

Oppenheimer – És ami mögötte van¹

Benedek Máté

vegyész, PhD-hallgató, Debreceni Egyetem

Jelen írást a 2023 nyarán megjelent, azóta is töretlen sikernek örvendő, hét Oscar-díjat bezsebelő *Oppenheimer* című film inspirálta, azonban tartalmát illetően nem filmkritika következik, sem pedig „az atombomba atyjának”, Robert Oppenheimer életének vagy a Manhattan-tervnek a részletes bemutatása. Sokkal inkább annak illusztrálása, hogyan jártak az elméleti és gyakorlati természettudományok a történelemmel kéz a kézben, mekkora a tudósok erkölcsi felelősségvállalása egy háború során, és további, ezekhez hasonló kérdések megválaszolása.

A film megtekintése után sokan kezdtek érdeklődéssel fordulni a filmben is bemutatott elméleti tudományok, például a kvantummechanika iránt, kérdésekkel megkeresve a szerzőt is; ezért a „történetet” mindenképpen egy kis tudományos bevezetővel érdemes kezdeni: nevezetesen, hogy hogyan jutottunk el matematikai egyenletektől egy atombomba megalkotásáig.

Az újkor hajnalán a kor fizikusai főleg a mozgással kapcsolatos jelenségek leírásával foglalkoztak. A klasszikus mechanika alapjait a 17–18. században Newton fektette le nevezetes törvényeinek megalkotásával, mint például a tehetetlenség vagy a hatás–ellenhatás törvénye (a klasszikus mechanikát ezért gyakran nevezik newtoni mechanikának is). Bár természetesen ezen időkben is folytak egyéb jellegű – fizikai, kémia – kutatások (például maga Newton az optika területén is maradandót alkotott), a komolyabb fordulatra egészen a 19. századig kellett várni. Ekkor olyan fogalmak jelentek meg a fizikában, mint az elektromágneses jelenségek, a termodinamika, a statisztikus mechanika, a molekuláris kinetikus gázelmélet stb. Magyarul a fizika a 19. század végére főleg a részecskék és az azokkal kapcsolatos jelenségek tanulmányozása felé kezdett fordulni. Több tudós elmékedéseinek alapját jelentette az ún. fekete test, amely egy olyan ideális test, ami bármilyen elektromágneses sugárzást (pl. fény) teljes egészében elnyel, és ezt jelentős részben ki is sugározza. Azonban a kisugárzott energia hullámhossztól való függését leíró Rayleigh–Jones-törvény csak az elektromágneses spektrum látható színek tartományát (fény) tudta magyarázni, a kisebb hullámhosszúságú, tehát nagyobb energiájú és frekvenciájú tartományok

¹ A *Betekintés a részletekbe – Az Oppenheimer-sztori* című előadás tömörített kivonata, amely előadás már többször megtartásra került magánszervezésben Debrecenben és Budapesten egyaránt, továbbá a Hatvani István Szakkollégiumban (ezek mind 2023 őszén), valamint a Debreceni Egyetem Science Café című tudománynépszerűsítő előadássorozatán 2024. február 21-én.

leírására nem volt alkalmas (ugyanis ebben az esetben akár végtelen energiát is ki tudna egy fekete test sugározni, ami természetesen nem lehetséges). Ezt a problémát nevezték el később „ultraibolya katasztrófának”, amit a klasszikus (newtoni) mechanikával egyszerűen képtelenek voltak megmagyarázni. A „kivezető utat” egy német fizikus, Max Planck jelentette, aki 1900 decemberében



1. ábra: Max Planck

Forrás: www.britannica.com

tett egy olyan állítást, miszerint az elektromágneses tér energiája, illetve az atom energia-felvétele és -leadása nem folytonosan változik, hanem „diszkrét” energiaadagok összességéként. Ez nagy felháborodást jelentett a kor fizikustársadalmában, ugyanis nehezen lehetett elképzelni, hogy az energia ne lenne folytonos (hiszen akár a Nap energiáját, akár egy gyertya által sugárzott hőt sem szakaszosan érzékeljük). A legkisebb energiaadagot Planck a „mennyeséget” jelentő latin „quantum” szó után nevezte el, továbbá megállapította a kvantum energiájának ν frekvenciától való függését: $E = h\nu$, ahol h az ún. Planck-állandó. Nemhogy fizikustársai, de eleinte még maga Planck sem bízott az új elméletben. Önéletrajzában így írt erről: „Valamely új tudományos igazság nem úgy szokott győzelemre jutni, hogy az ellenfelek meggyőzötnek, és kijelentik, hogy megértették, hanem inkább úgy, hogy az ellenfelek lassanként kihalnak és a felnövekvő nemzedék már eleve hozzászokik az igazsághoz.” [1]. A kvantummechanika következő mérföldkövét Albert Einstein jelentette, aki 1905-ben 4 tézisét hozta nyilvánosságra, amelyekből végül az ún. fényelektromos jelenség leírásáért kapott 1921-ben fizikai Nobel-díjat. Ezen elmélet szerint a fény energiakvantumok árama, amiben a fénykvantumok (amiket ő fotonoknak nevezett el) azonos energiaadagokat szállítanak. Einstein továbbá kijelentette, hogy a fény nemcsak hullám, hanem részecske természetű is rendelkezik. Ezek után már nem volt megállás; 1924-ben Louis de Broglie bejelentette anyaghullámokról szóló elméletét, miszerint nemcsak a fotonok, de az összes részecske, így az elektron is hullám–részecske természetűvel rendelkezik. Míg az elektronra addig csak részecskeként tekintettek, hullám mivoltát is hamarosan igazolták egy viszonylag egyszerű, ún. diffrakciós kísérlettel (ez gyakorlatilag olyan elhajlás vizsgálatát jelenti, amely csak a hullámokra jellemző). Azonban megfigyelték, hogy az elektronok szóródása nem egységes az ernyőn, amin felfogták az elhajlási mintázatot: sokkal inkább hasonlít egy olyan céltáblára, amelyen vannak sötétebb sávok, ahová több elektron csapódott, halványabbak, ahová kevesebb, és fehérek, ahová egy sem. Nem tudták meghatározni, hogy az elektronok pontosan hová fognak becsapódni, csak azt, hogy egyes helyekre milyen valószínűséggel. Míg például egy mozgó golyó végső helyét különböző számításokkal és levezetésekkel

meg tudnánk határozni a klasszikus mechanikát leíró törvények alkalmazásával, addig az 1920-as évekre eljutottunk ahhoz a ponthoz, amikor a valószínűség fogalma belépett a fizikába. Úgy lehetne ezt szemléltetni, mint az időjárást. Ott sem tudjuk pontosan meghatározni, hogy holnap 11 óra 23 perckor 4,6 °C lesz és 10,2 km/h-s széllelkések, esetleg csak ezeknek a valószínűségét. A kor számos fizikusa tehát a következő célt tűzte ki: a klasszikus hullámegyenletek módosítása a részecskéket leíró (valószínűségi) hullámegyenletekre. Ezen terület kiválóságai voltak többek között Max Born, Werner Heisenberg és Erwin Schrödinger is. Born magát a kvantummechanika fogalmat vezette be 1924-ben, illetve bizonyította, hogy a klasszikus mechanika minden mozgási egyenlete átírható kvantummechanikai egyenletté ún. mátrixok által. Heisenberg megalkotta az ún. mátrix formát, valamint határozatlansági relációját, mely kimondja, hogy lehetetlen egy részecske helyét, lendületét, energiáját, élettartamát egyidejűleg megfelelő pontossággal meghatározni. Schrödinger megalkotta a hullámfüggvényt, a hullámmechanika alapegyenletét, továbbá bizonyította, hogy ez ekvivalens Heisenberg mátrix formájával. Összefoglalva tehát a kvantummechanika lehetővé teszi viszonylag kis energiájú atomi folyamatok leírását, és a klasszikus mechanikával szemben olyan jelenségekre szolgáltat magyarázatot, mint például a kvantálás, a hullám-részecske kettősség és a határozatlansági reláció. Nemcsak számos Nobel-díj született az említett területen, de jelenleg is napjaink részecskefizikájának a csúcsát képezi. [1] [2]

A kvantummechanika kialakulásával egy időben az atommodellek is fejlődtek. John Dalton 1803-ban elővette az ókori görög tudós, Démokritosz atomelméletét, miszerint az atom oszthatatlan, csak a különböző elemek atomjai eltérők. 1904-ben az elektronokat felfedező J. J. Thomson megalkotta ún. „mazsolás puding-elméletét”, amely szerint az elektronok úgy helyezkednek el egy pozitív masszában, mint a mazsolák a pudingban. 1911-ben Ernest Rutherford felfedezte, hogy egy atom jelentős része légüres tér, és a pozitív töltés egy kis pontban koncentráldódik az atom közepén. 1913-ban Niels Bohr kimondta, hogy az elektronok meghatározott méretű pályákon mozognak („bolygó modell”), melyeknek az energiája kvantált. Végül 1926-ban Schrödinger kijelentette, hogy atompályák helyett valószínűségi felhők vannak, amelyeken lehetetlen megmondani egy elektron pontos helyét. Ez napjainkban is a legáltalánosabban elfogadott atomelmélet.

No de miért is bomlik egy atom? A nukleáris kémia (a „nucleus” latin szó „magot” jelent, tehát itt az atommagok lesznek a középpontban) történetétől méltatlanul eltekintve, térjünk is rögtön a válaszra. Egyes magok sugárzásának az oka a nem megfelelő proton:neutron arány következménye, ami kisebb rendszámoknál kb. 1:1, míg nagyobbaknál 1:1,4. Túl sok neutron esetén β^- -bomlás, túl sok proton esetén β^+ -bomlás vagy elektronbefogás, míg nagy rendszámok esetén α -bomlás vagy spontán hasadás fordulhat elő legnagyobb valószínűséggel. Amikor egy anyag és a sugárzás kölcsönhatását vizsgáljuk, azon

belül is, hogy mi történik az anyaggal, számunka jelenleg az ún. magreakciók lesznek érdekesekek. Magreakció az, amikor egy anyagot (target) besugárzunk valamilyen részecskével vagy nagy energiájú elektromágneses sugárzással, az reakcióba lép az anyag atommagjaival, melynek eredményeképpen egy másik atommag keletkezik, és kilép egy másik részecske. Az (n, f) reakciók a magreakcióknak egy olyan speciális esete, amikor neutronokkal sugárzunk be egy anyagot, amely során az atommag két kisebbre esik szét kb. 2:3 tömegarányban (f = fission, hasadás). A neutronok előnye, hogy nincs Coulomb-gát, magyarul elektrosztatikus taszítás (proton esetén lenne a pozitív atommaggal szemben), illetve Enrico Fermi olasz fizikus megállapította, hogy a lassabb, ún. termikus neutronok jobbak a maghasadás előidézésére, ugyanis annál több időt töltenek a mag közelében ebben az esetben, magreakciót kiváltva ezzel. A természetben előforduló magok közül egyedül a 235-ös tömegszámú urán (^{235}U , ahol a tömegszám a protonok és a neutronok számának összege) képes nagy hatáskeresztmetszettel erre a reakcióra (a ^{233}U és a ^{239}Pu mesterségesen előállított nuklidok). A folyamatban kb. 200 MeV energia szabadul fel (mivel a keletkezett két mag kötési energiája kisebb, mint a kiindulási magé), ami ugyan egy atom esetén csak kb. $3,2 \cdot 10^{-11}$ J energiát jelent, ám például az Avogadro-számmal beszorozva egy molra már sokkal többet ($1,9 \cdot 10^{13}$ J). [3]

És itt érkezünk meg az atombombához vezető út elejéhez. Szilárd Leó már 1933-ban kimondta a maghasadásról és a nukleáris láncreakcióról szóló elméletét, amely jelenségek azonban addig még nem voltak bizonyítva. Habár több kutatócsoportban is végeztek erre irányuló kutatásokat, például 1934/35-ben Ferminék és csapatának sikerült transzurán elemeket előállítania a neutronokkal végzett kísérleteik során, a nagy mérföldköre 1938 decemberéig kellett várni. Ekkor ugyanis Berlinben Otto Hahn és Fritz Strassmann felfedezték az uránmaghasadást, aminek Lise Meitner és Otto Frish adták meg a magyarázatát. Szilárd Leó 1939 januárjában így reagált a hírekre: „*ha elég neutron kerül kibocsátásra... akkor természetesen lehetségesnek kell lennie egy láncreakció fenntartásának...*” [4], „*az ebben az új reakcióban felszabaduló energiának sokkal nagyobbak kell lennie, mint minden eddig ismert esetben, ami nagymértékű energiatermeléshez és radioaktív elemek előállításához vezethet, sajnos talán atombombákhoz is*” [4]. Szilárd Leó tehát egyfajta váteszként prognosztizálta a felfedezés következményeit, miközben fékezte is a kor tudósait, például Fermit és a Curie házaspárt a publikálástól a náciok miatt. Mindössze két hónappal később, 1939 márciusában Szilárd egy munkatársával, Walter Zinn-nel bizonyította, hogy a maghasadás során 2-3 szabad neutron is kilép, amely felfedezésének hírért az anekdota szerint magyarul osztotta meg a telefonban honfitársával, Teller Edével: „*Megtaláltam a neutronokat!*” [1]. A maghasadás elméletét Niels Bohr mutatta be a *Physical Review* című folyóiratban, amely publikáció 1939. szeptember 1-jén jelent meg. Nem erről híres ez a nap az emberiség történelmében (2. ábra).

SEPTEMBER 1, 1939

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 56

The Mechanism of Nuclear Fission

NIELS BOHR

University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark, and The Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey

AND

JOHN ARCHIBALD WHEELER

Princeton University, Princeton, New Jersey

(Received June 28, 1939)

On the basis of the liquid drop model of atomic nuclei, an account is given of the mechanism of nuclear fission. In particular, conclusions are drawn regarding the variation from nucleus to nucleus of the critical energy required for fission, and regarding the dependence of fission cross section for a given nucleus on energy of the exciting agency. A detailed discussion of the observations is presented on the basis of the theoretical considerations. Theory and experiment fit together in a reasonable way to give a satisfactory picture of nuclear fission.

2. ábra: Niels Bohr 1939. szeptember 1-jén megjelent, a maghasadás elméletét leíró publikációjának címlapja

A világegés hajnalán, 1939. október 11-én Rooseveltnél megkapta a Teller Ede és Wigner Jenő által is támogatott, Albert Einstein által aláírt Szilárd-féle memorandumot (v. Einstein–Szilárd-levél), amiben egy tervezés alatt álló náci atomfegyver veszélyeire hívták fel a figyelmet. Habár a németek is végeztek maghasadással kapcsolatos kísérleteket, a „tervezés alatt álló atombomba” valószínűleg csak blöff volt a tudomány katonai célú támogatására. Mindenesetre Rooseveltnél felkarolta a projektet; eleinte kisebb összegű és érdembeli támogatással, később, ahogy az USA belépett a II. világháborúba Pearl Harbor után (1941. december 11.) már jóval komolyabban. 1942. június 18-án hagyta jóvá a javaslatot, amellyel kezdetét vette az ún. Manhattan-terv. (A név eredete, hogy Groves tábornok, akit a projekt élére neveztek ki, úgy döntött: követi azt a szokást, hogy a mérnöki testület körzeteit arról a városról nevezik el, ahol található. Az atombomba-projekt így a Manhattan Engineer District [MED], vagy röviden Manhattan Project néven vált ismertté.) Kronológiailag fontos, és a filmben is bemutatott esemény, hogy 1942. december 2-án Fermi és csapata végrehajtotta az első mesterséges önfenntartó nukleáris láncreakciót Chicago Pile-1 vagy röviden csak CP-1 néven („A Fáklya”). A Wigner Jenő mellett a kutatócsoport tagjaként szintén jelen lévő Szilárd Leó állítólag a következőket mondta Ferminek: „*Azt hiszem, ez fekete napként kerül be az emberiség történelmébe.*” [4] A szerző itt most tartózkodik a Manhattan-terv részletes bemutatásától, inkább néhány számadatra szeretné felhívni a figyelmet. A Manhattan-terv költségvetése 1945-ös árfolyamon 1,89 milliárd amerikai dollár volt, ami 2021-es árfolyamon 22,8 milliárd dollárra becsülhető. Ez elsőre hatalmas összegnek tűnhet, ám valójában a háborúban álló Amerika mindössze néhány napos háborús kiadásával egyezett meg. A projektben foglalkoztatottak száma közelítette a 130 ezer főt, míg 30-nál is több helyszínen végeztek munkálatokat (USA és Kanada). Ilyenek voltak például az új-mexikói Los Alamos, ami a tudományos csomópontot jelentette *Project Y* néven; a chicagói Metallurgiai Labor, ahol a nukleáris láncreakciót

vizsgálták többek között Fermiék; a washingtoni Hanford Site, ahol az első ipari méretű nukleáris reaktort alkották meg, és plutóniumtermeléssel foglalkoztak; vagy a Tennessee állambeli Oak Ridge, ahol az urándúsítást végezték. [5]



3. ábra: Trinity-teszt

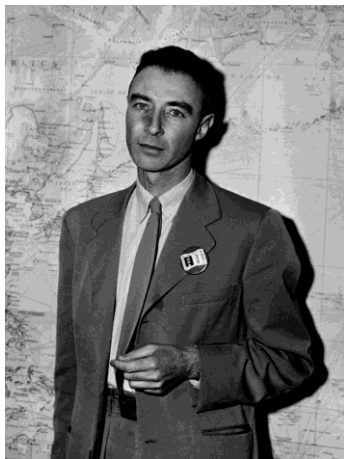
Forrás: www.ahf.nuclearmuseum.org

Bő két év kellett, mire a Manhattan-terv keretében Amerika tesztelte a világtörténelem első atombombáját. Ez volt a híres Trinity-teszt, amit hetekig, sőt hónapokig tervezett több száz ember. 1945. május 7-én próbarobbantást végeztek 100 tonna TNT-vel, majd 1945. július 16-án, helyi idő szerint 5 óra 29 perckor felrobbant a „Gadget”, azaz „Kütyü” névre hallgató atombomba Alamogordo terület Jornada del Muerto (Halottak ösvénye) nevű részén. Érdekesség, hogy az optimális időjárási körülményeket július 18. és

21. közé jósolták, ám mégis 16-án hajtották végre a tesztet. Ennek az oka a potsdami konferencia volt, ahová Truman elnök már a sikeresen tesztelt atombomba hírével szeretett volna megérkezni. A tudósok még fogadásokat is kötöttek a robbanás erősségéről, illetve a levegőből még B-29-es bombázók is figyelték a tesztet, vizsgálva például a lökéshullámokat egy éles bevetés esetén. Az elbeszélések szerint Richard Feynman, a múlt század egyik leghíresebb elméleti fizikusa volt az egyetlen, aki nem viselt védőszemüveget, bízva a kocsija szélvédőjében, hogy felfogja az UV-sugarakat; míg Teller Ede még kesztyűt és napszemüveget is viselt, továbbá naptejjel kenté be magát, amivel a többieket is kínálta. A Kütyü egyébként a Nagaszakira ledobott plutóniumbombához volt hasonló; a gombafelhő magassága 12 km volt, a lökéshullámok 40 másodperc alatt érték a 32 km-re lévő megfigyelőállásokig. A homokos talaj megolvadt, és egy később trinitnek nevezett radioaktív ásvány maradt vissza kb. 300 méteres sugarú körben. A kráter 1,4 m mély volt, és kb. 80 méter széles. Visszaemlékezések szerint egyedülálló látvány volt a több másodpercig tartó világosság, a váltakozó színek, a hő, a világító hegyek és így tovább. Valaki sírt, valaki örült, valaki szerint gazemberek lettek, valakik szerint megmentők. A spirituális beállítottságú Robert Oppenheimer kedvenc művéből (amit eredeti nyelven is olvasott), a szanszkrit filozófiai költeményből, a hinduista iskolák egyik legszentebb könyvéből, a védikus irodalom egyik alapművéből, a Bhagavad-gítából idézett: „*Ha ezernyi nap ragyogása egyszerre törne az égre, az olyan lenne, mint a hatalmasnak a ragyogása.*” „*Most én lettem a Halál, világok pusztítója.*” [6]

A Trinity-teszt után mindössze három héttel érkezett az emberiség történelmének egyik legsötétebb napja, amikor élesben vetettek be atombombát.

A szerző ebben az esetben is marad a tudománynál, nem térve ki a történelemből ismert részletekre, főleg nem foglalva állást a történeteket illetően. 1945. augusztus 6-án a reggeli órákban Amerika felrobbantotta a „Little Boy”, azaz „Kisfiú” nevű uránbombát a japán Hiroshima város feletti 576 méteres magasságban. 90 ezer ember azonnal, 140 ezer rövid időn belül elhunyt. A bomba 64 kg 235-ös uránt tartalmazott, és a robbanás erőssége kb. 15 kt volt. (A nukleáris fegyverek robbanásának erősségét a klasszikus robbanóanyagokéhoz hasonlítják. 15 kt tehát 15 ezer tonna TNT-nek megfelelő robbanás erőssége.) Három nappal később, augusztus 9-én egy újabb japán város, Nagasaki fölött robbant bomba 549 méteres magasságban, amely a „Fat Man”, azaz „Kövér Ember” nevet viselte. Ez a bomba 6,2 kg plutónium-239-et tartalmazott, és a robbanás erőssége kb. 20 kt-nak felelt meg. 40 ezer ember hunyt el azonnal, 70 ezer rövid időn belül. Mindkét város mérete egyébként nagyjából Debrecenével volt összemérhető.



4. ábra: J. Robert Oppenheimer
Forrás: Corbis Historical, Getty Images

Itt az idő röviden kitérni a címszereplőre, J. Robert Oppenheimerre. Életrajzát bárki könnyen megtalálhatja az interneten, ezért jelen írás keretei között csak néhány, történetünk szempontjából fontos rész fog következni. Eredetileg kémiát tanult, de hamar rájött, hogy a kísérleti fizika és a termodinamika jobban vonzza. Rutherford mellett szeretett volna tanulni, ám ajánlólevelében is ügyetlennek tartották a labormunkára, sokkal inkább volt elméletben kiemelkedő. 1927 márciusában doktorált Göttingenben, Max Born témavezetése alatt; itt ismerkedett meg többek között Heisenberggel, Fermivel és Tellerrel is (a film európai tanulmányútját is hitelesen mutatja be). Visszatérve Amerikába a Kaliforniai Egyetem oktatója és kutatója lett. Az Einstein–Szilárd-levél után Rooseveltnél el is indította az atombomba-fejlesztési programot, amelyhez Oppenheimer heteken belül csatlakozott. 1942 májusában a neutronokkal kapcsolatos számításokat kapta feladatául, amire nyáron egy kollokviumot is összehívott. Leslie R. Groves, a Manhattan-projekt mérnök végzettségű katonai vezetője és Oppenheimer egy centralizált titkos laboratórium létrehozása mellett döntöttek egy távoli helyen, aminek előbbi utóbbit nevezte ki vezetőjének. (Mások mellett Grovesnak is voltak aggályai Oppenheimer személye felől, de lenyűgözte széles, interdiszciplináris tudása és ambíciója.) A háború után is részt vett tudományos projektekben, például az 1946-ban Los Alamosban a hidrogénbombáról tartott kollokviumon is, majd kinevezték az Atomenergiai Bizottság Általános Tanácsadó Testületének elnökévé. 1947-től 1966-ig az Institute for Advanced Study (Princeton, New Jersey) igazgatója. Ekkor érkezett

el 1947. március 12-e, amikor is Truman elnök kihirdette az ún. feltartóztatás politikáját a kommunizmus ellen. Bár Oppenheimer bizonyítottan nem volt egy kommunista pártnak sem tagja, sok hozzá közel álló személy igen, valamint ő maga is vonzódott a baloldali eszmék iránt. Ellenezte a fasizmust, amely például a náci Németországban is fenyegette tudóstársait, továbbá támogatta a spanyol polgárháborút is, ezért ezen politikai megnyilvánulásaiival ő is Joseph McCarty szenátor üldözési korszakának célpontjává vált. (Nem beszélve arról, hogy a hidrogénbombát és a fegyverkezési versenyt is ellenezte, ami sokakban gyanút keltett azon személy iránt, aki oroszlánrészt vállalt az atombomba megalkotásában.) Oppenheimernek 1949. június 7-én kellett vallania kommunista kötődéseiről az Amerika-ellenes tevékenységet vizsgáló bizottság előtt. 1950. január 31-én Truman elnök hivatalosan is bejelentette, hogy támogatja a hidrogénbombát. A bizottságban 1953 végén ért véget Oppenheimer hivatala, ami után 1954 tavaszán voltak a meghallgatásai. Ezek során többen mellette, míg mások ellene vallottak (köztük Teller Ede is). A meghallgatások végén Oppenheimert biztonsági kockázatnak nyilvánították (miközben Wernher von Braun, a V-2-es rakéták Amerikába „átigazolt” német megalkotója szerint tetteiért Angliában lovagga ütötték volna). Oppenheimer azonban nem tört meg, maradt a tudományánál: népszerű előadásokat tartott, könyveket írt. Más tudósokkal, többek között Einsteinnel karöltve részt vett a World Academy of Art and Science intézet megalapításában. Kennedy elnök Fermi-díjra terjesztette fel, amit utódja, Lyndon B. Johnson elnök adott át neki. (A történelem pikantériája, hogy Kennedy elnök még szenátorként kulcsszerepet játszott azon személy politikai pályafutásának félbeszakításában, aki Oppenheimer legnagyobb ellenzője volt: Lewis Strauss atomenergia-ügyi biztos.) Oppenheimer 1967. február 18-án Princetonban hunyt el gégerákban. Kiemelendő, hogy 2022. október 16-án Jennifer Granholm energiaügyi miniszter hatályon kívül helyezte az 1954-es meghallgatásokat, ezzel végleg rehabilitálva Oppenheimer személyét. [7]

Robert Oppenheimer tehát kiváló elméleti tudós, már-már zseni volt, aki bár nem kapott Nobel-díjat (ez is aggályt jelentett kinevezésekor a Project Y élére), ám több Nobel-díjas tudós munkásságához is hozzájárult. (Ettől függetlenül háromszor is jelölték, 1946-ban, 1951-ben és 1967-ben.) Mélyen spirituális beállítottságú ember volt, akit mindig is vonzottak az elvontabb, misztikus dolgok, mert állítása szerint a tudomány „nem mindig volt számára elég bonyolult”. Kalandos élete a hölgyekkel való kapcsolatára is kiterjedt. Míg főleg fiatalabb korában egy kissé beteges, sovány, magának való ember volt, addig később – talán éppen ezért – a nők rajongtak érte, nagyon karizmatikus egyéniségnek tartották. Nem egy kollégájának kezdett ki a párjával, Linus Pauling például emiatt utasította el Oppenheimer meghívását Los Alamosba, mivel az ő feleségével is volt viszonya. Első komolyabb kapcsolata Jean Tatlock volt, aki 1936-tól volt a szeretője, majd a szakítás után 1943 júniusában találkoztak egyetlen éjszakára, végül 1944 januárjában öngyilkos lett. Feleségével, Katherine (Kitty) Pueninggel

1940-ben házasodtak össze, akinek Oppenheimer már a negyedik férje volt. Két gyermekük született, sajnos egyiknek a sorsa tragikus lett. Házassága mellett volt még egy komolyabb kapcsolata Ruth Tolmannel, aki szintén egy kollégája felesége volt, ám a férj 1948-as halálától még szorosabbra fűződött közöttük a viszony a hölgy 1957-es haláláig. [7]

Oppenheimer személye után muszáj szót ejteni azokról a magyar tudósokról, akik a filmkészítők szerint is kikerülhetetlen szerepet játszottak az események alakulásában. Őket egyszerűen csak „marslakóknak” hívták egy legenda után, amely még Los Alamosban terjedt el. Eszerint „[...] a történet igazi marslakókról szól. Azokról, akik a 20. század első felében beszivárogtak a világ legjobb egyetemeire és kutatóintézeteibe; pontosabban arról az előőrsükről, amelyik bolygónkon első bázisukat létrehozta. Azon buktak le, hogy – bármilyen soká gyakorolták is – egyetlen földi nyelvet sem tudtak idegen akcentus nélkül beszélni. De erre is volt egy ügyes trükkjük: magyar emigránsoknak álcázták magukat, hiszen köztudott, hogy a magyarok beszédének van ez a furcsa sajátossága. Olyan fizikusok tartoztak közéjük, mint Eugene Wigner (marsbeli nevén Jenő), Edward Teller (anyanyelvén Ede) [aki büszke volt E.T. monogramjára – a szerző], Leo Szilárd (eredetileg Leó), vagy a modern matematika géniusza, John von Neumann (a Marson Jancsi).” A *Yankee* folyóirat 1980 márciusában Kemény János matematikusra, a BASIC programozási nyelv megalkotójára hivatkozva részletekkel is szolgált: „Gábor, Kármán, Kemény, Neumann, Szilárd, Teller, Wigner mind Budapestnek ugyanazon szektorában született. Nem csoda, hogy Los Alamosban elterjedt a híre, hogy ezeregyszáz esztendővel ezelőtt egy Marsról érkezett űrhajó kényszerleszállásra kényszerült Közép-Európában. Három kemény bizonyíték van a magyarok földöntúli eredetére: (1) Nagyon szeretnek vándorolni (akárcsak az ugyaninnen szétrajzó cigányok). (2) Rendkívül egyszerű és logikus nyelvet beszélnek, ami gyökeresen különbözik szomszédaiktól. (3) És végül sokkal okosabbak a földlakóknál. Mindehhez Kemény – enyhe marsbéli kiejtéssel – hozzáfűzte a magyarázatot: annyira könnyebb írni és olvasni megtanulni magyarul, mint franciául vagy angolul, hogy a magyar gyerekeknek sokkal több idejük jut a matek gyakorlására.” Isaac Asimov, biokémikus végzettségű amerikai sci-fi író például a következőket mondta: „Az a szóbeszéd járja Amerikában, hogy két intelligens faj létezik a Földön: emberek és magyarok.” A természettudományok mellett azonban volt egy másik terület is, amiben élen jártak a magyarok, ez pedig nem volt más, mint a filmipar. Gondoljunk csak Korda Sándorra (Sir Alexander Korda), Fox Jánosra, a *20th Century Fox* alapítójára, Zukor Adolfra, a *Paramount* megalkotójára, Kertész Mihályra vagy Zsigmond Vilmosra. Norman Macrae, világhírű közgazdász szerint „a magyarok előbb teremtették meg Hollywoodot, s csak azután az ennél ártalmatlanabb atombombát”. [8]

Most következzen egy rövidke kis kitekintő a hidrogénbombára és a hidegháború korára. A hidrogénbomba (más néven fúziós bomba vagy

termonukleáris fegyver) működését tekintve a Napban és más csillagokban lejátszódó folyamatokkal analóg, amely során kisebb rendszámú elemekből egyesüléssel keletkezik egy nehezebb elem, például hidrogénizotópokból hélium. Ezen fúziós folyamat során nagyságrendekkel több energia szabadulhat fel, mint egy maghasadás során, ám földi körülmények között ezt nehezen is lehet kivitelezni... kivéve, ha egy fissziós reakcióból nyerjük az energiát. A hidrogénbomba „beindításához” annak tehát egy kisebb atombombát kell tartalmaznia. Az első hidrogénbombát Amerika tesztelte 1952. november 1-jén, amelynek erőssége 10,4 Mt(!) volt, azaz 10,4 millió tonna TNT-vel volt egyenértékű a robbanás. Míg a hasadó bombát tekintve a szovjetek 4 évvel voltak „lemaradva” (1949-ben tesztelték az elsőt), addig az első fúziós fegyverüket 1953. augusztus 12-én tesztelték. Ennek erőssége „mindössze” kb. 400 kt volt (így is 50 Japán ellen bevetett atombomba „jönne ki belőle”), ám a szovjetek próbálták a legnagyobb amerikaiak által 1954. március 1-jén tesztelt fegyvert, a 15 Mt-ás Castle Bravot is túlszárnyalni. Ez olyannyira sikerült, hogy 1960. február 13-án tesztelték a világtörténelem legnagyobb fegyverét, az ún. Cár-bombát. Ennek erőssége 50 Mt volt, míg tömege 27 tonna. Egy jeges-tengeri sziget, Novaja Zemlja fölött robbantották fel kb. 4000 méteres magasságban. Gombafelhője 67 km magas volt, 780 km-re is törtek be ablakok, a lökéshullám háromszor ment körbe a Földön, az első 36 órán át. A Cár-bombának a legnagyobb következménye az 1963. augusztus 5-én Moszkvában aláírt Nemzetközi Atomcsendegyezmény lett. [9]



5. ábra: Teller Ede
Forrás:
www.britannica.org

Itt érkeztünk meg történetünk utolsó fejezetéhez, ami a „háború tudósairól”, azaz moralitás, erkölcs és tudomány kapcsolatáról fog szólni. Teller Ede ekképpen vélekedett a témáról „*Tudomány és moralitás*” című, mindössze kétoldalas írásában a *Science* folyóirat hasábjain 1998-ban: „[...] Négy évvel korábban az Egyesült Államokban a hidrogénbombával kapcsolatos munkálatokat beszüntették. [...] Amin az ember szorgalmasan dolgozik, azt nem szívesen hagyja abba, és nekem két okom is volt arra, hogy csalódottságot érezsek a munka befejezetlenül hagyása miatt. Az egyik az a szilárd meggyőződés volt, hogy a tudás keresése és az emberi képességek bővítése önmagában is érdemes. [...] A második ok az volt, hogy aggódtam amiatt, hogy mi lehet a következménye annak, ha a szovjetek túlságosan is megelőznek minket a haditechnika terén.” Teller Ede ugyanis kifejti, hogy bár mélységesen elítéli a magyarországi fasizmust is, ahogy látta, hogyan vált egy közeli barátja a kommunista meghurcoltatások áldozatává, egy életre megutálta ezt a fajta ideológiát. Enrico Fermi például biztatta is a hidrogénbombával kapcsolatos munkák folytatására – még ha bízott is annak sikertelenségében.

Teller továbbá leírta a cikkben, hogy ugyan kis mértékben kötelességének is érezte a hidrogénbombán dolgozni, a szíve nagyobbik felét a tiszta tudomány kötötte le, hogy a Napban lejátszódó folyamatokhoz hasonló módon tudjon energiát felszabadítani. 90. születésnapjára (1998-ban) orosz tudósok levelet írtak neki, amelyből egy idézet: „*A fejlett nemzetek elegendő bölcsességről tettek tanúbizonyságot ahhoz, hogy legyőzzék a világ problémáinak katonai megoldására való hagyományos hajlamot. Ez most történt meg először. És tartós mintát adott arra, hogy új, békés és közös megközelítéseket alkalmazzanak a legégetőbb világproblémák megoldására. A világtörténelemben először fordult elő, hogy a valaha létrehozott legerősebb fegyvereket nem használták. Ehelyett az emberi tapasztalatok eszközévé, a nagy felfedezések eszközévé, a természet titkaiba való mély behatolás eszközévé váltak. Bizunk benne, hogy ezentúl és örökre elfoglalja méltó helyét a felvilágosult nemzedékek kifinomult eszközei között.*” [10]

Első alkalommal fordult-e elő azonban a 20. században, hogy egy tudós és tudománya katonai célokat szolgált ki? A válasz természetesen nem. Gondoljunk csak például az ókori tudósra, Arkhimédészre, aki különböző harci szerkezeteket alkotott szülővárosa, Szirakúza védelmére. Még ha az óriáskatapult, a sorozatvető számszerij vagy az állítólagos halálsugár egy része is csak valótlan alapokon nyugvó legenda, Arkhimédész akkor is nagyszerű elméjével szállt szembe az ellenséges csapatokkal. Mások mellett meg lehet még említeni Alfred Nobelt, a dinamit megalkotóját. Belátható, hogy bár a dinamit katonai célokat is szolgálhat, nélküle nehezen tudtak volna alagutakat, tárnákat, csatornákat létrehozni. (Nobelt egyébként már korábban is „a halál kereskedőjének” gúnyolták, részben ezért is döntött a tudományt támogató Nobel-díj életre hívásáról.) Vegyészként a szerző kötelességének érzi még megemlíteni Fritz Habert, „a vegyiháború atyját”. Ő kezdeményezte klórgáz bevetését Ypresnél 1915-ben (10 napra rá felesége gyermekeik szeme láttára lett öngyilkos), azonban 1918-ban mégis kémiai Nobel-díjat kapott az ammóniaszintézisért. Ez is jól mutatja, hogy a Nobel-díj odaítélése kizárólag tudományos alapokon történik. Fritz Haber egyébként részt vett a Zyklon-B nevű rovarölőszer megalkotásában is, aminek közismert a zsidók elleni alkalmazása a koncentrációs táborokban. (Fritz Haber egyébként maga is zsidó volt, aki 1933-ban kényszerült elhagyni Németországot.) [6]

Jeffrey Kovacnak 2012-ben jelent meg egy cikke a *Science and Engineering Ethics* című folyóiratban *Science, Ethics and War: A Pacifist's Perspective* címmel a tudomány, etika és háború viszonyáról. Ebben a szerző olyan dolgokról tesz említést, hogy a háború gyakran ösztönözte a tudomány és a technika fejlődését, illetve számos katonai fejlesztés mutatkozik hasznosnak polgári alkalmazásban is, például a radar. Témánk szempontjából különösen releváns gondolat, hogy Einstein relativitáselméletéről sem gondolta senki 1905-ben, hogy elvezethet egy fissziós bomba megalkotásáig. Részletesen fejt ki olyan gondolatokat is az írás, mint például az állam által finanszírozott kutatási

eredményeket az állam fegyverek formájában is felhasználhatja; továbbá a háború viselése néha szükséges a polgárok biztonságának garantálásához, és a tudósoknak kötelességük ennek eleget tenni kutatásaik által. A kérdés analógiába állítható az általános hadkötelezettség esetével. (A cikkben megjegyzik, hogy bár a legtöbb politikai cél lehet igazságos, néhány nem az.) Eisenhower megállapítása az volt, hogy a háború előrehaladtával mindkét fél egyre mélyebbre kerül a gyilkolásban; míg kezdetben például csak katonai célpontok bombázása történik, az eredeti stratégiától függetlenül a konfliktus mindig totális háborúként végződik, amelyben az ártatlan civilek megölését is szükségesnek ítélik. „A háborúban az ember olyanná válik, mint az ellenség, amivel azt vádolják.” A tudósok (cinkosok?) erkölcsi felelőssége közvetett, de „aki megnyomja a gombot, sosem látja a károsultakat”. Továbbá az is nézőponttól függ, hogy egy fegyver támadó vagy védekező célt szolgál-e. A cikk egy lényeges megállapítása, hogy „*a modern hadviselés totális hadviseléssé vált: nemcsak hadsereg hadsereg ellen, hanem ország ország ellen*”. [11]



6. ábra: Szilárd Leó

Forrás: www.mnl.gov.hu

Ami a tudósok politikai szerepvállalását illeti, azt talán pont Szilárd Leó fogalmazta meg leghitelesebben A delfinek hangja című, 1961-ben (Szilárd halála előtt néhány évvel) megjelent rövidke sci-fijében (amit egyébként a szerző melegen ajánl minden kedves Olvasónak). Következzen egy megfontolandó idézet a könyvből: „*Sem a tudósok általában, sem pedig az Elnöki Tudományos Tanácsadó Bizottság tagjai nem kínáltak érdemi megoldást a fegyverkezés visszaszorítására. Kudarcukhoz minden bizonnyal az akkortájt Washingtonban lábra kapott szlogen – mely szerint a tudós, illetve a suszter maradjon a kaptafánál – is hozzájárult. Mint a fenti nézet képviselői hangoztatták, a tudósok politikai szerepvállalása nemkívánatos, hatáskörük nem terjedhet túl a hozzájuk intézett aktuális tudományos kérdések megválaszolásán. Lehetséges tehát, hogy a kudarc oka nem is a tudósokban, hanem a hozzájuk intézett kérdésekben keresendő...*” [12]

Végül pedig, mint számos más szakmának, így a kémikusoknak is van Magatartási Kódexük. Az Amerikai Kémiai Társaság 2019-ben jóváhagyott kódexéből egy részlet: „*A vegyészeknek szakmai felelősségük, hogy a közérdeket és a jólétet szolgálják, valamint a tudományos ismereteket előrébb mozdítsák. A vegyészeknek aktívan törődnie kell a munkatársak, a fogyasztók és a társadalom egészségével és jólétével.*” [13]

Történelmi vagy önéletrajzi témájú filmek mindig is voltak, ahogy természettudományos témájú dokumentumfilmek is. Ám egy ezeket ötvöző, tudományos-történelmi, multidiszciplináris témájú film, ráadásul hollywoodi

megközelítésben, ami ekkora sikert ért el, mindenképp egyedülálló. Többféle filmkritikai stílusjelzővel is lehetne illetni az *Oppenheimer* című filmet, de a lényeg bizonyosan az, hogy egy zseniálisan megalkotott, magával ragadó és gondolatébresztő mű, ami mindeközben szakmailag is messzemenőig hiteles és kiegyensúlyozott... népszerűségének oka talán pont ebben keresendő? Bízunk benne, hogy több hasonló filmmel találkozhatunk a jövőben!

Források:

- [1] Szabó Árpád: A fizika története (3., átdolgozott és bővített kiadás, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2008)
- [2] V. J. Ridnyik: Kvantummechanika mindenkinek (Gondolat, 1975, Budapest)
- [3] Kónya József, M. Nagy Noémi: Izotópia jegyzet a magkémia és radiokémia oktatásához (Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2007)
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_fission utolsó letöltés 2024. 05. 22.
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Manhattan_Project utolsó letöltés 2024. 05. 22.
- [6] Thomas J. Craughwell: A háború tudósai: zseniális elmék, pusztító találmányok (Kossuth Kiadó, Budapest, 2012)
- [7] H. A. Bethe; J. Robert Oppenheimer. 1904-1967; Biogr. Mem. Fell. R. Soc., 14, 390-416 (1968)
- [8] Marx György: A marslakók érkezése: magyar tudósok, akik Nyugaton alakították a 20. század történelmét (2., átszerkesztett kiadás, Pallas Athéné Könyvkiadó, Budapest, 2022)
- [9] <https://www.britannica.com/topic/Tsar-Bomba> utolsó letöltés 2024. 05. 22.
- [10] E. Teller; Science and Morality; Science, 280, 1200–1201 (1998)
- [11] Jeffrey Kovac; Science, Ethics and War: A Pacifist's Perspective; Science and Engineering Ethics, 19, 449-460 (2013)
- [12] Szilárd Leó: A delfinek hangja (Kairosz, Budapest, 2005)
- [13] <https://www.acs.org/careers/career-services/ethics/the-chemical-professionals-code-of-conduct.html> utolsó letöltés 2024. 05. 22.