt feltételezte, hogy ezek az új anyagok még az uránnál is nehezebbek, vagyis megnyitotta a kaput a transzurán elemek előtt.

Fermi fölfedezésének története sajátos, és sok tekintetben ironikus. Ahogy nyilvánosságra hozta eredményeit, levelet kapott egy német kémikustól, Ida Tache Norddacktól. Norddack a férjével, Walterrel együtt talált két új elemet, amelyet masuriumnak és téniumnak neveztek el (ezek közül csak a ténium létezik) Dr. Norddack fölvetette Ferminek, hogy az uránatommag neutronokkal való bombázásakor megfigyelt jelenség alkalmasint az uránmag két részre történő hasadása.

Fermi elutasította ezt az elképzelést. A hasadáshoz bizonyos mennyiségű energiát kell közölni az atommaggal. Csak miután az atommag alaposan eltorzult, akkor válhat a két fél pozitív elektromos töltése hatására uralkodó erővé a taszítás. Ennek az eshetőségét ki lehet számítani a kvantummechanika szerint, de a valószínűség az energiaszükséglettől függ.

Bizonyos, akkoriban elfogadott, de téves adatok alapján Fermi kiszámította, hogy az atommag kettéhasadásának valószínűsége elhanyagolhatóan csekély. Elvetette Dr. Norddack ötletét. Kezében volt a helyes elmélet, de helytelenül értelmezte a kísérleteket. Ha meglelte volna a helyes eredményt, hamarabb lehetett volna a maghasadási láncreakció nyomába eredni. Ki tudja, mi történt volna, ha sikerül. ...

[1939-ben a George Washington Egyetemen] Dr. Brown felkért, az egész karnak tartsak előadást az atomelméletről. ... Az előadás után, amikor kérdéseket lehetett feltenni, valaki megkérdezte: Mikorra dolgozzák ki az atomenergia gyakorlati felhasználását? Azt jósltam, hogy talán jövőre, talán száz év múlva, talán sohasem. Tévedtem. Miközben én Washingtonban előadtam, Berlinben a Kaiser Wilhelm Intézetben két vegyész éppen nekilátott megvizsgálni az első kulcsot az atomenergia felszabadításához. Ez a kulcs vagy hat éve hevert közprédának vetve, de senki sem hajolt le érte.

Korábban említettem, hogy 1932-ben Fermi sorban bombázni kezdte neutronokkal a periódusos rendszer elemeit: ebben a folyamatban radioaktív elemek keletkeztek. Azt találta, ha egy könnyű elem elnyel egy neutront, akkor egyetlen radioaktív elem keletkezik, jellemző felezési idővel. A nehezebb elemek, amelyeknek három vagy több természetben előforduló izotópjuk van, több radioaktív izotópot termelhetnek. Ha egy nehezebb elemnek háromnál kevesebb természetes izotópjuk van, akkor a neutron befogása egy radioaktív izotópot eredményez, amely azután lebomlik és egy másik sugárzó elemet termelhet.

1935-ös koppenhágai látogatásom közben úgy alakult, hogy meghallgathattam Bohr intézetében egy kiselőadást, amelyet Lise Meitner tartott, egy kiváló fizikus, aki akkor a berlini Kaiser Wilhelm Intézet munkatársa volt. Meitnert a Fermi eredményeiben található különbségek izgatták.

Valami furcsaság történik az uránnal – mondta. Miért termel az urán egyszerre tucatnyi radioaktív anyagot, amikor csak egyet volna szabad termelnie?

Fermi a többszörös radioaktivitást azzal magyarázta, hogy új elemek keletkeznek, melyek az uránál nehezebbek, ezért transzurán elemeknek nevezte el azokat. Meitner észrevette a furcsaságot, de nem kérdőjelezte meg Fermi magyarázatát.

Fermi 1938-ban Nobel-díjat kapott a kutatásaiért. De mind kevésbé volt kedve otthon maradni Mussolini Olaszországában. Apósa zsidó volt, az olasz haditengerészet egyik nyugalmazott admirálisa. Hogy egy zsidó ilyen magas rangot viselhetett, pontosan jelzi, hogy történelmileg Olaszországban sem volt járványos az antiszemitizmus. A Berlin-Róma tengely azonban bevezette a náci típusú antiszemitizmust. Ezzel Fermi számára is betelt a pohár, hogy miért kell sürgősen elvinnie a családját Olaszországból. Mindenüket hátrahagyva elutaztak Stockholmba, átvenni a Nobel-díjat; a díjjal járó pénzen továbbutaztak New Yorkba, ahol is Enrico a Columbia Egyetem professzora lett.

1932 elején épp nagy örömmel vártam Fermi a George Washington Egyetem ötödik emeleti konferenciájára, amelyet január 19-20-ra terveztünk. Geo (Gamow-PE) és a jómagam nagy örömeire Niels Bohr, aki éppen akkor érkezett Koppenhágából néhány hétre a Princeton Egyetemen tanítani, ugyancsak elfogadta a meghívásunkat.

A konferencia kezdete előtti napon Bohr késő délután érkezett Geo lakására. Körülbelül egy óra múltán Geo felhívott telefonon. Nagyon izgatott volt a hangja.

Bohr megőrült. Azt mondta, hogy az uránium elhasad. Azzal letette a kagylót. Fél óra alatt rájöttem, mit is mondott Bohr. Ha az urán (a természetben található legnehezebb elem) atommagja elhasad, az többféle módon történhet. Ez megmagyarázza a sokféle egyidejűleg termelt sugárzást.

Meitner kérdésére megjött a válasz, a Szilárd (Leo-PE) kereste eszköz immár kéznél volt, a náci Németország kifejleszthet egy új pusztító fegyvert. Aznap éjjel nyugtalanul aludtam.

A konferencia témája az alacsony hőmérsékletek fizikája volt, meg a szupravezetés akkor még rejtélyes jelensége. Ám Bohr, Bohr volt, a szenzáció meg szenzáció. Úgyhogy Geo azzal nyitotta meg a tanácskozást, hogy (ezúttal jólnevelten) bejelentette, Bohr szeretne valamit mondani. Ezután Bohr válaszolt, hogy min dolgoztak a náci Németországban, közölte a következtetést, hogy a maghasadás megtörtént, és hogy ez Koppenhágában megerősítést nyert. Két német vegyész, Otto Hahn és Fritz Strassmann elhatározta, hogy megvizsgálják két olyan termék tulajdonságait, amelyek az urán bombázásából származnak. ... 1938 decemberében Carl Friedrich von Weizsäcker barátom, aki szintén a Kaiser Wilhelm Intézet munkatársa volt, hozzásegítette Hahnt és Strassmant a felismeréshez, hogy maghasadásnak kellett történnie.

A maghasadás elképesztő felfedezés volt. Hahn rögvest írt barátnőjének, Lise Meitnernek, aki akkor már Koppenhágában dolgozott. Meitner osztrák zsidó volt, és ezért alig néhány hónapja kidobták a Kaiser Wilhelm Intézetből. Meitner az unokaöccsével – egyszersmind munkatársával -, Otto Frischsel, aki ugyancsak Koppenhágában tartózkodott, sebtében kísérletbe kezdett, a hír ellenőrzésére. Ha az urán kettéhasad, a hasadványok bizonyosan

nagy sebességgel távolodnak egymástól, és sok elektront veszítenek. Az erősen töltött repeszdarabok ez esetben szokatlan mennyiségű energiát adnak le egy Geiger számlálóban (töltött részecske detektorban). Meitner és Frisch megbeszélte ezt a tervet Bohrral, még mielőtt Bohr elutazott volna Koppenhágából, a kísérlet sikerét pedig utána táviratozták a hajóra. Így, Bohr, mielőtt New Yorkba ért, már tudta a hírt. Nem sokkal később megérkezett Washingtonba.

De bármi bámulatos volt a hír, Bohr bejelentését lagymatag társalgás követte. ...

Aznap este Merle Tuve látogatásra hívta a konferencia résztvevőit a földmágnességi intézetbe. Ott láthattuk, amint ő és a munkatársai bemutatják az uránhasadást egy Geiger-számlálóval. Bohr bejelentése után ugyanis Tuve visszaroht a laboratóriumába, és néhány óra alatt összeállította és megismételte a Meitner-Frisch-féle kísérletet.

Engem a kísérletnél is jobban ámulatba ejtett, hogy a hasadás titka annyi éven át kijátszhatott mindenkit. Egyik kísérletében Fermi uránt bombázott neutronokkal, hogy megfigyelje azokat az alfa-részecskéket, amelyek többletenergiát vesznek föl a neutronoktól. A kísérletet Geiger-számlálóval végezte, úgyhogy a nagy energiájú hasadási termékek nem kerülhették volna el a figyelmét. Csakhogy Fermi igen gondosan kísérletezett. Vékony réteg közömbös anyaggal letakarta az uránt, hogy megállítsa a többletenergia nélküli, normális alfa-részecskéket, amelyek nem érdekelték. Ha Fermi csak egyszer is elfelejtette volna letakarni a mintát, a hasadást évekkal hamarabb föl kellett volna fedeznie.

Paul Scherrer fizikus Zürichben még közelebb került a fölfedezéshez. Tóriumot (amely Szilárd másik kedvenc jelöltje volt) bombázott neutronokkal, és ő is észlelte azokat a hasadványokat, amelyeket Meitner és Frisch azonosított. De Scherrer nem hitt a szemének. Azt gondolta, elromlott a Geiger-számlálója. Ami nem felel meg a várakozásunknak, azt nem látjuk meg!

1939-ben fel sem mértem, micsoda szerencse volt, hogy Rómában vagy Zürichben nem történtek meg azok a kis módosítások a kísérletekben. Ha a hasadást 1933-ban fölfedezik, akkor Németországban és a Szovjetunióban – abban a két országban, ahol komolyan vették a tudomány katonai alkalmazását – 1939-ben már igen előrehaladott állapotban lett volna a munka. Eltérő körülmények között bizonyára nem az Egyesült Államoknak lett volna először nukleáris robbanó anyaga. Fermi, Scherrer és Szilárd a maga ilyen vagy olyan módján egyaránt nagyon jótékony hatást gyakorolt a történelem menetére. ...

Szilárd állásban a Columbián volt, de nem hívták meg a konferenciára, mert az alacsonyhőmérsékletű fizikája nem tartozott az érdeklődési körébe. Mindazonáltal hallotta a hasadás hírért, amely futótűzként terjedt a fizikusok világában. Nem lepte meg, hogy a tanácskozás résztvevői közül senki sem lépett tovább, eltekintve a hasadás tényének megerősítésétől. Ő viszont ott folytatta, ahol a konferencia abbahagyta.

Most már - jelentette ki ... az atomenergia és az atomrobbantás kivihető, csak annyi kell hozzá, hogy átlagosan egynél több neutron lépjen ki a hasadás folyamatában.

Szilárd nekifogott kísérletet tervezni, amelyből kiderül, vajon tényleg termel-e a hasadás többletneutronokat. Körülbelül egy hónappal később egy Mozart szonátát játszottam a háztulajdonos minősíthetetlen zongoráján egy jól hegedülő ismerőssémmel. A darab közepén

megszólal a telefon: Szilárd hívott New Yorkból. Abban az időben a távolsági hívás még rendkívüli esemény volt minálunk, de a tartalma még rendkívülibb volt: „Megtaláltam a neutronokat”. Miközben visszatérem a zongorához, tudtam, hogy a világ radikálisan megváltozhat. Az atomenergia munkába fogása dermesztően valóságosnak látszott.

Bohr az Egyesült államokban maradt és Princetonban dolgozott a hasadásból fakadó következtetéseken. Ő azonban éppen ellenkező eredményre jutott ..., mert Szilárd úgy vélte, hogy az atomenergiát gyakorlatilag lehetetlen felhasználni. ...

Korai kutatásaiban Fermi megfigyelte, hogy az atommagok szabály szerint könnyebben fognak be lassú neutronokat, mert azok több időt töltenek a közelükben. Ám a hasadás termelte neutronok gyorsan mozognak. A láncreakcióhoz a következő egyszerű láncszem szükséges: a hasadás termeljen neutronokat, a neutronok pedig okozzanak további hasadásokat. Bohr megértette, hogy a lassú neutronok növelik a hasadás valószínűségét. De mivel az általa megfigyelt hasadás valószínűsége százszor kisebb volt a vártnál, Bohr arra gondolt, hogy csak a ritka U-235-ös uránizotóp részese a dolognak. Ebből arra következtetett, hogy a láncreakció működik ugyan az U-235-ös izotópban, de nem működik a természetes uránban, amely csaknem tiszta U-238. A parányi töredék U-235-öst kiválogatni hihetetlenül nehéz volna, ugyanis az izotópok tulajdonságai majdnem azonosak. Ezért számára nem tűnt megvalósíthatónak a láncreakció az uránban.

Bohr alapgondolata helyesnek bizonyult, de két további lehetőséget kellett tovább gondolni: szétválasztani az izotópokat és csak az U-235-öst használni, vagy módszeresen lelassítani a neutronokat. Ha gyors neutron ütközik U-238 uránatommal, a neutron rendszerint hasadás nélkül elnyelődik. Ha a többi neutront a további ütközések még jobban lelassítják, akkor olyan hatékonyan hasíthatják az U-235-ös atomokat, hogy a jelen levő szemernyi U-235-ös hasadása is elegendő neutront bocsát ki a láncreakció folytatásához. Ez a lassú kibocsátás nem robbanáshoz, hanem egy atomreaktorhoz vezet, amely képes mind energiát, mind fontos tulajdonságokkal rendelkező új elemeket termelni. ...

Mindazonáltal a következő néhány hónapban elterjedt az a felfogás, hogy a hasadáskutatási eredményeket nem szabad közölni a nyílt sajtóban. ... Ennél a mérföldkőnél a tudóstársadalom megelőzte a kormányt a felfedezés veszélyének a felismerésében.

Néhány tudós megpróbálta felhívni a kormány figyelmét a hasadásban rejlő lehetőségekre, igyekezték támogatást szerezni a kutatás folytatásához. ... De nem értek el semmit. ...

1939 nyarán a Columbia Egyetem nyári tanfolyamán tanítottam. Végzett hallgatóknak tartottam előadásokat, de elsősorban azért hívtak meg, hogy legyek afféle tanácsadó és békebíró a Fermi - Szilárd-féle láncreakció-vállalkozásban. Fermi és Szilárd is felkért, hogy dolgozzam velük. Egymással épphogy köszönőviszonyban voltak. ...

(Szilárd) egyik nap megkérdezte: - Elvinnél Long Island végébe holnap, Einsteinnel találkozni? – Szilárd meg tudta valósítani a lehetetlent is, de autót vezetni nem tanult meg. Azt feleltem, hogy elviszem. Nagyjából tudtam, hogy mi a látogatás célja. Szilárd mindenképpen figyelmeztetni akarta a kormányt a hasadási fegyver lehetőségére. Elhatározta, hogy levelet ír

Roosevelt elnöknek, és hogy az elnök is elolvassa azt, hát rábeszélte híresebb barátját, Albert Einsteint, hogy ő írja alá.

Így történt, hogy egy kora augusztusi napon fölkerekedtünk Long Islandbe. ...

Einstein teára hívott minket, majd Szilárd előhúzott a zsebéből egy géppel írott levelet:

Old Grove Road
Nassau Point
Peconic, Long Island
1939. augusztus 2.

F. D. Rooseveltnek,
Az Egyesült államok elnökének
Fehér Ház
Washington D.C.

Uram! ...
...
Igaz híve,
Albert Einstein

(A levél az interneten olvasható – PE)

Einstein nagyon figyelmesen elolvasta a levelet. Csak egyetlen megjegyzést tett. ... Einstein aláírta a levelet és mi távoztunk.

Hallottam, hogy Szilárd átadta a levelet Alexander Sachsnak, a bankárnak, Roosevelt ismerősének, aki vállalta, hogy eljuttatja az elnöknek. Ez a postaszolgálat lassú volt, de hatékony. Majdnem tíz héttel később eljött a lélektanilag megfelelő pillanat (miután Hitler és Sztálin meghódította és felosztotta Lengyelországot), és a levél célba ért. Roosevelt rögtön cselekedett. Az elnök uránügyi tanácsadó bizottságot állított fel, vezetőjévé D. Lyman Briggst, a washingtoni Szabványügyi Hivatal fejét nevezte ki. ...

Szilárd és Wigner tovább szorgalmazta a hasadási kutatások támogatását, majd egy idő után engem is szólásra kértek. Jó előre közöltem, hogy csupán Fermi üzenetét adom át, majd elmagyaráztam, hogy az első szükséges vállalkozás egy láncreaktor építése lenne. A Columbia Egyetem kutatói önkéntesen rendelkezésre bocsátják a laboratóriumukat, tettem hozzá Fermi tanácsára. Csakhogy a neutronok elnyelés nélküli lelassításához igen sok és rendkívül tiszta grafit kell, az pedig drága. ...

Az uránterv 1940 őszén nagyobb hangsúlyt kapott, de Briggs bizottsága akadályba ütközött: sem Fermi, sem Szilárd, sem én nem voltunk amerikai állampolgárok. Wigner is csak 1937-ben kapta meg az amerikai állampolgárságot. Mivelhogy a bizottságban hétpecsétetes titokról volt szó, egyikünk sem vehetett részt az értekezleten. Csakhogy közben az Uránbizottság pontosan Fermi és Szilárd kutatási eredményeit beszélte meg, és a hozzáfűzni valókat nemigen nélkülözhetette. Ezen a bökkenőn úgy segítettek, hogy kineveztek bennünket tanácsadóknak.

Ezen közben az ország túlsó felén Ed McMillan és Glen Seaborg fölfedezett két transzurán elemet, a neptúniumot és a plutóniumot, és megállapították, hogy – előzetes feltételezésüknek megfelelően – a plutónium éppen olyan könnyen hasad, mint az U-235-ös uránizotóp. ...

Ám alig költöztünk be az új lakásba (Washingtonban – PE), amikor meghívtak a következő évre a Columbia Egyetemre. Kívülről olybá tűnt, mintha tanári szerepet töltenék be, hasonlót, mint a George Washington Egyetemen, de rájöttem, hogy elsősorban azért ajánlották fel az állást, mert szükség volt rám a reaktorvállalkotásban. ...

Úgyhogy további lelkigyakorlatok nélkül határoztam: bekapcsolódom az atomenergia és az atomfegyverek kutatásába. Tudtam-e, hogy mibe keveredem? De még mennyire, hogy tudtam. Megbántam-e a döntésemet? Nem. ...

A Columbiára váltás csodálatos jótéteménnyel járt: sok kiváló tudóssal dolgozhattam együtt. Különösen élvezetes volt a közös munka Fermivel. A munkacsoport, benne régi barátommal, Fermin kívül Wigner Jenővel és Szilárd Leoval azt kutatta, hogyan lehetne megépíteni egy reaktort. A reaktort a lehető leghamarabb el kellett készíteni, és a tervezés nagy kihívás volt.

A nukleáris lánreakció a hasadás eléréséhez számtalan problémát meg kellett oldani. Már említettem, hogy a neutronok sebessége határozza meg, hogy mi a valószínűbb: elnyelik-e őket az U-238-as izotópok, vagy hasadást okoznak a jelen lévő szemernyi U-235-ösben. Ha a hasadási folyamatból gyors neutron lép ki, akkor az a legvalószínűbb, hogy egy U-238-as magnak ütközik, amely elnyeli. Ekkor a lánreakció leáll, habár a keletkező nehezebb atommag végül is plutóniummá változik, és ez az anyag nagyon érdekes. Mivel a lassú neutronok nagyobb valószínűséggel okoznak maghasadást, az uránt neutronlassító anyaggal kell körbevenni, olyannal, amely lassítja a neutronokat, de nem nyeli el őket.

A neutron a fele energiáját elveszíti, ha hidrogén atommagjával ütközik, amely csupán egyetlen, a neutronnal majdnem azonos súlyú protonból áll. Huszonöt ütközés után már elég lassú ahhoz, hogy az uránba visszatérve nagyobb valószínűséggel okozzon hasadást az U-235-ben, semmint, hogy elnyelje az U-238. A víz tehát egy ideális fékezőanyag lehetne.

A vízzel azonban két nehézség van. A neutronok már 25 ütközés előtt visszakerülhetnek az uránba, ahol elnyeli őket az U-238. A másik baj az, hogy a hidrogén is jó étvággal nyeli el a neutronokat, így pedig a neutronok ugyancsak elvesznek a lánreakció számára.

Mindkét problémát meg lehet kerülni külön-külön, de nem egyszerre. ...

A megoldás, hogy más lassítóanyagot kell használni. Ha kevés vizet használunk, akkor kevés neutron vész el, viszont a neutronok hamar kerülnek vissza az uránba. Ha sok vizet használunk, akkor a neutronok kevésbé tévednek vissza idő előtt az uránba, de kevesen maradnak. Sajnos a sok és a kevés víz között megtalálni az egyensúlyt olyan kötéltánc, ami gyakorlatilag majdnem lehetetlen. A korszerű reaktoroknál látjuk, hogy ha az uránban feldúsítjuk az U-235-ös izotópot, akkor a közönséges víz is használható neutronlassító anyagnak. Mi azonban 1941-ben még kénytelenek voltunk megelégedni a természetes urán üzemanyaggal.

A megoldás, hogy más lassítóanyagot kell használni. Az első reaktor számára választott lassítóanyag a szén volt, tiszta grafit formájában. ...

Míg a reaktor kitalálása ekképpen haladt, módszereket kerestek az uránizotópok elválasztására (az U-235 dúsítására – PE) is. ...

Akkor ősszel (1941 – PE) egész nap, miközben a reaktorterven dolgozók egy csoportjával éppen visszafelé sétáltunk a Pupin Hallba vagy a fizikai laboratóriumba, Fermi megkérdezte, gondoltam-e már arra, hogy atomrobbantással esetleg termonukleáris reakciót lehet kiváltani.

* * * *

Ezek azonban már újabb, még izgalmasabb történetekhez vezetnek, amelyek végén megszületnek az atom- és hidrogénbombák, amelyekről Teller Ede könyve ugyanilyen részleteséggel beszámol.

Becsukom Teller Ede fantasztikus könyvét, de visszatérek még az első atomreaktor (CP-1) történetéhez, azonban **Laura Fermi** könyve alapján, amely férje visszaemlékezéseire építve részletesebben beszámol a reaktor építéséről²:

A nagy titoktartás akkor kezdődött az életünkben, amikor Chicagóba költöztünk. Enrico minden reggel munkába ment, nem a fizikai épületbe, nem is egyszerűen a laborba, hanem a „Fémlaborba”, a metallurgiai laboratóriumba. Ott aztán minden szigorúan titkos volt. Nekem is csak egy titkot árultak el: a metallurgiai laboratóriumban nem voltak metallurgiai szakemberek. ...

Ősszel Mr. és Mrs. Arthur H. Compton – később tudtam meg, hogy ő volt megbízva a „metallurgiai tervvel” - egész sor összejövetelet rendezett az újonnan jöttek számára a Éémlaborban. ...

Így történt, hogy 1942-ben, december elején nagy fogadásra hívtam meg a fémkutatókat, akik Enricoval dolgoztak, meg a feleségeiket. ... Walter (Zinn - első vendégként) Enrico felé tárt karokkal mondta:

- Gratulálok!

- Gratulálok? – kérdezem zavartan. – Mihez? De ügyet sem vetettek rám. És ez így ment mindaddig, amíg az utolsó vendég meg nem érkezett. Érdeklődésekre egyáltalán nem válaszoltak, vagy efféle kibúvó feleletet adtak: Kérdezze meg a férjét. ...

- Leona (Woods, aki egyedüli nőként dolgozott a csoportban – PE) segíts rajtam. Mondd meg mivel érdemelte ki Enrico ezeket a gratulációkat? – Leona lehajolt hozzám rövid koromfekete hajjal borított fejével, úgy súgta oda:

- Elsüllyesztett egy japán tengernagyot.

² Laura Fermi: Atom a családban. Enrico Fermi élete. Gondolat Kiadó, Budapest 1966

- Ne viccelődj velem – tiltakoztam.

De Herbert Anderson megerősítette Leona állítását.

(Két és fél év múlt el. Egyik este, röviddel azután, hogy a japán háború véget ért, Enrico egy sokszorosított, papírkötésű könyvet hozott haza.

- Egészen biztos érdekes lesz számodra a Smyth-riport. Az összes atomenergiára vonatkozó visszatartott információ benne van. Csak most engedélyezték a kiadását. Ez egy előzetes példány. ... Míg a könyv közepéig értem, kiderült, hogy miért gratuláltak annyian azon a bizonyos estélyen Enriconak. Aznap délután ugyanis sikerült megindítani az első láncreakciót. ... A fiatal Leona Woods úgy ítélte meg a tettet, mint ami egyenértékű olyan tengernagyi hajó elsüllyesztésével, amelyen a tengernagy is ott van. Az atombomba még a jövő méhében szunnyadt, és Leona nem láthatta előre Hirosimát.)

Eközben a Fémlaborban Herbert Anderson és csoportja szintén épített kisebb atommáglyákat, hogy viselkedésükből nagyobb máglya építéséhez információkat gyűjtsön. A legjobb hely, amit Compton a máglya építéséhez találhatott, a Chicagói Egyetem stadionjához tartozó Stagg Field nyugati szárnya alatt levő fedett teniszpálya volt. ...

A Fémlaborban szokás volt gátlás nélkül káromkodni. Így vezették le a feszültséget, amelyet az idővel folytatott küzdelem okozott. Hozzájut-e az atomfegyverekhez Németország, még mielőtt az Egyesült államoknak sikerülne? ...

A siker tavasszal vált bizonyossá. Az egyik kis máglya, amelyet a fedett pályán raktak össze, azt mutatta, hogy az összes föltétel – az anyagok tisztasága, az urán elosztása a grafitban – olyanok voltak, hogy egy kritikus méretű máglya alkalmas lesz a láncreakcióra. ...

Mert nem volt elegendő anyagunk, sem uránium, sem grafit. Az uránium beszerzése mindig akadályokba ütközött. Mindig gátolta az előrehaladást. ...

A máglya váza fatörzsekből állt. Amint egy tönköt elhelyeztek, meghatározták a következő tönk méretét és alakját. A fedett pálya és a közelében lévő ácsműhely között állandó ingajarat létesült. ...

Amikor a fizikusok a grafitéglákkal kezdtek dolgozni, minden fekete lett. A fedett pálya falai is ezzel egyidőben megfeketedtek. Aztán gyorsan növekedett a grafitból rakott óriási fekete tömb. Grafitpor borította a padlót, tette feketévé és olyan síkossá, mint valami táncparkettet. Fekete alakok csúszkáltak rajta, overállos és autószemüveges alakok. Volt közöttük egy nő is, Leona Woods. ...

A máglya egyébként sosem érte el a mennyezetet. Úgy tervezték, hogy nyolc méter átmérőjű gömbalakú lesz, de az utolsó rétegek sosem kerültek a helyükre. A gömb teteje lapos maradt. Légüres térre sem volt szükség (a parazita neutronelnyelés csökkentése érdekében a máglya köré egy erre a célra kialakított hatalmas ballont terveztek, amelyből kiszivattyúzták volna a levegőt, de erre nem került sor – PE), és a gumiballont sem zártál le. A kritikus méretet is előbb elérték, mint számították.

Az első grafittégla lerakásától mindössze hat hét telt el, és elérkezett december másodika reggele.

Herbert Anderson álmos és kimerült volt. Hajnali kettőig talpon volt, hogy az utolsó simításokat elvégezze a máglyán. ...

Nincs följegyezve annak a három fiatalembernek az érzése, akik ott kuporogtak a máglya tetején, a négyszögletű mennyezet alatt; úgy hívták őket, hogy „öngyilkos osztag”. Ez vicc volt, de megkérdezhették volna maguktól, nincs-e némi igazság benne? Olyanok voltak, mint a tűz eshetőségére fölriasztott tűzoltók, akik készen állnak, hogy eloltsák a tüzet. Ha valami váratlan dolog történik, ha a máglya kicsúszik az ellenőrzés alól, nekik kellett „eloltaniuk” kadmiumoldat kiöntésével. A kadmium elnyeli a neutronokat és ezzel lefojtja a láncreakciót.

...

Azok között, akik azon a reggelen összegyűltek a fedett pályán, volt valaki, aki nem tartozott a Fémlaborhoz: Mr. Craford H. Greenewald az E. I. du Pont de Nemours-tól; Később ő lett a Társaság elnöke. Arthur Compton az egyik közeli szobából tessékelt be az illetőt, aznap ugyanis történetesen ő meg a Társaság más emberei megbeszélést tartottak a hadsereg magasrangú tisztjeivel.

A hadsereg augusztusban átvette az Uránium Tervet és elnevezte Manhattan Kerületnek. Szeptemberben Leslie R. Groves tábornokot bízták meg a vezetésével³. Groves tábornok úgy látszik magabiztos természetű ember volt: még mielőtt a láncreakció sikerült volna, máris sürgette a duPont de Nemours Társaságot, hogy ipari szinten építsen és működtessen atommáglyákat (plutónium termelés céljából – PE.)

A hallgatóság között tökéletes csend volt, csak Fermi beszélt. Szürke szemein látszott, hogy feszülten összpontosítja gondolkodását, és gesztusai követték a gondolatait.

- A máglya jelenleg nem működik, mert a belsejében lévő kadmiumrudak elnyelik a neutronokat. A láncreakció megakadályozásához egyetlen rúd is elegendő. Az első lépésünk tehát az lesz, hogy ezeket a szabályozó rudakat kivesszük a máglyából, kivétel azt, amelyet majd George Weil kezel ... - Amint ezt kimondta, a többiek cselekedtek. Minden apró munkát előre megbeszéltek és kipróbáltak. Fermi tehát tovább magyarázott és kezével megmutatta, miről beszél.

- Ez a rúd, amelyet a többivel együtt kihúztunk, automatikusan szabályozódik. Ha a láncreakció túllépi az előre meghatározott határt, a rúd automatikusan visszamegy a máglyába.

- Ez az írószerkezet a sugárzás intenzitásának a görbét írja le. Ha a máglya láncreakciója megindul, a toll által leírt vonal egyre csak fölfelé halad és sose hajlik vízszintes irányba. Más szóval ez lesz a meghatározó görbe. – Most elkezdjük a kísérletet. George Weil kihúzta egy időre egy kicsit a rudat. Méréseket végzünk, és megbizonyosodunk róla, hogy a máglya működésbe lépett-e, amint számítottuk.

³ Leslie R. Groves tábornok később egy rendkívül érdekesítő könyvet írt a Manhattan-tervről. A könyv magyarnyelvű fordítása 1966-ban jelent meg a Kossuth Kiadónál Az atombomba születése címmel.

- Weil négy méterre fogja beállítani a rudat. Ez annyit jelent, hogy a rúdból még négy méter a máglya belsejében marad. A számlálók gyorsabban fognak kopogni, és a toll föl fog szaladni eddig a pontig, aztán vízszintesbe megy át. Rajta George!

A szemek az írószerkezetre szegeződtek. Lélegzetüket visszafojtották. Fermi nagy biztonsággal vigyorgot. A számlálók elkezdtek kattogni; a toll fölszaladt, aztán megállt, ahol Fermi jelezte. Greenwalt hangosan éljenzett.

Fermi tovább vigyorgot. További utasításokat adott.

Valahányszor Weil egyre jobban kihúzta a rudat, a számlálók kopogása meggyorsult, a toll fölment a Fermi által megjelölt pontig, ahol a görbe megint vízszintesbe hajlott. ...

Már ebédidő volt, és bár senki nem adta jelét, hogy éhes, Fermi, aki a szokások embere kimondta azt az azóta történelmi nevezetességű mondatot:

- Menjünk ebédelni!

Ebéd után mindnyájan elfoglalták a helyüket Mr. Greenwalt határozottan izgatott, majdnem türelmetlen volt. De a kísérlet megint csak lassú léptekkel haladt tovább, egészen 3 óra 20 percig.

Fermi mégegyszer odaszólt Weilnek:

- Húzzunk ki még vagy harminc centit! – De ezúttal már hozzátette, miközben odafordult a balkonon aggódó csoporthoz: - Ez megteszi a magáét. A máglyában most megindul a láncreakció.

- A számlálók megugrottak; az írószerkezet tolla kezdett fölfelé szökni. Semmi jelét nem mutatta, hogy megálljon, és a görbe vízszintesbe csapjon át. A máglyában megindult a láncreakció.

Mindenkiben az a kikezdzhetetlen kérdés motoszkált:

- Mikor fogunk megijedni?

A ballon tetején várakozó öngyilkos osztag éberem, készen állt a folyékony kadmiummal: itt volt a döntő pillanat. De nem sok történt. A csoport huszonnyolc percig figyelte még a jelzőszerkezetet. A máglya úgy viselkedett, ahogy kellett, ahogy remélték.

A történet további része jól ismert dolog, Wigner Jenő, a magyar származású fizikus, aki 1939-ben Szilárdal és Einsteinnel föl hívta Rooseveltnél a figyelmét az atomhasadás fontosságára, átadott Ferminek egy palack Chiantit. Egy valószínűtlen legenda szerint Wigner az egész kísérlet folyamán a háta mögött tartotta az üveget.

Az összes jelenlevők ittak. Köszöntők nélkül csöndben papírpoharakból. Aztán mindannyian aláírták a palackot borító szalmát. Ez az egyetlen jegyzőkönyv, amelyet aznap a fedett pályán készítettek. ...

Arthur Compton interurbán felhívta a Harvard Egyetem Tudományos Fejlesztési és Kutatási Irodáján dolgozó Mr. Conantot.

- Az olasz hajós elérte az Újvilágot – mondta Compton, amint Conan fölvette a kagylót.

- És hogy fogadták őt a bennszülöttek?

- Nagyon barátságosan.

Itt véget ért a hivatalos történet, de azért van hozzá egy kis kiegészítés. A dolog akkor kezdődött, amikor ugyan azon délután egy fiatal fizikus, Al Watterberg észrevette az üres Chiantis palackot, amelyből mindannyian ittak. A rajta levő aláírások miatt remek emléknek ígérkezett. A következő évben Al Watterberg, akár csak a többi fizikus kivette a részét az utazásokból, és a palack mindenüvé követte őt. Midőn a Chicagói Egyetemen az atommáglya tízéves évfordulójának megünneplését kezdték tervezgetni a palack és Watterberg egyaránt Massachusetts államban, Cambridge-ben tartózkodott. Al megígérte, hogy december 2-án ott lesznek Chicagóban.

De valahogyan úgy fordult a dolog, hogy egy kis Watterberg éppen akkor készült a világra jönni. Al tehát nem vehetett részt az ünnepségen. Így hát hajóra adta a palackot, és mivel kétszeresen is biztos akart lenni afelől, hogy nem törik el, ezer dolláros biztosítást kötött rá. Elég ritka dolog, hogy egy üres üveget ilyen nagy értékre becsülnek, úgyhogy az újságírók, akik folyton valami szenzációra vadásznak, kiemelkedő szerepet adtak a történetnek az újságokban.

Néhány hónappal később Fermi meg néhány más fizikus ajándékot kapott: egy láda Chiantit. Egy importáló cég így fejezte ki hálóját az ingyen reklámért, amit a Chiantinak szereztek.

* * *

Ezzel a történet végéhez érkeztünk. Pedig az igazi nagy történet csak most kezdődik. E nagy fizikusok, akiről szó van, Los Alamosban, az újonnan felépített „zárt telepen” újra találkoznak, hogy eredményesen véghez vigyék a Manhattan-tervet, az USA talán egyik legnagyobb vállalkozását, amelyet az említett Groves tábornok irányított. Ennek célja egyértelműen az atomfegyver kifejlesztése volt. Az attól való félelem, hogy Németországban is eredményesen folyhat nukleáris fegyver előállítás, összefogásra ösztönözte a tudósokat, de a világháború végén az atombombák ledobása már megosztotta őket.

Az első atommáglya 50 éves évfordulóját is méltóképpen megünnepezték Chicagóban. Ez alkalomra emléktárgyakat készítettek az atommáglya grafit tömbjeiből, amint az alábbi ábrán látható:



Emléktárgyként a plexibe öntött grafitrudacska

Büszke vagyok, hogy birtokosa lehetek egy ilyen emléktárgynak. És ha már itt tartok, még egy kis személyes kiegészítést is hadd tehessek a CP-1 reaktor ismertetett első kritikussá varázsolásával kapcsolatban. Az atomerőművek szabályozása c. egyetemi előadásaim során a legkedvesebb fejezetem volt az atomreaktorok dinamikus viselkedésének ismertetése. Ugyanis másképpen viselkednek szubkritikus ill. szuperkritikus állapotban. A leírásból kiderül, hogy Fermi már akkor, amikor az atomreaktorokkal kapcsolatos szakkifejezések még ki sem alakultak, a reaktorok dinamikus viselkedésével teljesen tisztában volt. Hiszen ennek ismeretében irányította a szabályozórúd szakaszos kihúzását. Az ismertetésből viszont valami elmaradt. A szabályozó rúd utolsó 30 centiméteres kihúzásakor a „máglyában megindult a láncreakció”, azaz a reaktor szuperkritikussá vált. Ekkor „az írószerkezet tolla kezdett felfelé szökni. Semmi jelét nem mutatta, hogy megálljon, s a görbe vízszintesbe csapjon át”. Valóban, ha nem történik újabb beavatkozás a reaktor akár tragikusan „megfuthatott” volna. Ennek elkerülésére egy előre meghatározott neutron sokszorozási szinten (a regisztrált felfutó görbe egy adott pontján) Fermi biztosan utasítást adott a szabályozórúd visszatolására olyan mértékben, hogy az új egyensúlyi állapot itt beálljon, azaz a reaktor stabil kritikus üzemiállapotba kerüljön. (Habár Fermi egy automatikus szabályozó rúdról is említést tesz.) Ezeknek az állapotoknak a jellemzésére a későbbiekben az ún. neutron sokszorozási tényezőt (k) definiálták. Ha $k < 1$, a reaktor szubkritikus; ha $k = 1$, a reaktor kritikus állapotban van; ha $k > 1$, a reaktor szuperkritikus. A szabályozástechnikában járatosak precízebben jellemzik a dinamikai tulajdonságokat. Szubkritikus állapotban a reaktor önbeálló, egytárolós arányos tulajdonsággal, szuperkritikus állapotban nem önbeálló, kétszeresen integráló tulajdonsággal.

A reaktorfizika napjainkig a fizika egyik letisztult szép fejezetévé vált, amely a reaktortervezés elméleti alapját képezi.

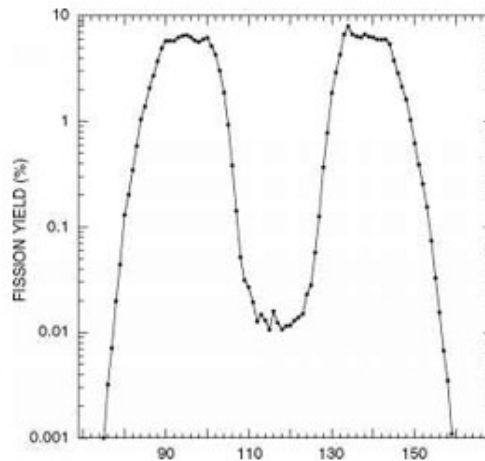
A Budapesti Műszaki Egyetemen 1959-ben indult a reaktortechnika oktatása a Hőerőművek Tanszéken, és 1962-ben Dr. Lévai András tanszékvezető professzor kezdeményezésére megindult országosan elsőként a négy szemeszteres szakmérnöki posztgraduális oktatás, éppen atomtechnikai

szakkal, az Országos Atomenergia Bizottsággal (OAB) való közös szervezésben. Ugyancsak Lévai professzor kezdeményezésével és az OAB támogatásával épült később a Tanreaktor.

(Petz Ernő, 2023. 12. 02. – az első reaktor kritikussá válásának évfordulóján)

Egy kis ráadás a maghasadásról

Az ismertetésből kiderül, hogy az U-235-ös atommag hasadásakor különböző hasadványok keletkeznek, két-két „középnhez” atommag. A keletkezésük gyakorisági görbéje a tömegszám függvényében itt látható:



A keletkező új atommagok igen sokfélék lehetnek: egy-egy atommag pár a görbe két külső szakaszához, ill. a belső ágakhoz tartozóan. A legnagyobb gyakorisággal a 90-100 körüli és a 135-145 körüli tömegszámmal rendelkező atommagok keletkeznek. Az izotópok sokfélesége még sokkal nagyobb attól függően, hogy éppen mennyi neutron kerül egy-egy adott protonszám (rendszám) mellett az egyik ill. a másik hasadványhoz. Mindez jól elképzelhető két magyar feltaláló atommagmodelljei alapján. Sindey László és fia, Sindey Dániel modelljeiben a protonok kívül és a neutronok belül helyezkednek el úgy, hogy a magerők a legstabilabb térbeli állapotba hozzák őket. Minden elem és egyes stabil izotópjainak atommagjait acélgolyókból meg is építették (csapágygyárártól kapott 8 mm átmérőjű acélgolyókból), ragasztással. Az alábbi ábrákon néhány példát bemutatunk. A felső ábra csak a neutronok, az alsó ábra az egész atommagok elhelyezkedését szemlélteti.

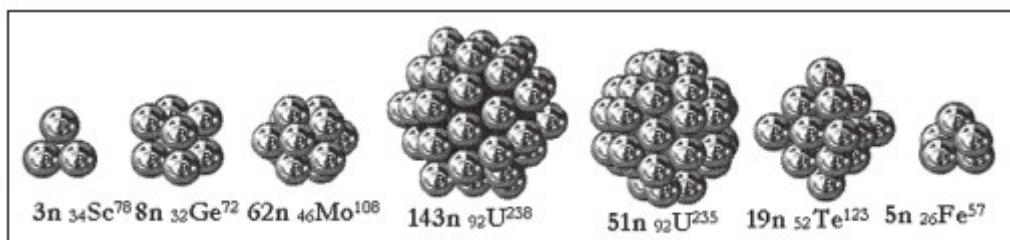


Figure 3. Inner neutron nucleus with example names.

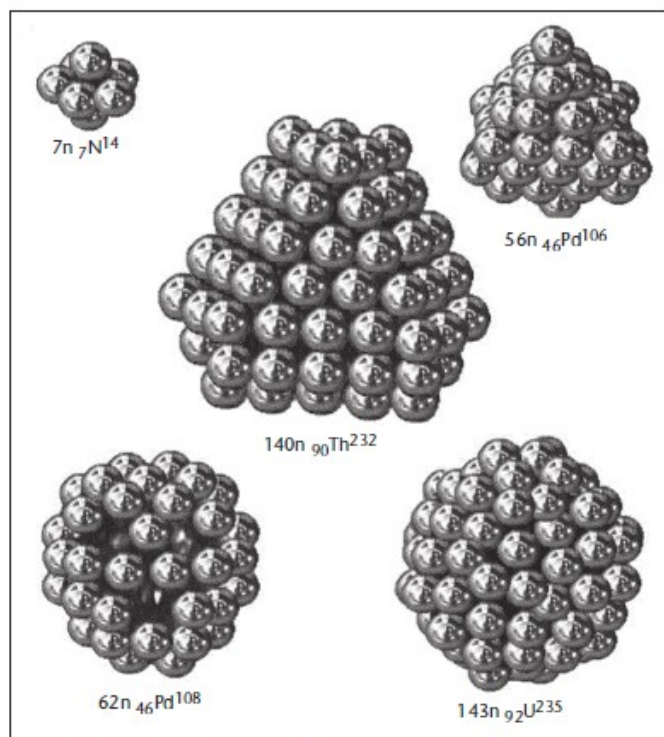


Figure 4. Nuclei without protons.

Az alsó ábra jobb alsó sarkában látható az U-235 atommagjának modellje, amely 92 protonból és 143 neutronból épül fel. Tételezzük fel, hogy egy lassú neutron befogása után egy baloldali és egy jobboldali részre hasad ketté. Nagyon sokféle variáció lehetséges (a fenti ábra szerint), hogy a bal- ill. jobboldali részhez éppen hány proton (ami meghatározza rendszámot és ezzel, hogy milyen elemről van szó) és éppen hány neutron (amitől az függ, hogy a szóban forgó új elemnek mely izotópja keletkezett) kerül a szakadás során. Természetesnek kell vennünk, hogy a keletkezett hasadványok jelentős része instabil, és a ma már ismert bomlási soraik szerint stabilizálódnak. Innen ered a sokféle sugárzás, amelyeket a maghasadás felfedezői észleltek. A Sindey-féle modellezésről részleteiben itt tájékozódhatunk.⁴ Érdekes kirándulás.

⁴ Sindey Dániel-Sindey László: Modellek és szimmetriák. Bevezetés a tértechnológiába 3. rész. Szerkesztő: Egely György. Budapest, 2001.

