

WIGNER JENŐ

MARX GYÖRGY, 2002



Wigner Jenő száz éve, 1902. november 15-én született Budapesten. Vele szinte egyidős volt Heisenberg, Dirac, Neumann, akikkel tanuja volt a 20. század tudományos forradalmának. Ők négyen végezték el a kvantummechanika klasszikus fizikától immár független megalapozását, ami nevüket bevészte a tudománytörténetbe. Ezért Wigner Jenő is Nobel-díjat kapott. Több tanítványa lett Nobel-díjas. Amerikában részt vett az atommagfizika megalapozásában, az első kísérleti atomreaktor és a vízhűtéses teljesítményreaktor megtervezésében. Őt tekintik a világ első reaktormérnökének. Megkapta az Egyesült Nemzetek „Atom a Békéért” díját. Wigner Jenő magyar iskolába járt. Az Amerikában eltöltött fél évszázad alatt is magyarnak vallotta magát, többször hazalátogatott. Születési centenáriumáról megemlékeznek Amerikában, Európában, Magyarországon.

TARTALOM

A természet szimmetriái.....	3
Gyermekevek.....	8
A Fasori Evangélikus Gimnázium	11
Rácz László.....	15
Mikola Sándor	18
Egyetemek.....	21
Paul Dirac	26
Neutronok	28
Újra itthon	45
Wigner Jenő kitüntetései.....	50
Akadémiai tagságok	51
Tiszteletbeli doktori címek	52
Bibliográfia	53

A természet szimmetriái

Az ókor kiépített egy következetes képet a világról, amely alapján jól tájékozódunk mi, akik a Föld mozdulatlanul szilárd kérgén élünk. Ez az *euklideszi geometria*, amely szerint a világ háromdimenziós (előre-hátra, jobbra-balra, föl-le), és amelynek alapeleme a kiterjedés nélküli nyugvó *euklideszi pont*. Ehhez Arisztotelész csupán annyit tett hozzá, hogy az anyag természetes állapota a nyugalom (a számukra rendelt rétegben: a kő lenni, a vízcsepp fölötte a tóban, a levegő magasabban, a tűzzel világító csillagok még magasabban). Mozgást csak a dolgok rendjébe történő erőszakos beavatkozás kényszeríthet ki. Ez a világrend jól szolgált két évezreden át. Csecsemőkorunk óta ez van beültetve az agyunkba.

Félezer évvel ezelőtt forradalmi változást hozott Kopernikusz: a Föld mozog! Galilei felismerte, hogy akárcsak a nyugalom, az egyenletes mozgás is a dolgok természetes viselkedése. Erre alapozva Newton kidolgozta az anyagi világ mozgástörvényeit, ami lehetővé teszi, hogy a jelenből – a körülmények ismeretében – előre láthassuk a jövőt. Newton univerzumának eleme a téren át változatlan sebességgel sodródó *tömegpont*. Az új világképre alapozva mozgásba lendült a történelem, zakatolni kezdtek a gépek, nekilódult az ipari forradalom. (Igaz, a 19. században némi fejtörést okozott az elektromágneses mező, az anyagnak ez a finoman és *folytonosan* eloszló formája. De Maxwell kidolgozta ennek is a mozgásegyenletét, így az besorakozott a fizika klasszikus világrendjébe. A 20. század elején Einstein esztétikusan hozzájuk illesztette a gravitációs mezőt: maga a geometria is dinamikai fizikai változóvá vált.) Égen és Földön, természetben és gyárban kiteljesedett a *klasszikus fizika* dinamikus világképe. Újra rend lett, szigorúan előírt mozgáspályák rendje az Univerzumban. Mikor a 19–20. század fordulója közeledett, Max Plancknak azt tanácsolta professzora: „Nem érdemes fizikusnak menned. Ott már mindent megoldottak, csak néhány apró részletet kell még tisztázni.”*

Az egyik ilyen homályos zug volt az izzó testek által kisugárzott fény színe. A rendszeretően konzervatív Planck hozzáfogott, hogy ezt is tisztázza matematikailag. És ekkor meglepetés érte. A 19. század utolsó napjaiban, 1900 decemberében tartott berlini előadásában – szinte bocsánatkérően – elmondta, hogy az izzó test sugárzását csak úgy lehet megérteni, hogy benne az energia nem folytonosan oszlik el, hanem kis adagokban, *kvantumokban* terjed (Nobel-díj). Einstein ezeket a fotonnak elnevezett energiaadagokat is megpróbálta golyókként (tömegpontokként) leírni (Nobel-díj). De mi sugározza ki ezeket az energiakvantumokat? Atomok teszik. Hogy őket erre képessé tegye, Niels Bohr kvantumfeltételeket rótt ki az atommag körül keringő elektronokra: azok csak kiválasztott, elkülönült pályák valamelyikén futhatnak (Nobel-díj). De mi történik akkor, ha egy pontszerű elektront megfogunk, és két kvantumpálya *közé* eső tiltott területre helyezzük, mit fog csinálni? Louis de Broglie az elektron hullámtermészetét posztulálta (Nobel-díj), amit Davisson és Germer megfigyelése megerősített: a szétválasztott, majd újra egyesített elektronnyalábok erősítik-kioltják egymást, azaz interferálnak (Nobel-díj). A hullámmodellt később Erwin Schrödinger következetes *hullámmechanikává* fejlesztette (Nobel-díj). Az elektron állóhullám-állapotai lehetővé tették az atomi energiaszintek számszerű meghatározását. De a hullám szertefoszolhat! Hogyan lehet, hogy a megfigyelt elektronnál mindig oszthatatlanul ugyanakkora töltést tapasztalunk? Erre a kérdésre feleletet keresve Max Born a hullámokat úgy értelmezte, hogy azok csak az elektron helyének valószínűségét adják meg (Nobel-díj). Bohr pedig bevezette a *komplementaritás elvét*: az elektron lokalizált tömegpont is tud lenni (mint egy porszem) és szétterjedő hullám is (mint a fény), attól függően, hogyan nézünk rá. Ezek a 20. század eleji modellek a

* A másképpen nem jelzett idézetek forrásai J. R. Brink, Andrew Szanton, F. S. Wagner, Marx György, Kovács László és Czeizel Endre könyvei, amiket a Bibliográfiában felsorol.

klasszikus fizikában megszokott képeket akarták ráerőszakolni a mikrouniverzumra, de az tiltakozott ellene: a klasszikus fizika toldozása-foltozása során mindig valami ellentmondásba, tapasztalati anomáliába botlottunk.

Történt ekkor (1925), hogy Werner Heisenberg, egy 24 éves müncheni egyetemi hallgató (akinek még nem volt elég ideje a klasszikus fizikát magában elmélyíteni) merész gondolattal állt elő: a világmagyarázatnál vessük el a fejünkben őrzött *klasszicista képeket*, összpontosítsuk figyelmünket a *megfigyelhető mennyiségekre*. A hidrogénszínkép tanúsága szerint a hidrogénatom élesen meghatározott frekvenciájú, intenzitású, polarizációjú elektromágneses hullámokat képes kisugározni, ezért Heisenberg az atomi elektront potenciális adók (antennák) rendszereként írta le, amelyekről a színképvonalak megfigyelt frekvenciája, intenzitása és polarizációja tájékoztat. A megfigyelt antennaamplitúdókat táblázatba rendezte. Erről Göttingában (a német fizikának és akkor a világ fizikájának fellelegvárában) beszámolt. Ott mondta meg neki Max Born professzor, hogy az ilyen számtáblázatot *mátrixnak* illik nevezni. Amit a pozitivista Heisenberg megalkotott, az lett a *mátrixmechanika*. Igaz voltát nem támasztotta alá semmi filozófia, csak az, hogy *működött*: pontosan számot adott a spektroszkópiai megfigyelésekről. Born megkérdezte: miért nem doktorál le belőle? Heisenberg szerényen válaszolt: „Nem tehetem, még nincs diplomám”. (Nobel-díj)

Az atomok világáról szerzett új mérési tapasztalatok özönében, az egymás után felbukkanó (gyakran egymásnak ellentmondó) modellek kavargásában, Nobel-díjak esőjében bontakozott ki a *kvantummechanika*. A nagy kavarodás közepette gyakori vendég volt Göttingában egy absztrakt matematikai gondolkodású angol fiatalember, Paul Adrien Maurice Dirac (Nobel-díj). Ő azt mondta, hogy ne abból induljunk ki, amit *elképzelünk* (nyugvó geometriai pont, sodródó tömegpont, simán lebbenő hullám), hanem ami *létezik*. Ez az *elektron állapota*, de az csak (megszámlálhatóan) *végtelen sok számadattal jellemezhető*. Az elektron megfigyelt interferenciája arról tanúskodik, hogy két állapot összege (szuperpozíciója) is egy lehetséges állapot. Ezért a lehetséges elektronállapotok halmaza egy végtelen dimenziós sokaság, amelyben értelmezve van az összeadás, kivonás, számmal-szorzás, akárcsak a háromdimenziós térbe berajzolt vektornyalaknál. Ezért Dirac ezt a végtelen dimenziós sokaságot *állapottérnek* nevezte el. Isten veled, háromdimenziós euklideszi tér! Isten veled, newtoni–einsteinini téridő! Isten hozott végtelen dimenziós való világunkban!

De ebben a világban is rendet kellett teremteni, mint Eukleidész tette az ókorban három dimenzióban. Ezt a munkát végezte el Neumann János, a Fasori Evangélikus Gimnázium volt diákja, aki vegyészmérnöki diplomával rendelkező, matematikából ledoktorált fiatalemberként szintén Göttingában dolgozott, mint David Hilbertnek, a kor legnagyobb matematikusának tanársegédje. Mit tesz a szerencse: épp Hilbert fejlesztette ki a végtelen dimenziós lineáris (összeadódó) függvények terének a matematikáját, amit ma Hilbert-tér néven ismerünk. Erre alapozva (az állapotteret Hilbert-térnek tekintve) építette ki Neumann János a kvantummechanika matematikai szigorúságú axiomatikáját, ami nagyon más volt, mint a háromdimenziós geometria és a newtoni dinamika. (*A kvantummechanika matematikai alapjai*, 1931.) Így vált Neumann János a 20. század Eukleidészévé.

Wigner Jenő szerencsés ember volt. Ebbe az izgalmas 20. századba született bele – a téridő egyik legalkalmasabb helyén, Budapesten, 1902. november 17-én. Egy évvel volt fiatalabb, mint Heisenberg. Ugyanabban az évben született, mint Dirac. Egy évvel volt öregebb, mint Neumann. A Fasori Evangélikus Gimnáziumban egy évvel járt Neumann fölött, a két gimnazista jól ismerte egymást. Később mindkettőjüket Németországba sodorta a hazai történelem forgószele, Berlinben jártak egyetemre. Onnan hívták meg Göttingába, hogy ő is David Hilbert tanársegéde legyen. Fiatal, nyitottan kíváncsi fejjel, szemtanúként élte át a nagy vajúrást: a kvantummechanika születését:

„Láttam, hogy a fizikát 1925 körül hogyan forradalmasítja a kvantummechanika.”

Ha a valóság egy *végtelen dimenziós állapotterben* létezik és ott alakul, akkor miért van az, hogy bennünk mégis egy *háromdimenziós tér* képzete él? Márpedig ilyen tudattal ment végbe az emberré válás, az építészeti kialakulása, a Föld feltérképezése, egész intellektuális fejlődésünk! Ma is gyakorlatilag háromdimenziós világban lépdünk! Wigner nagyon komolyan vette a kérdést: mi lehet a valóságot leíró állapotok végtelen dimenziós terében az, ami háromdimenzióssá alakítja az emberi gondolkodást?

Wignernek Berlinben írt diplomamunkája a kénkristály szimmetriáival foglalkozott. Professzora azt kérdezte: „Derítse ki, hogy egy kristályban az atomok egyensúlyi helyzete a kristályrács szimmetriapontjaiba esik-e!” Wigner visszaemlékezése szerint: „A kristályok világa csodálatos szimmetriákkal van tele. Én különösen szépek találtam a kén szimmetriáit. A kénatomok mikroszkopikus viselkedése akkor még szűz terület volt, de én nagyon élveztem a kénkristályok rombuszos szerkezetének földérítését.”

A kutató laboratóriumának munkaasztalán vizsgálja az anyag mozgástörvényeit. Kísérleti eszközeit akár át is vihetné a szomszéd szobába, a mérések révén megmutatkozó mozgásegyenletek ugyanazok maradnának. Távoli égitestek hozzánk eljutó fénye tanúsítja, hogy az atomok és csillagok az Univerzum távoli vidékein is hasonló törvények szerint viselkednek, mint itt a Naprendszerben. A világon nincs kitüntetett megfigyelő. Nincs kitüntetett pont, ahonnan a világ „igazi” éne szebben megmutatkozik. A természetnek ezt a tulajdonságát „eltolási szimmetria” néven tartja számon a fizika. Az sem lényeges, hogy merre fordulunk, mert nincs kitüntetett irány, amelyre be kellene tájolni laboratóriumi mérésünket. Ez az „elforgatási szimmetria”. Az is mindegy, hogy stopperórákat mikor indítjuk el: az időbeli mozgás lefolyását nem befolyásolja, hogy téli vagy nyári időszámítás szerint, közép- vagy kelet- vagy nyugat-európai óra szerint mérjük az időt, keresztény vagy zsidó vagy mohamedán évszámítást használunk, mert az időnek nincs kitüntetett kezdőpillanata: az egyenletekben csak időkülönbséget számítanak, nem a „kezdet” óta eltelt idő. Ez az „időeltolási szimmetria”. Az sem számít, hogy a mozgó Földön vagy egy másként mozgó űrhajón kutatjuk a fizika alaptörvényeit. Ez a relativitáselmélet által megfogalmazott „inerciális szimmetria”. Mindezek azt fejezik ki, hogy a 3+1 dimenziós téridőben időkezdés, helyzet, irány, sebesség nem tünteti ki a megfigyelőt.

Ezekből a szimmetriákból egyszerű matematikával következik tíz mennyiség szigorú megmaradása: zárt rendszerben állandó az energia, a lendületvektor, a perdületvektor és a tömegközéppont sebességvektora. Ez a tíz megmaradási törvény pedig életbevágóan fontos számunkra! Hiszen az ember biológiai üteme, érzékszerveinek és agyának reakcióideje nagyságrendekkel lassúbb az atomi jelenségek időbeli lefolyásánál, ezért mi a tartós, állandó (egyáltalán nem vagy csak lassan változó) mennyiségekre támaszkodhatunk, azokra vezettünk be elnevezést: munkavégző képesség (energia), lendület (impulzus), perdület (impulzusmomentum), tömegközéppont.

Wigner Jenő ismerte fel annak jelentőségét, hogy a végtelen dimenziós állapotterben a törtenés törvényei 3+1 dimenziós téridőben ábrázolható tíz szimmetriát mutatnak, és ezek egzaktul érvényesek! Rájuk támaszkodunk mindennapi életünkben is, ezért lett célszerű agyunkban – érzékszerveink támogatásával – három téridimenzió meg egy idődimenzió képét kialakítani.

Wigner még tovább lépett. A fizikát egy jobbkezes és egy balkezes fizikus egyaránt sikeresen művelheti, mert a természet szimmetrikus a háromdimenziós tér tükrözésével szemben is: egy valóságos fizikai jelenség tükörben látott képe is lejátszódhat a Természetben. Ez a „tükrözési szimmetria”. Ebből egy Wigner által bevezetett új fizikai mennyiségnek: a *paritás*nak a megmaradása adódik. Két tértükrözés egymásutánja már azonosság (mintha nem csináltunk

volna semmit), ezért a paritás négyzete egység, a paritás értéke tehát +1 vagy -1 lehet. (-1-nek is +1 a négyzete.) A paritás megmaradása azt jelenti, hogy +1 paritású (tükörszimmetrikus) állapotból nem lesz soha -1 paritású (tükrözéskor jelet váltó antiszimmetrikus) állapot, és megfordítva: antiszimmetrikus (-1 paritású) állapot nem mehet át tükörszimmetrikusba (+1 paritás). Ezzel a kvantummechanikai gondolatmenettel Wignernek az elképzelhető történések (kvantumugrások) felét sikerült kizárnia.

Wigner ezeknél a kiválasztási szabályoknál még továbbment: a végtelendimenziós állapottér 3+1 dimenziós szimmetriáit matematikailag kiaknáztta az atomok világában történő kvantitatív tájékozódásra. A matematika az olyan sokaságot, amelyben két elem szorzata is elem, és elem azok megfordítása (inverze) is, *csoportnak* nevezi. Ugyanígy egy 30 fokos és egy 15 fokos elforgatás egymásutánja is forgatás (45 fokkal). Két szimmetriatranszformáció egymásutánja szintén szimmetriatranszformáció. Egy transzformáció után azt visszafele végrehajtva (nem az óramutató járása szerint, hanem azzal ellentétesen fordulva, nem jobbra, hanem balra lépve) is egy transzformációt kapunk, amely az első transzformáció hatását visszacsinálja, tehát létezik inverz is. Ezért *a természet Wigner által tárgyalt szimmetriái csoportot alkotnak*. Wigner a csoportelmélet matematikai módszereit felhasználva elegánsan és pontosan kiszámított a mikrovilágban olyan mennyiségeket, amelyeket korábban csak vesződségesen, numerikus közelítésben vagy egyáltalán nem tudtak kiszámítani. Így nemcsak az összeeső és szétváló energiaszinteket és a kvantumátmenetek („kvantumugrások”) kiválasztási szabályait kapta meg, hanem a színképvonalak frekvenciáit, intenzitásait, polarizációját is számszerűen és elegánsan ki tudta számítani.

Természetesen azoknak, akik az atomok világát is háromdimenziós euklideszi térben próbálták maguk elé képzelni, ezek a végtelendimenziós állapottérben működő kiválasztási szabályok, állapotfüggvényekre alkalmazott csoportelméleti trükkök érthetetlenül riasztóan hatottak. Még Wolfgang Pauli is, a Svájcban dolgozó osztrák fizikus, aki pedig sokban hozzájárult a kvantummechanika kiegészítéséhez (a spin bevezetésével, Nobel-díj), irtózott attól, amit ő *csoportpestisnek* nevezett el (1929). (A szó német eredetije *Gruppenpest*, amelyben a *-pest* végződés talán a matematikai járvány elterjesztőinek szülővárosára is utal.) Hasonlóan kételkedett Erwin Schrödinger, Max von Laue és Max Born is. Róluk Neumann János ezt mondta Wignernek: „Ó, ezek csak régi előítéletek. Öt éven belül minden fizikushallgató az egyetemen fogja tanulni a csoportelméletet.” Így is lett. Pár éve mondta Arthur Wightman princetoni professzor: „Az utóbbi évtizedek során a szimmetriacsoportok varázslótudománya nemcsak mindennapos rutinná vált, hanem olyan mélyen gyökeret vert a fizikusok természetéről alkotott képében, hogy már el sem csodálkozik rajta senki.”

Szilárd Leó bátorította Wignert, hogy mindezt írja meg egy közérthető tankönyvben. Wigner Jenő könyvét nyári vakációja során Duna-parti nyaralójukban, Alsógödön írta, az 1931-ben Berlinben jelent meg: *Csoportelméleti módszerek az atomszínképek kvantummechanikájában*. Ez az atomfizikusok kedvelt könyve, egyetemi hallgatók kedvelt tankönyve lett, amit ma is forgatnak. Jól meg lehet belőle érteni a csoportelmélet matematikáját, és ennek alapján jól lehet tájékozódni az atomok három- és végtelendimenziós világában. Aki ebbe belelendül, hirtelen otthon érezheti magát az elektronok végtelendimenziós állapotterében is! A 21. század fiataljai már a kvantummechanika Wigner által adott tárgyalását tanulják, abban gondolkodnak, azt érzik majd egyszerűnek.

Az azóta kibontakozó kvantumtérelmélet, a nagyenergiájú fizika már olyan absztrakt matematikai kereteket használ, hogy a 20. század második felében szimmetriacsoportok nélkül elképzelhetetlen lett a tájékozódás. Wigner Jenő 1963-ban kapta meg a fizikai Nobel-díjat „*az atommag és az elemi részecskék elméletéhez való hozzájárulásáért, különösképpen a fundamentális szimmetriaelvek fölfedezéséért és alkalmazásáért*”. Stockholmban a Nobel-díj átvételekor mondott beszédét e szavakkal zárta:

„Ezen ünnepi alkalomból arra szeretném ráirányítani a figyelmet, hogy mennyire tanárainknak köszönhetjük a tudomány iránt mutatott érdeklődésünket, magatartásunkat. Az én történetem Magyarországon kezdődött el a gimnáziumban, ahol matematikatanárom, Rátz László könyveket adott olvasásra, érzéket ébresztett bennem tárgyának szépsége iránt.”

Gyermekevek

„Mint a többi gyermek, én is saját beleegyezésem nélkül jöttem a világra. Milyen kár, hogy nem emlékezünk a napra, amikor megszülettünk. Milyen szép emlék volna! Amint tudatosult bennem, hogy élek, boldoggá és kíváncsivá tett a körülöttem lévő világ. Magamban köszönetet mondtam szüleimnek, hogy életet adtak nekem” – emlékezett vissza Wigner Jenő, talán a legnagyobb fizikus, akit magyar szülőföld adott az emberi kultúrának.

Wigner Jenő Pál 1902. november 17-én született Budapesten. A VII. kerületben a Király utca 76. számú házban emléktábla hirdeti születése helyét. A Wigner családnevet a német *Wiegner* (bölcshőképző) szóból rövidítette le Jenő dédapja. A Jenő a magyar nyelvben kicsit formálisnak hat, ezért a családban úgy emlegették, hogy *Jancsi*. Angolul Eugene Paul Wigner néven, röviden Eugene P. Wignerként írta alá nevét, amit a tréfás amerikai szleng *Eugene Pardon Wigner* módon idézett, célozván Jenő közismerten szerény stílusára. Teller Ede írta le a következő anekdotát: Wigner Jenővel várandós édesanyjáról az orvosok megállapították, hogy ikrei fognak születni. A szülészorvos igencsak elcsodálkozott, amikor a magzatok vizsgálatakor azt hallotta, hogy egyikük halkán mondogatta: „Csak Te utánad!” Teller Ede szerint: „Ő ültette el az amerikaiak fejében azt a tévhitet, hogy a magyarok udvarias és szerény emberek. Szilárd Leóról (mint sok más magyarról is) köztudott, hogy ha forgóajtónál előre is enged mindenkit, utoljára lépve be a forgóajtón, biztosan elsőként lép ki. Hát Wigner nem ilyen volt. Ha előre tessékelték a forgóajtónál, akkor is biztosan utolsónak lépett ki.” Telegdi Bálint mesélte: „Egyszer egy mellékutcából a Wigner által vezetett kocsik elé vágott szabálytalanul egy másik autó. Erre Wigner mérgében rákiáltott: »Eredj a pokolba – kérlek.«” A *Fortune* folyóirat „nyugodt génuszként” jellemezte (1950).

„Mióta tejet kezdek szopni, magyar beszédet hallottam szüleimtől, de nem próbáltam azt utánózni. Első tiszta és fontos emlékem az a nap, amikor felfedeztem a beszédet. Hároméves voltam, amikor kirándultunk nagybátyám birtokára, Balcza-pusztára. Elmentünk sétálni. Búzamezők mellett járva hirtelen vágyat éreztem, hogy megértsem nagyapám és nagybátyám vicceit, és hogy magam is beszéljek” – mesélte 89 évesen.

Apai nagyapja, *Wigner Jakab* (1840–1873) Gyömrőn született. A bécsi születésű *Vigdor Bertát* (?–1886) vette feleségül. Két gyermekük volt, mindkettő Kiskunfélegyházán született, *Antal* (1870–1955) és *Matild* (1872–1873), aki csak egy évet élt. Amikor Antal háromévesen elvesztette apját, a család Pestre költözött. Wigner Antal, Jenő édesapja a Fasori Evangélikus Gimnáziumba járt, de érettségi előtt meghalt az édesanyja, ezért nem mehetett egyetemre: dolgoznia kellett. Az újpesti Mauthner Bőrgyárba került, ott egy idő után cégvezető igazgató lett. Reggelente fél nyolcra lovaskocsi, majd autó jött érte, hogy munkahelyére vigye. Szigorú (formatartó) főnök volt. Sötét öltönyben járt mellénnyel, a nyakkendő estét lefekvésig nem vette le. 1900-ban vette feleségül a kismartoni születésű *Einhorn Erzsébetet* (1879–1966). Több gyermekük volt: *Berta* (Biri, 1901–1955), *Jenő* (Jancsi, 1902–1995) és *Margit* (Manci, 1904–). A józan papa katonás fegyelmet tartott a családban, például gyermekeit sohasem csókolta meg. A szülők hosszú életet (apja 85 évet, anyja 87 évet) éltek meg, Amerikában haltak meg. Ez is magyarázza, hogy Jenőnek is hosszú élet (93 esztendő) adatott.

A legidősebb testvér, *Biri* kitűnő tanuló volt, háta közepéig érő hajjal. 20 éves korában ment feleségül Lantos Ernő bankárhoz, leszármazottja, Lantos Péter vegyész-mérnök Amerikában él. *Jenőről* még több szó lesz. Húga, *Manci* temperamentumosan vad leány volt, haja csak a válláig ért. Nem volt jó tanuló az iskolában. Sokat veszekedett Jancsival, elvette a zsebkendőjét, Jancsi meg ellopta Manci csokoládéit. De végül is jó barátságban voltak. Manci

előbb egy gazdag és jóképű magyar katonatiszthez, Balázs Richárdhoz ment feleségül, aki szerette a nőt – nagyon is. Ezt Mancsi azután megelégte.

Érdemes pár mondatot szólni Wigner Jenő anyai őseiről is. Wigner Jenő unokája, *Margit* 1000 évre visszamenően kinyomozta az anyai családfát. A zsidó diaszpóra tagjaiként Franciaországba vetődtek. A nyugat-európai zsidóüldözés elől a 16. században Hollandiába, onnan Németországba, majd Csehországba és Ausztriába vándoroltak. A bennünket érdeklő ág a 17. században került Kismartonba, az arisztokrata Esterházy család ősi fészkebe. Wigner Jenő anyai nagyapját, a Kismartonban született *Einhorn Hermant* (1844–1923) az Esterházyak orvosaként tartották számon. *Spitzer Teréz* (1851–1877) lett a felesége, de ő korán meghalt. Ekkor Einhorn Herman az első feleség unokahúgát, *Spitzer Sárát* (?–1920) vette feleségül. Hat gyermekük született, a legidősebb *Einhorn Erzsébet* (1879–1966), Wigner Jenő édesanyja volt. *Einhorn Frida* (1881–1973) földesgazdához, *Einhorn Ottilia* (1882–?) földbérlőhöz ment feleségül, *Einhorn Jenő* (1883–?) orvos lett, *Einhorn Margit* (1884–?) orvoshoz ment feleségül.

A budapesti szülői házban *Wigner Jenő* jó nevelést kapott. Édesapja mint gyárigazgató tehetséges ember volt. Három gyereke a Király utcai második emeleti lakásban egy gyermekszobában élt. Jenő rövidlátó volt, ezért kisgyerek korától szemüveget hordott, ami játékban-sportban némileg hátráltatta. Nem volt erős testalkatú. Mint édesapja mondta a vendégeknek: „Ne bántsátok Jenő fejét, hiszen az a leggyengébb része!” Édesanyja – akit a családban Elzának hívtak – esténként e szavakkal köszönt el: „Öllelek, csókollak” – és meg is tette. Édesapja – akit felesége Tóninak hívott – vett egy nyaralót a Duna mellett Budapesttől északra, Alsógödön (Jávorka Sándor utca 18). Jót lehetett úszni a Dunában, meg nagy gyalogtúrákat tenni. Jenő szeretett sétálni.



Wigner Jenő szülőháza: Budapest, VII. Király utca 76.

Nyaranta az (anyai) nagypapát, Einhorn doktort látogatták meg Kismartonban. Ott Jenő számára az volt a meglepő, hogy többen beszéltek németül, mint magyarul. De édesanyja megtanította a gyerekeket németre, ezen a nyelven beszélgettek a nagyszülőkkel. Persze a legérdekesebb Esterházy herceg kastélya volt. A csatlakozó gyönyörű park egy része nyitva állt a közönség számára, ahol a padokon üldögélve jól lehetett nézelődni és beszélgetni.

Jenőt ötéves korától kezdve egy nevelőnő, Gitta néni tanította írni, olvasni, számolni. Még franciára is megtanította. (Angolul Jenő csak 28 éves korában tanult meg.) 9 évesen írást be egy nyilvános elemi iskola 3. osztályába. A lakásban volt könyvtárszoba, ahol a kis Jancsi szívesen olvasta a magyar költőket. Különösen Vörösmartyt szerette. Idős korában is ezt vallotta: „Talán a magyar költészet volt a legkülönb Európában.”

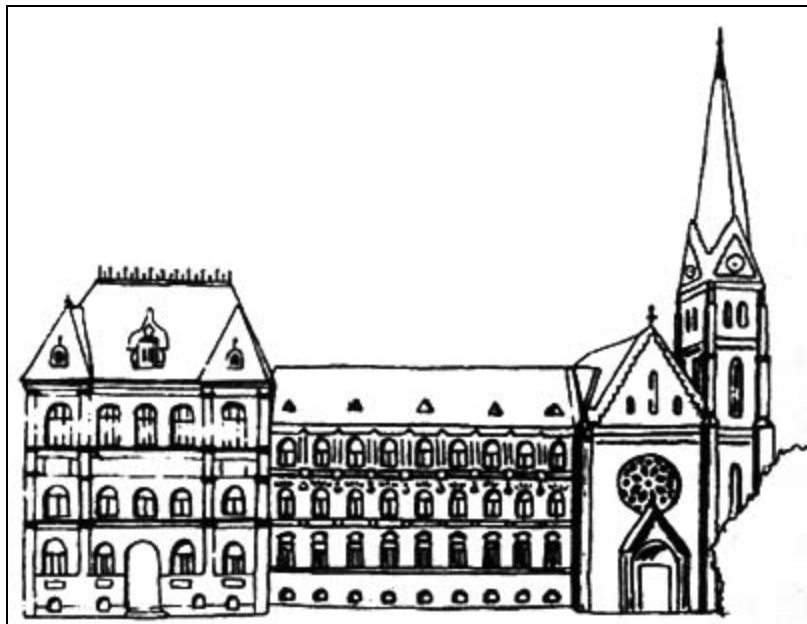
A fiú 11 évesen nagyon megbetegedett, az orvosok azt mondták, hogy valami baj van a tüdejével. Az osztrák Alpokba küldték szanatóriumba. Édesanyja vele ment. Édesapja ezt mondta útravalóul: „Vigyázz magadra, fiam. Légy jó fiú, udvariasan beszélj édesanyáddal és fogadj szót neki!” A hegyeket élvezni lehetett volna, de a tüdőbajtól való félelem befelhőzte a boldogságot: „Megtanultam, hogy az emberi élet is véges.” Nem engedélyezték a hosszú sétákat, ezért a fiú mentségül a matematikához fordult. Olyan feladatokat adott fel magának, mint például hogyan lehetne egy háromszöget megszerkeszteni, ha csak a három magasságot ismerjük. Erre idős korában így emlékezett vissza: „Ez nagyon egyszerű probléma, most már álmomban is meg tudnám oldani. De akkor heteken át tartó kemény gondolkodást igényelt, hogy megoldjam.” Hat hét múltán kiderült, hogy az orvosi diagnózis hibás volt. Ezután Wigner mégis „betegesen” tartotta magát, és nem nagyon bízott az orvosok tudásában sem. 13. születésnapjára kapott egy zsebórát, amit naponta fel kellett húzni. Azt használta öregkorában is, az 1990-es években. (Csak egyszer, 1921-ben kellett javíttatni.)

Az I. világháború számára is keserű történet volt. Amikor Ferenc Ferdinánd trónörökösét Sarajevóban megölték, Bécsben megijedtek, hogy a Monarchia népei fel fognak lázadni a Habsburg-uralom ellen. A magyaroknak azt mondták, hogy ez védekező háború. Tóni túl öreg, Jenő túl fiatal volt ahhoz, hogy behívják. Hogy miért kellett a háborúnak egész Európára kiterjednie, az a történészekre tartozó kérdés. A fegyverek azonban egyre jobbak lettek, és mind több ember pusztult el. A háborúban – különösen az orosz fronton – magyarok százazrei estek el. Jenő szülei nem is dicsérték, nem is kritizálták a kormányt – bíztak benne, hogy a háborút a magyarok megnyerik. Végül a Monarchia mégis szétesett, rendszerváltások következtek. Ezenközben sok magyar kételkedni kezdett a zsidók hazafiúi érzéseiben. Mivel Wigner szülei nem voltak vallásosak, gyerekeik csak tizenéves korukban tudták meg zsidó származásukat. (Wigner Jenőt tizenhat éves korában meg is verték az utcán.) A kommunista Tanácsköztársaság hónapjait a család Ausztriában vészelte át. A politikai helyzet lehetett az oka, hogy a szülők 1915-ben, Wigner Jenő 1919 tavaszán evangélikus lett. Ebben bizonyára a Fasori Evangélikus Gimnáziumbeli neveltetésnek volt döntő szerepe, ahová az édesapa járt, és ahová tízévesen Wigner Jenőt is beírták.

A Fasori Evangélikus Gimnázium

„Sok-sok víz folyt le a Dunán, mióta utoljára fürödtem benne. Az idő azonban nem mosta le hálaérzetemet születésem helye iránt. Nem felejtettem el, hogy bölcsőm volt, hogy sokáig éltetett, hogy ott szereztem meg tudásom alapjait. Ritkán mulasztom el az alkalmat, hogy ki ne fejezzem hálámat tanáraimnak és az iskolának, a Fasori Evangélikus Gimnáziumnak, amelynek annyit köszönhetek. Soha sem fogom elfelejteni régi tanáraimat, közöttük Rátz Lászlót, egy igaz tanárt és melegszívű embert, aki először ébresztette fel bennem tárgyának, a matematikának szeretetét. Oppel Imre rajzolóművésze is jelen van emlékezetemben. Élénken élnek szívemben a versek is, amelyeket a Fasori Gimnáziumban tanultam, még ma is sok új szépséget fedezek fel bennük” – írta Wigner Jenő *Az atommag szerkezete* című könyve magyar kiadásának előszavában.

„A Fasori Gimnázium abban az időben talán Magyarország legjobb gimnáziuma volt, de valószínűleg a világon is az egyik legjobb iskola. Legalább két tanára végzett kutatómunkát, ha szerény keretek közt is. A tanárok többsége odaadó figyelemmel tanított, nevelte a gondjaikra bízott fiatalokat. A tanári kar korán felismerte Neumann János kivételes tehetségét. Rátz László matematikatanár – akinek én is le vagyok kötelezve – szárnyai alá vette Jancsit, bemutatta az egyetemen. Az egyetemnek szoros kapcsolata volt néhány gimnáziummal, így Neumann ismert lett a budapesti matematikusok körében, mielőtt leérettségizett volna. Fejér Lipóttól származik az elnevezés: »Magyarország legnagyobb Jancsija.« Ez a név egész életében Neumannon ragadt. Az iskolában és társai közt Neumann visszahúzó volt. Az osztály csínyjeiben csak annyira vett részt, hogy elkerülje a népszerűtlenséget. Mindenki tisztelte – vagy éppen irigyelte – a benne lévő intellektuális erőt. Szeretett beszélgetni, szeretett beszélni a matematikáról. A vele tett séta után barátai gyakran későn este tértek haza” – írta Wigner, Neumannra visszaemlékezve.



A Fasori Evangélikus Gimnázium

Harsányi János, aki később Nobel-díjat kapott a Neumann-féle játékelmélet közgazdasági alkalmazásáért, így emlékezett vissza iskolájára a Nobel-bizottsághoz beadott önéletrajzában: „Szüleim választották a Fasori Gimnáziumot, akkor az volt Magyarország egyik legjobb

iskolája. Nagyon boldog voltam a gimnáziumban, kiváló nevelést kaptam. 1937-ben, az érettségi évében első díjat nyertem az Országos Matematikai Tanulmányi Versenyen.” A szerzőnek ezt mondta (1995): „Az iskolában a matematika is, a humán tárgyak is érdekelték. Csernák tanár úr inspirált leginkább. A VII. osztályban külön matematikapéldákat adott nekünk, amelyet szorgalomból legalább az osztály fele próbált megoldani. Érdeklődésemet észrevéve fölhevítve figyelmemet a Középiskolai Matematikai Lapokra. Ezen közben magam fedeztem föl, mit jelenthet egy negatív hatványkitevő, és mennyi egy negatív szám faktoriális. Amikor Csernák tanár úr elment az iskolából, Renner János vette át a matematikát és a fizikát. Ő Eötvös Loránd tanítványa és munkatársa volt. – Az angolszász iskolarendszer túlspecializált. Ismerek kiváló közgazdászokat, és megdöbbenett, amikor kiderült: fogalmuk nincs, hogy mire való a máj és a vese. Amerikában vannak kiváló orvosok, de ők csak orvosi szakkönyveket olvasnak. A magyar iskolák nagyon jók. Amikor iskolába jártam, mindenkinek kellett latint, matematikát és fizikát tanulnia. A latin nyelv jó bevezető az idegen nyelvek tanulásához. Én magam harmadik lettem az Országos Görögnyelvi Tanulmányi Versenyen. Szerencsémnek tartom, hogy Pesten járhattam gimnáziumba.”

Ennél szebben talán nem is lehetne megfogalmazni egy igazán jó iskola szerepét: felébreszti a tudásvágyat, megszeretteti a tantárgyakat. Az elvont matematikát éppúgy, mint az irodalmat, a művészeteket. Átlagos iskolákban csak egy-egy olyan kiemelkedő tanár akad, akinek a tantárgyát szívesen tanulják, a Fasori Gimnáziumban sok kiemelkedő tanár volt. Wigner Jenőnek 1973-ban írt levélsorai is ezt szemléltetik:

„Szolártól latint tanultunk és néha ma is örömet okoz visszaemlékezni arra, amit tőle tanultam, és újra olvasni azt, amit ő mutatott be nekünk. Kubacska András természetrajzot tanított, nagyon sokáig nem is tudtam, mit szeretek jobban, növénytant vagy a matematikai fizikát. Oppel Imre a mértan elemeivel ismertetett meg minket, ő volt egyik legfiatalabb tanárunk, és egészen nem régi haláláig fenntartottuk kapcsolatunkat. Megismételjem, hogy hálával és szeretettel gondolok a középiskolára, ahol oly sokat tanultam? Hogy gyakran emlékszem vissza, talán vágyódással, a napokra, melyeket benne töltöttem? Hogy órákig tartana, ha mindarról beszámolnék, amire vele kapcsolatban emlékezem? Azt hiszem, aki hasonló érzelmeket táplál, úgyis tudja mindezt, és sok mást, amit szavaim csak sejtetnek.”

Sok különleges, később sikeres ember járt a Fasori Gimnáziumba. A 19. század lánglelkű költője, Petőfi Sándor 1833/34-ben volt itt diák. Ide járt Arany János unokája, Piroksa. Az iskola 20. századi diákjai közül később kitűnt a fizikus Wigner Jenő, a matematikus Neumann János, a mérnök Kandó Kálmán, az orientalista Stein Aurél, a festőművész Glatz Oszkár, a karnagy Doráti Antal, a Nobel-díjas Harsányi János, aki a Berkeley Egyetem professzora lett, Palócz István, aki a New York University School of Engineering and Science professzora lett, Moravcsik Mihály, aki az University of Oregon fizikaprofesszora lett. A gimnázium államosítása előtt két tanévben Gróf András is idejárt, aki Amerikában Andrew Grove néven az INTEL vezérigazgatója, majd elnöke lett, és a modern számítógépek gyors mikroprocesszorait (Pentium stb.) kifejlesztette. Ezek a kiválóságok lelkesedéssel és szeretettel emlékeztek vissza volt iskolájukra. Dicsérték a demokratikus szellemet, azt hogy csupán képességeik és elért eredményeik alapján tettek különbséget a diákok közt. Dicsérték a magas színvonalú oktatást, a sok természettudományos kísérletet, a színes diákéletet, a mélységesen emberséges bánásmódot. Kiemelték a jelenségek, törvények megértésének tiszta örömét, az iskolának a természettudományos gondolkodásmódjuk kialakításában, látásmódjuk kifejlesztésében, pályaválasztásuk megalapozásában játszott fontos szerepét. Érdemes elgondolkozni azon, hogy éppen a kiemelkedő tehetségekben ébred hála és szeretet tanáraik iránt, pedig ők mondhatnák, hogy saját maguknak, képességeiknek és szorgalmuknak köszönhetik eredményeiket.

Az emberileg és szakmailag is kiváló tanárok nagyon szerettek tanítani, szerették és tudták tantárgyaikat, ugyanakkor sokoldalúak voltak. A tudományos kutató megengedheti magának, hogy részterületekbe mélyedjen, a tanárnak sokoldalúnak kell maradnia, hiszen tanítja a leendő művészt, orvost, mérnököt, tanárt: mindre egyformán kell hatnia, mindnek életre szóló élményeket kell adnia. Vegyük példaként Oppel Imrét, ő Wigner Jenőnek a szépírást, a számtan-mértant, a tornát, a görögpótló rajzot tanította. Tájékpfestőként is elismerték. Oltárképek, az iskola jeles személyiségeinek máig meglevő portréi jelzik művészi erejét. Képeivel rendszeresen szerepelt a Műcsarnok és a Nemzeti Szalon kiállításain.

A tanárok a tanítás és az iskolai élet szervezése mellett rendszeresen végeztek tudományos munkát, előadásokat tartottak, cikkeket írtak. Szigethy Lajos és Loisch János magyartanárok, Bélay (Koch) István és Tóth Kálmán történelemtanárok, Serédi Lajos latintanár, Kubacska András biológiatanár, Fényes Mór hittanár és Kliment Jenő görög tanár doktori fokozattal rendelkezett. A Fasori Gimnázium tanárai közül a Magyar Tudományos Akadémia tagjává választotta Böhm Károly filozófiatanárt, Dorner József növénytanárt, Fröhlich Róbert latintanárt, Greguss Gyula fizikatanárt, Győri Vilmos magyartanárt, Heinrich Gusztáv némettanárt, Lehr Albert nyelvtanárt, Mikola Sándor fizikatanárt, Pecz Vilmos latintanárt, Petz Gedeon némettanárt, Szénássy Sándor latintanárt, Taubner Károly nyelvtanárt, Tolnai Vilmos magyartanárt és Vajda Péter magyartanárt. (Heinrich az Akadémia főtktára is volt.)

Kiválóak voltak a tárgyi feltételek is. Az iskolai könyvtár 1900-ban már 10000 kötetes volt, 27 folyóirat járt az iskolának, 1000 darabos diapozitív-gyűjteményük és 2515 darabos éremgyűjteményük volt. A természetrajzi szertárban Dr. Kubacska András 2600-féle ásványt határozott meg és címkézett fel, 2357 darabos volt a lepkegyűjtemény. A fizikaszertárt Mikola Sándorral kapcsolatban mutatjuk majd be.

A tanulók öntudatos munkájával fejlesztette ki a nevelőtestület az erkölcsi jellemet és az önálló gondolkodást. Sokat segítettek a színházlátogatások: a diákok a Nemzeti Színház ifjúsági előadásaira jártak, elmentek a Népszínházba és az Uránia Természettudományos Bemutatóterembe. Beregi Oszkár rendezésében ők maguk mutatták be az *Oedipus királyt* az iskolában (1915). 1862-ben szervezték meg az önképzőkört, amely teret adott a természet-tudomány iránt érdeklődő diákok pályázatainak és előadásainak. Kovács István fizikus, egykori fasori diák büszkén mesélte, hogy ő preparált emberi agyat mutatott be az önképzőkörben, más alkalommal fizikai előadást tartott. Akik munkájukért dicséretet kaptak, ezt a tényt maguk írhatták be az „érdemkönyvbe”. Wigner Jenő nevével is találkozhatunk:

„Az Arany János Önképzőkör 1919. február 8. ülésén érdemkönyvi megörökítést nyert Wigner Jenő tanulmánya a relativitáselmétről: Az objektív aberráció elmaradása. A »nyugvó éter«. Mit értünk azon kifejezés alatt, hogy valamely test »áll«?. A speciális relativitáselmélet. Lorentz-transzformációk. A távolságok megrövidülése. Ezen az alapon a merev testek létezésének lehetetlensége. Az általános relativitáselmélet. A gravitációs erő. A Gauss-féle koordináták. Összehasonlítás a klasszikus mechanika, a speciális és általános relativitás elve között. Wigner Jenő VII. o. t.”

A tanulók szülei, gyárosok, kiemelkedő személyiségek, az egykori diákok jelentős összegeket adtak az iskolának, alapítványokat teremtettek. A tanári kar ezen pénzekből fejlesztette az iskolát és jutalmazta a legjobbakat. A 18 koronás Lamm Dezső-ösztöndíjat az 1916/17-es tanévben Wigner Jenő V. osztályos tanuló kapta. A következő tanévben mint az V. osztály legjobb matematikusa, Neumann János nyert 10 koronás jutalmat. 1920-ban az érettségi vizsgáló bizottság javaslatára a tantestület a 20 koronás Weiss Antal-matematikai ösztöndíjat Wigner Jenőnek ítélte oda.

Egy amerikai legenda (Blumberg–Owens: *Energy and Conflict*. Putnam, 1976) szerint a 20. századi csúcstechnika minden pesti úttörője ugyanabba az iskolába járt, és ugyanaz a tanár tanította őket. Ez nem igaz. Csak majdnem igaz. Budapesten az egyházi iskoláknak voltak a legrégebb hagyományai és a legismertebb hírnevük. Láttuk, hogy az Evangélikus Gimnázium diákja volt Neumann János és két Nobel-díjas: Wigner Jenő és Harsányi János. A Piarista Gimnázium diákja volt Eötvös Loránd és két Nobel-díjas, Hevesy György és Oláh György. A Református Gimnázium diákja volt a Nobel-díjas Szent-Györgyi Albert. De a 20. században világi iskolák is elismerést nyertek kiemelkedett tanítványaiktól. A Trefort utcai Mintagimnázium diákja volt Kármán Tódor, az űrkutatás úttörője, Kürti Miklós, a legalacsonyabb hőmérséklet rekordere, Teller Ede, az atommagfúzió kidolgozója. A Berzsényi Gimnáziumba járt Klein György, a Stockholmban dolgozó rákkutató, Kemény János, az e-mail úttörője meg Soros György. És sorolhatnánk tovább a kiváló iskolákat.

Az 1952-ben megszüntetett, majd 1989. szeptember 2-án újra induló Budapesti Evangélikus Gimnázium (VII. Városligeti fasor 17/21.) kőbe vési, bronzba zárja neves diákjai és tanárai emlékét. A második emeleti díszterem előtt áll Wigner Jenő és Neumann János mellszobra. A lépcsőházban és a folyosón vannak a legkiválóbb tanárok (Rátz László, Mikola Sándor, Vermes Miklós) domborműves márványtáblái. Az iskola külső falán, a kapu mellett 2001 szeptembere óta fekete gránittábla hirdeti az arra járóknak:

A 20. SZÁZAD SORSFORDÍTÓ MAGYARJAI KÖZÜL E FALAK KÖZÖTT
VÉGEZTÉK KÖZÉPISKOLAI TANULMÁNYAIKAT

WIGNER JENŐ

1902–1995

NOBEL-DÍJAS FIZIKUS

NEUMANN JÁNOS

1903–1957

VILÁGHÍRŰ MATEMATIKUS

HARSÁNYI JÁNOS

1920–2000

NOBEL-DÍJAS KÖZGAZDÁSZ

TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEIKKEL ISKOLÁNKNAK, HAZÁNKNAK HÍRNEVET,
DICSŐSÉGET SZEREZTEK, AZ EMBERISÉG SZÁMÁRA MARADANDÓT ALKOTTAK.

A SZÁZAD OLYAN KIVÁLÓ TANÁREGYÉNISÉGEI OKTATTÁK ŐKET, MINT
HITTRICH ÖDÖN – MIKOLA SÁNDOR – RÁTZ LÁSZLÓ – RENNER JÁNOS,
AKIK A TANÍTÁS MELLETT TUDOMÁNYOS KUTATÓMUNKÁT IS VÉGEZTEK.

MEGEMLÉKEZÉSÜL A MILLENNIUM ÉVÉBEN ÁLLÍTOTTA A BUDAPESTI
FASORI EVANGÉLIKUS GIMNÁZIUM TANÁRI KARA ÉS TANULÓI

Rátz László

„Az volt a szép a Fasori Gimnáziumban, hogy a tanárokat érdekelte a tanítás. Az a tanárom, akit leginkább szerettem és akitől legtöbbet tanultam, Rátz László volt. Amikor az iskolaigazgató nyugalomba vonult, Rátz Lászlót nevezték ki igazgatónak. Másfél év múltán azonban úgy érezte, hogy tanítani jobb, mint igazgatni. Lemondott az igazgatóságról. Egész életét a tanításnak szentelte, nem csinált semmi mást. Neumann Jánosnak különórákat adott, mert tudta, hogy Neumann már úgyis tudja azt, amit osztálytársai tanulnak. Neumann egy osztállyal alattam járt, matematikából három osztállyal fölöttem. Nekem Rátz László könyveket adott, amelyekből nagyon sokat tanultam. Azoknak, akiket érdekelt a matematika, Rátz László gyorsan megtanította a differenciálhányadost és alkalmazásait. És sok minden mást. Nagyon érdekelték a diákok. Ez nagyon szép. Nehéz olyan iskolát csinálni, amilyen a Fasori Gimnázium volt. Ezt nagyon erősen érzem Amerikában. A középiskolák ott korántsem olyan jók, mint a Fasori Gimnázium volt” – mondta Wigner Jenő a budapesti József Attila Gimnázium diákjaival folytatott beszélgetésen (1988).

Rátz László 1863. április 9-én született Sopronban. (Édesapja Rátz Ágost vaskereskedő, édesanyja Töpler Emma volt. A Rátz-ösök a 17. században Törökországból emigráltak Magyarországra.) 1882-ben érettségizett a soproni Evangélikus Líceumban. Matematika- és fizikatanára idősb Renner János volt. A Budapesti Tudományegyetemre járt, majd egy évet a Berlini Egyetemen, egy évet a Strasbourgi Egyetemen tanult. 1890. szeptember 1-jétől a Budapesti Evangélikus Gimnáziumban tanított.

„Jól átgondolta minden egyes órájának anyagát; odaadó tanári munkájával, egyéniségének lenyűgöző erejével valósággal magával ragadta tanítványait. Nagy tudományos képzettsége mellett le tudott szállni tanítványainak lelkivilágába; mély tudását arra használta fel, hogy bővíből merítve a tanítási anyagot jól megválogassa, s növendékeinek csak az igazán értékeset nyújtsa, azt is olyan alakban, hogy mindenki megértse. A matematikát nem mint elvont elméleti tudományt állította tanítványai elé, hanem lépten-nyomon rámutatott a gyakorlati élettel való szoros kapcsolatra is. Nagy gondot fordított arra, hogy tanítványai önállóan is tudjanak matematikailag gondolkodni. Fokozatos és rendszeres előkészítő munkával elérte, hogy tanítványai előtt szinte önként tárultak fel a matematika igazságai. Ezzel a tanítási módszerével a sokszor nehéz tárgynak tartott matematikát a kedvvel és érdeklődéssel tanult tantárgyak sorába emelte. Tanítványai nem ismerték a mennyiségtani írásbeli dolgozatok izgalmát, mert aki módszeresen felépített előrelátó tanítását figyelemmel hallgatta – márpedig nem akadt olyan diák, aki óráján nem figyelt volna –, az a kitűzött tételeket könnyűszerrel ki is tudta dolgozni. Úgyesen feltett és egymást elég gyorsan követő kérdéseinél majdnem mindig az egész osztály jelentkezett felelésre; az osztálynak ezt a szellemi elevenségét nagy tekintélye, a tanulók viselkedését figyelő éles szeme nem engedte fegyelmetlenséggé fajulni. Kiválóan értett az egész osztály együttes foglalkoztatásához. Jellemének komoly alapvonása mellett gyakran kicsillant szellemes, derűs humora is, ami különösen szeretetreméltóvá tette. Ebben a közvetlen, de a tanárra nézve fárasztó módszerben rejlik tanításának nagy sikere.” (Renner János írása az iskola évkönyvében, 1930.)

Az oktatási reformmozgalmak a 20. század elején indultak Európában. A német orvosok és természetvizsgálók közgyűlésén (1905) a Matematikai Reformbizottság kimondta, hogy a természettudományoknak kultúrértékük is van, nemcsak gyakorlati haszonnal bírnak: érdemes tehát a nyelvi tudományokkal egyenértékű nevelési eszközként tekinteni azokat. Felix Klein göttingai professzor, az európai reformtörekvések egyik vezéregyénisége figyelemmel fordult a magyar matematikai élet felé, 1905-ben Budapesten is tartott előadást. Ő tette Göttingát a magyar matematikusok Mekkájává. Magyarországon Rátz László játszott úttörő szerepet a

középiskolai matematikaoktatás reformjának megvalósításában (1905–1914). Felix Klein magyar tanítványa, Beke Manó professzor Rados Gusztávval és Rátz Lászlóval együtt képviselte hazánkat 1909-től a nemzetközi reformbizottságban. Rátz László részt vett a Milánóban, Cambridge-ben és a Párizsban rendezett kongresszusokon. 1910-ben jelentős francia kitüntetést kapott (Officer d'Académie). Idehaza az Országos Középiskolai Tanáregyesület 1906. évi közgyűlésén hozták létre a Matematikai Reformbizottságot, elnöke Beke Manó, titkára Mikola Sándor lett, tagja volt Rátz László is. Ez a bizottság olyan alaposan dolgozott, hogy elismerten a legeredményesebb munkát végezte az európai bizottságok közül. Az elért eredményekről a Teubner Kiadó könyvet jelentetett meg (1911).

Rátz László és Mikola Sándor már a reformbizottság működése előtt, az angol példán felbuzdulva kidolgozták a munkáltató matematikatanítás módszereit és tananyagát. Megállapították, hogy a matematikának is vannak önkéntelenül megszerzett tudáselemei, ezeket kell megerősíteni a tanulóban. A matematika tanulását át meg át kell szőnie a közvetlen tapasztalatnak, a sok mérésnek. Hangsúlyozták a fejszámolás fontosságát, a becslések gyakoroltatását. A differenciál- és integrálszámítás tanításának módját leírták a Fasori Gimnázium évkönyvében: *Az infintezimális számítás elemei a középiskolában* (1910). Ezt bővített formában a Franklin könyvként is kiadta *A függvények és az infintezimális számítások elemei* címmel (1914). A matematikatanítás reformjának aktuális kérdéseiről az Országos Középiskolai Tanáregyesület közgyűlésein tartott előadások könyvben is megjelentek Beke és Mikola szerkesztésében: *A középiskolai matematikai tanítás reformja* (Franklin 1909); benne olvasható Rátz László tanulmánya: *A függvények és az infintezimális számítás elemeinek tanítása középiskoláinkban*. Abból idézünk:

„A reform elve röviden így fejezhető ki: Legyen a matematika tanítása olyan, hogy a tanulóban kifejlődjön annak tudata, milyen fontos kulturális tényező a matematika. Azt akarjuk, hogy a középiskolából kikerülő tanuló bizonyos fokú matematikai iskolázottságot vigyen az életbe; az a reményünk, hogy ily módon a matematikai gondolkozásmód behatol a közéletbe. A tanulóknak látnia kell, hogy a matematika mennyi szállal van összekapcsolva a gyakorlati élettel, a tudományokkal és egész világfelfogásunkkal. Meggyőződésünk, hogy a tanítás ily irányú módosítása szükséges ahhoz, hogy a modern kultúra főbb vonásaiban meg legyen érthető. Nem az a célunk, hogy a technikára és egyéb szakiskolákba menő tanuló nagyobb matematikai ismeretanyagot vigyen magával, hanem hogy éppen azok, akiknek matematikai képzése befejeződik a középiskolában, oly fogalmat kapjanak a matematikáról, amely méltó ehhez a nagy tudományhoz.”

Hangsúlyozták, hogy a reform sokkal szélesebb körű annál, semmint hogy csupán tananyagbővítést tartalmazna. A differenciál- és integrálszámítás tanításához a tanítás középpontjába a függvényfogalmat kell állítani. Az első osztálytól kezdve céltudatosan kell a tanulók szemléletmódját alakítani, függvényszerű gondolkodásukat fejleszteni. „A középiskolai matematikai anyagot úgy kell megszabni, hogy a mai természettudományos felfogás leglényegesebb absztrakciói helyet találjanak benne. – A tanítás szellemét kell megváltoztatni, nem pedig odabiggyeszteni a tananyag végére a differenciál- és integrálszámítást.” A gimnáziumban összegyűlt gazdag anyagból Londonba egy kiállításra a matematikatanítás új módszerét szemléltető táblákat, grafikonokat küldtek (1907).

A sokirányú bátor és úttörő kezdeményezést siker koronázta: a Fasori Gimnáziumban 1902-től kezdve kísérletképpen tanították, 1909 novemberében hivatalosan is engedélyezték a matematikának oly módon való oktatását, ahogyan azt a reformtörekvések alapján Rátz és Mikola kívánatosnak tartották. Az Országos Köznevelési Tanács tanácsosaként Rátz László közreműködött az 1924-ben bevezetett matematika-tanterv kidolgozásában, ennek értelmében a hivatalos gimnáziumi tananyag része lett a differenciál- és integrálszámítás. (A szerző emlékezik, hogy az érettségien kapott matematikatétele a határozott integrál volt.) Jó volna, ha mindettől az utóbbi években nem lépett volna vissza a hazai iskolai matematikatanítás.

Különleges, ritka emberi tulajdonsággal rendelkeznek azok a tanárok, akik bánni tudnak a náluk tehetségesebb tanítványaikkal. Teljes szívvel elismerik, hogy ezek a fiatalok értelmesebbek, mint ők, ugyanakkor a nagyobb élettapasztalat, ismeretanyag birtokában szívesen segítik őket.

Rátz László nagy tudása és kifinomult érzéke alapján felismerte a tehetségeket, és azután úgy bánt velük, mintha *kollégái*, *munkatársai* lettek volna. Elhívta őket szombat délutáni kávéházi beszélgetéseire, ahol a gimnáziumi tanárokon kívül egyetemi kollégák is jelen voltak. Neumann Jancsi, Wigner Jenő együtt kávézott Rátz László tanár úrral, az akadémikus Mikola Sándorral, Beke Manó, Szegő Gábor és Fekete Mihály egyetemi oktatókkal. A középiskolai tanároknak is megtiszteltetés, „hogy nincsenek elszigetelve a tudománynak legmagasabb házától: az egyetemtől. Ilyesmi, sajnos, itt Amerikában, legalábbis Princetonban nem létezik”. (Részlet Wigner leveléből.) Elképzelhetjük, hogy a fiatalemberek számára milyen rendkívül felemelő érzés lehetett ez az együttlét. Növelte az önbizalmat, és ez segítette a tehetség kibontakozását. Rátz László, amikor már nem tudott mit mondani Neumann számára, az egyetemen megkérte Fekete Mihályt és Kürschák Józsefet: tanítsák ők Neumannt. Wignert pedig meghívta a lakására, ahol a korábban kölcsönadott könyveket megbeszélték. „Ezekből a ritka érdekességű könyvekből nemcsak matematikát tanultam, de csodálatot is szereztem a következtetések bámulatosan ügyes egymáshoz szövése iránt” – írta Wigner Jenő.

Nyugdíjba vonulásakor (a gimnázium 1926. évi évkönyvében) írta róla Mikola Sándor: „A matematikai tanítás reformjánál is mélyebb az a hatás, melyet Rátz László a Középiskolai Matematikai Lapok révén az ország matematikai tanítására kifejtett. 20 éven át szerkesztette e lapot. Teljesen önzetlenül csinálta, sem állami, sem másféle segítséget sehonnan sem kapott (de nem is kért), sőt a lap kiadására maga áldozott tetemes összegeket. A legnagyobb gonddal válogatta meg a kis folyóirat cikkeit és feladatait, hogy a tanulóknak elhintse a matematikai gondolkozásmód magvait. Még nagyobb gonddal és lelkiismeretséggel olvasta át és bírálta meg az ország minden részéből beérkező megoldásokat. Nagy éleslátással mindenkor fel tudta ismerni az igazi tehetségeket. Méltán dicsekedhetnék azzal, hogy mindazok, akik az egyetemen és a főiskolákon mint kiváló matematikusok kitűntek, majdnem kivétel nélkül az ő lapjának szűkebb gárdájából kerültek ki.” Hogy az érdekes problémák a későbbi tanévekben is hozzáférhetőek legyenek, *Matematikai Gyakorlókönyv* címen könyvben is megjelentette azokat.

A társadalmi megítélés szerint a 20. század elején azonos elismerés övezte a sikeres kutatót és az eredményes középiskolai tanárt. Most, száz évvel később is el kellene érniünk, hogy a *zenei tehetség* és *irodalmi talentum* fogalmakkal egyenértékű legyen a köztudatban a *tanári adottság*. Ezt már csak azért is el kellene fogadnunk, mert a lelkesedés, a tantárgy és a tanítványok szeretete az igazi tanároknak az idő múlásával ugyanúgy nem lankad, amint nem csökken a zenei tehetség. A jó tanár öregkorában is szárnyal. Sokan emlékezhetünk a 70–75 éves Öveges József, Vermes Miklós, Jeges Károly lenyűgöző előadásaira. Mikola Sándor 1926-ban így jellemezte Rátz Lászlót: „Utolsó matematika-óráját egy évvel ezelőtt éppen olyan friss szellemi és testi erővel tartotta, miként első óráit 36 évvel ezelőtt.”

1930-ban halt meg, a soproni evangélikus temetőben van eltemetve. Wigner Jenő princetoni professzor korában munkaszobája falán őrizte Rátz tanár úr fényképét, akkor is kedvelt időtöltése volt a Rátz-féle középiskolai matematikai problémák megoldása.

Ma Budapesten a XI. kerületben van Rátz László utca, ahol szintén emléktábla őrzi emlékét. A Bolyai János Matematikai Társulat a középiskolai matematikatanároknak évenként *Rátz László Vándorgyűlést* szervez, ott adják ki a *Rátz László Érmét*. Magyarországon is működő nemzetközi csúcstechnikai cégek (Ericsson, Graphisoft, Richter Gedeon) *Rátz Tanár Úr Életműdíjat* alapítottak kiemelkedő középiskolai matematika- és természettudományos tanárok jutalmazására, amit első alkalommal 2001-ben adtak ki.

Mikola Sándor

„A Fasori Gimnáziumban a tanárok jelentős része kutatómunkát is folytatott; például Mikola Sándor igen kitűnő fizikakönyvet írt. Kissé különös ember volt, gyakran mulattatott szórakozottságával és a viselkedésével. De szerettük őt, becsültük” – emlékezett vissza Wigner Jenő egy televíziós beszélgetésben (1973).

Mikola Sándor földművelő szülők gyermekeként 1871. április 16-án született az akkor Vas megyéhez tartozó Péterhegyen (Gornji Petrovci, Felső-Petrócz), vend vidéken, a mai Szlovénia területén. Elemi iskoláit Körtvélyesen (Eltendorf) végezte. 1883-tól a soproni Evangélikus Líceumban tanult, akárcsak Rátz László. Természettan–mennyiségtan tanára neki is idősb Renner János volt. 1891-től 1895-ig a Budapesti Tudományegyetem hallgatója, itt Eötvös Loránd tanítványa volt. Az 1895/96-os tanévben az elméleti fizikai tanszék gyakornoka lett.

1897-től tanár a Fasori Evangélikus Gimnáziumban. Tagja volt az Országos Köznevelési Tanácsnak és a Matematikai és Fizikai Társulat választmányának. Ezen tisztségeiben nagyon sokat tett a középiskolai matematikatanítás, később pedig a fizikatanítás reformja ügyében. A III. osztályos reálgimnáziumok számára 1926-ban írt fizikatankönyvét 1945-ig használták. 1915-től 1924-ig Fejér Lipót mellett a Matematikai és Fizikai Lapok társszerkesztője. (Ez volt a Fizikai Szemle elődje.)

Már pályakezdésének éveiben is számottevő volt az irodalmi tevékenysége. A gimnáziumi évkönyv *A tanárok irodalmi működése* című rovatában az ő neve mellett szerepel a legtöbb közlemény. A Középiskolai Matematikai Lapokban a *Csillagos ég* rovatot szerkesztette. Lelkesen foglalkozott a tanulói ifjúsággal a tanórán kívül is: a gellérthegyi térképrajzolásokat az esti kirándulások követték, amelyeknek célja a csillagképek megismerése volt.

Az Evangélikus Gimnázium új, fasori épületbe történt költözése után ő lett a fizikai szertár őre, ezt a tisztségét igazgatóvá történő választásáig viselte. (Utóda Renner János lett.) Mikola az új épület három fizikai helyiségében rendezkedhetett be. Saját készítésű eszközeiről cikkeket írt, előadásokat, kísérleti bemutatókat tartott. A kísérleti fizikatanítás úttörője volt.

Mikola rengeteg, igen jól használható szemléltető eszközt készített, megemlítsünk néhányat: *eszköz az elektrosztatikus tér erővonalainak kísérleti bemutatására, készülék a levegő melegedési módjának bemutatására, készülék a vízvezetési nyomás mérésére és a Boyle–Mariotte-törvény bemutatására, egyetemes készülék a gázok és a gőzök tulajdonságainak demonstrálására, fűrészlapokból készült eszköz a Lissajous-görbék szemléltetésére, mechanikus oszcillószkóp: új módszer hullámvonalak előállítására és a rezgésszám abszolút meghatározására.* Tanítási óráin döntő szerepet juttatott a kísérleteknek. Így a tanulóknak kedv ébredt a kísérleti munkára. Mikola óráin kitűnt, hogy a fizika szerves része a mindennapi életnek, a természetnek, és nem az előadóterem csillogó rézeszközeinek tudománya. „Nemcsak néztük a kísérleteket, többször mi magunk is kísérleteztünk Mikola Sándor rátermettsége és szorgalma révén” – emlékezett vissza Wigner a Fasori Gimnáziumra. Mikola 1907-ben beindította a délutáni tanulói gyakorlatokat, külön helyiség hiányában az előadóteremben. Miután beengedte a diákokat a kikészített eszközökhöz, pipára gyújtva állt meg az előadó ajtajában. Ezzel is jelezte, hogy itt a tanulók önálló munkája következik, amihez ő csak a lehetőséget biztosítja. Fáradozásait lépésenként követte elismerés: a „fizika gyakorlatokat” a Fasori Gimnáziumban hivatalosan csak az 1911/12. tanévben lehetett rendkívüli tárgyként felvenni, országosan pedig az 1924-es tanügyi reform során került be a rendkívüli tárgyak sorába.

A természettörvények megismerhetők, a kapcsolatok hozzáférhetők. A diák előidézheti, megfigyelheti, kimérheti azokat. Mint Mikola kifejtette:

„A fizikai gyakorlatok nagy nevelőereje nyilvánvaló. A tanuló megszokja az önálló gondolkodást, észrevétlenül fejlődik kutatóhajlama és találékonysága, megszokja a saját lábán való járást és az ítéletalkotást. Sokszor lehet tapasztalni, hogy olyan tanulók, akik csak nehezen tudtak boldogulni az alsóbb osztályok tananyagával, néhány havi fizikai gyakorlat után mintha kicserélődtek volna. E gyakorlatok türelemre, gondosságra, szorgalmatosságra és ön-fegyelemre szoktatnak, aminek jótékony hatása más tereken is megmutatkozik. A reális valósággal és a megmászhatatlan természeti törvénnyel való közvetlen kapcsolat jótékonyan fékezi a fiatalember romanticizmusát. A gyakorlatvezető tanárral való gyakori érintkezés megnyitja zárkózott természetét. A nehézségek megoldásának öröme pedig növeli önbizalmát.”

Mikola demonstrációs kísérletei során mind szellemében, mind pedig konkrét formájában igyekezett Eötvös egyetemi előadási kísérleteinek mintájára dolgozni. Sok egyszerű, ötletes kísérletének gyökerét Eötvös laboratóriumában találhatjuk meg. Szeretett professzorának több, igen szép életrajzi írásában állított később emléket. Ezen írásaiból kitűnik, hogy Mikola tanári erényei Eötvös előadásai alatt fejlődtek ki. Eötvös Jedlik Ányostól tanulhatta a fizikatanítás titkait. Mikola módszereit Vermes Miklós örökölte át a 20. század második felébe. Így a mai fizikatanárok Jedlikig visszavezethetik tanári családfájukat.

Az iskolai fizikaszertárban maga is kísérletezett. Oliver Heaviside a permanens mágnes analógiája alapján feltételezte, hogy permanens elektromos polarizációt mutató testeknek is kell létezniük. Az ilyen testeket nevezte el *elektrétnek*. Mikola szigetelő anyagok elektromos viselkedésével foglalkozott, vizsgálódásai során (a japán Euguchitól függetlenül) kísérletileg előállította és behatóan tanulmányozta az elektrétet, az elektromos töltését igen hosszan megtartó dielektrikumot (szigetelőt). Maradandó eredménye az elektrétek előállítására és tárolására kidolgozott módszere, valamint az a megállapítása, hogy 10 kV/cm küszöbértékű térerősséig minden polarizálható anyagnál olyan polarizáció jön létre, hogy az anyag felületén az elektromos teret adó elektród előjelével ellentétes töltés jelenik meg. Sydneytől Szentpétervárig hivatkoztak Mikola eredményeire. Ezért választották 1921-ben a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává. Akadémiai székfoglalóját 1923-ban *Kísérleti adatok a dielektromos anyagok elektromozásához* címmel tartotta. 1942-ben lett az Akadémia rendes tagja. Hogy a Magyar Tudományos Akadémia gimnáziumi fizikatanárt választ tagjai közé, és az új tag ezután is gimnáziumi tanár marad – erre kevés példa van Magyarországon.

Rendkívül nagy súlyt helyezett a fogalmak helyes kialakítására is. Vallotta, hogy a tudomány absztrakt fogalmakra épül, ezek bemagolását *azonban* értéktelennek minősítette: – „Csak az hat képzőleg, ami az emberrel magával történt, amit ő maga tapasztalt és átélt.” – Fogalom-kialakítási módszerének pillére a modellalkotás fontosságának és korlátainak megmutatása. A *fizikai alapfogalmak kialakulása* című könyvében gazdag történeti anyaggal illusztrálva rögzíti felfogását. Megmutatja, hogy a testek viselkedésének, bizonyos jelenségek leírásának csupán *egyik lehetséges* módja az, amelyet éppen alkalmazunk. Sokszor a *célszerűség* diktálja egy modell alkalmazását. A csillagászok ma is a Földhöz rögzített koordinátarendszert használják, pedig nem a geocentrikus világnézet hívei. A fogalomalkotás szubjektív nehézségeire is felhívja a figyelmet: „A tanulók előtt egészen vagy részben ismeretlen jelenségeket mindig kvalitatív kísérletekkel vezetjük be. (Gondolati kísérletekkel is kísérni kell a fizika tanítását, különösen ott, ahol absztrakt fizikai mennyiségek szemléltetéséről van szó.) A kvalitatív kísérletek a fogalomalkotás legfontosabb eszközei, ezért általában meg kell előzniük a kvantitatív kísérleteket, amelyek majd a fizikai törvények legnagyobb részét szolgáltatják. Kvalitatív kísérletekkel kell a tanuló lelkében kialakítani azt a meggyőződést, hogy a fizikai mennyiségek közt funkcionális összefüggés van. Csak ezután lehet áttérni a mérésre, mert ha a tanuló nem tudja, hogy mit mérünk, mi célból mérjük és hogyan tesszük, akkor a legprecízebben végrehajtott mérés is érdektelen marad. Az adatok tömege viszont lehetővé teszi legősibb (talán végső elemzésében egyetlen) tudományos módszernek, az analógiának korlátlan alkalmazását.

Minden magyarázat valójában semmi egyéb, mint az ismeretlen tüneteknek a lélekben meglevő egyszerű tapasztalatokkal való összekapcsolása. Az igazi fizikai hipotézisek egyszerű és szemléletes képet adnak a jelenségekről, az adatok összefoglalását és fejbentartását megkönnyítik és a jóslást lehetővé teszik. Látjuk, hogy amily nehezen ment ezeknek a modelleknek a kialakulása, olyan könnyűnek, olyan magától értetődőnek tartják azokat ma.”

1928 tavaszán Mikola Sándor 31 éves eredményes tanári munkája alapján a gimnázium igazgatója lett. Igazgató korában sűrűn látogatta a tanítási órákat, lelkes híve volt a már igazgató elődei által bevezetett bemutató óráknak, a tanárjelöltek munkáját is nagyban segítő „nyílt tanításoknak”. Felújította azt a szokást, hogy az újonnan megválasztott tanárok székfoglalót tartanak az iskolát fenntartó hatóság képviselői és meghívottak előtt.

Mikola főműve, *A fizika gondolatvilága* 62 éves korában (1933) jelent meg. E könyv szellemében tanított. A fizika történetét beágyazta az emberiség kultúrtörténetébe. Levitt a mikrovilág törvényéig, és felemelt kozmikus magasságokba. Németh László így reagált Mikola könyvére (1934): „Mikola Sándor nagy szolgálatot tett a mai fizika iránt érdeklődőknek, amikor aktuális gondolatvilágát a múltból hámozta ki, ugyanazzal a pillanatnyi helyünk fölé tölcésesedő módszerrel, amely a tények elbeszéléséből fokozatosan megy át a problematikába. A vállalkozások gyermeki nagyszerűsége iránt kitűnő érzéke van; látja a tudományos hasonlatok mulékony és teremtő voltát, tudja, hogy a megismerés mindig csak háló marad egy elrejtett valóságon, de érzi a hálövetés örömét, s megbecsüli hasznát is; egyszóval megvan benne az újfajta huszadik századi öröm.”

A későbbiek során, így *A fizikai megismerés alapjai* című könyvében (1941) már nem tudott teljesen lépést tartani az új fizikai elméletekkel és az azokból fakadó filozófiai nézetekkel. Konzervatív, sokszor téves felfogását ekkor Bay Zoltán és Ortway Rudolf is bírálta: „Mikola a tapasztalati alapok bemutatásában, messzemenő teoretikus elgondolások hipotetikus voltának kiemelésében sok érdekeset mond. De sok olyat is állít, amit a matematikusok és fizikusok nagy része, kik az utóbbi évtizedek fejlődését követték, alig lesznek hajlandók elismerni. Előfordulnak igen zavaró kijelentések is.”

Hatásának igazi titka mélységes emberi teljessége volt. Humanizmusa, kiegyensúlyozottsága két forrásból eredt. „Nagyon szerette a szabad természetet, alaposan ismerte az antik kultúrát, és magáévá tette annak életfelfogását. Ezt a felfogást diákjaiba is átültette: Platón és Arisztotelész. Ők mondták meg először, hogy háromféle szellemi tevékenység van: értelem, érzelem, akarat” – mondta Wigner Jenő egy televízió-beszélgetésben.

Meleg kapcsolat fűzte szülőföldjéhez és annak lakosaihoz, a vend néphez. A Vendvidéki Szövetség elnöke, a Vendvidéki Magyar Közművelődési Egyesület díszelnöke volt. Kisebbségi ügyek szakértőjeként jelen volt az 1919-es párizsi békekonferencián. 1920-tól 1922-ig nem tanított, minden idejét a vendekkel kapcsolatos tevékenység kötötte le. 1941-ben visszatért szülőföldjére. 1945-ben kisebbségpolitikai tevékenysége miatt a strinišcei táborba hurcolták. Röviddel szabadulása után, 1945. október 1-jén halt meg Nagykanizsán. Szerény síremléke a nagykanizsai köztemetőben áll.

Az Eötvös Loránd Fizikai Társulat 1961-ben *Mikola Sándor Díjat* alapított a kísérletezésen alapuló korszerű és eredményes fizikatanítás és az ilyen fizikatanítást jelentősen elősegítő munkásság jutalmazására. A bronz *Mikola-érmét* 1981 óta kapják meg a díjazott közép- és általános iskolai tanárok. A *Mikola Sándor Országos Tehetségkutató Fizikaversenyt* 1982 óta rendezik meg alsóbb osztályos diákok részére. Zárásul Wigner Jenőt idézzük (1973):

„Fizikát, persze Mikola Sándortól tanultunk és büszkén mondhatom: két év után annyit tudtam, hogy a budapesti és berlini műegyetemen a fizika-kurzus majdnem teljesen ismétlésnek tűnt.”

Egyetemek

„Édesapám megkérdezett: »Fiam, ha felnősz, mi akarsz lenni?« Rövid hallgatás után ezt válaszoltam: »Apám, ha őszinte akarok lenni hozzád, azt kell mondanom, hogy fizikus szeretnék lenni.« Apám látnivalóan ezt a választ várta és rögtön rákérdezett: »Mondd fiam, hány fizikusi állás lehet Magyarországon?« Némi túlzással ezt válaszoltam: »Azt hiszem, négy.« »És azt hiszed, hogy te fogod megkapni a négy állás egyikét?« Így történt, hogy vegyészmérnök lettem.”

Wigner Jenő 1920-ban a Budapesti Műegyetemre iratkozott be vegyészmérnök hallgatónak, akárcsak Neumann János. De a nyári vakáción édesapja Berlinbe vitte. Szerette volna, ha az újpesti börtényárban fia az ő munkáját folytatja. Charlottenburgban megmutatta neki a Berliini Műegyetemet, amely erősen gyakorlatias kiképzést adott. Így esett, hogy 1921-ben Jenő a Berliini Műegyetemre ment, és még szakkönyveket is olvasott a bőrfeldolgozásról. Jenő nem járt el minden egyetemi előadásra, de arra ügyelt, hogy vizsgáit sikeresen letegye. Csak az jelentett problémát, hogy amikor kollokválni ment, nem ismerte fel a professzort, aki a félév folyamán az előadást tartotta. Wigner elsőként ült be a vizsgára kijelölt terembe, majd amikor valaki belépett, udvariasan felállt. Ekkor derült ki, hogy az nem a professzor volt, hanem egy másik vizsgázó. Ez a jelenet még néhányszor megismétlődött.

(A háború és az 1918–1919-es forradalmak után, az 1920-as évek elején nemcsak az akkori baloldali szimpatizánsok emigráltak, mint Kármán Tódor, Koestler Artur, Polányi Mihály, Szilárd Leó, vagy a kommunista szimpátiával megvádolt földesúr, Hevesy György, hanem a gazdag kapitalista családból származó Gábor Dénes, Kürti Miklós, Neumann János, Teller Ede, Wigner Jenő is. A Nyugat elfogadta őket, ott lettek világhírűek.)

A kötelező kémiaelőadások helyett (mellett) Wignert más is érdekelte. Csütörtökönként eljárt a Berliini Egyetem híres fizikakollokviumaira, ahol Nobel-díjasok (Einstein, Laue, Nernst, Planck) ültek a hallgatóság első sorában. (Heisenberg és Pauli is gyakori vendég volt.) A kollokviumokon az elmúlt napokban megjelent 4–5 legérdekesebb szacikket referálták. Erre egyszer Wignert is felkérték. Legtöbbször persze a kvantummechanikáról volt szó. Amikor a beszámolók véget értek, a résztvevők csoportjai kávéházi asztal mellett folytatták a beszélgetést a hallottakról. Wigner Jenő másodéves hallgatóként itt ismerkedett meg Szilárd Leóval. A vele folytatott magyar beszélgetés a gyerekkor szép emlékeit idézte fel. Wigner számára nagy öröm volt, hogy harmadéves korától heti 18 órában a Vilmos Császár Intézetben dolgozhatott. Ott a műszalak kémiaját kutatta Polányi Mihály. Egyik este meghívta Wignert a lakására, és felkérte, hogy ezentúl hívja őt *Misinek*.

(Polányi Mihály 1891-ben született Budapesten, itt járt iskolába, majd az egyetemre iratkozott be. Első tudományos publikációját 1910-ben írta. 1914-ben szerzett orvosi diplomát. 1918-ban kémiaiból doktorált Budapesten. Az abszorpció jelensége foglalkoztatta. Rövid ideig Hevesy György tanársegéde volt a Gyakorlati Fizikai Tanszéken. 1919-ben Németországba ment. Karlsruhéban, majd a berliini Vilmos Császár Intézet fizikai-kémiai és elektrokémiai osztályán a szálas anyagok röntgenvizsgálatával foglalkozott. Rövid ideig Budapesten is dolgozott Bródy Imrével az Egyesült Izzóban, itt alkották meg a kristály-diszlokációk elméletét. 1933-ban Manchesterbe is, Princetonba is, Leningrádba is hívták, ő az angol meghívást fogadta el, de előadott Oroszországban is, és folytatta rendszeres levelezését berliini barátaiival, Albert Einsteinnel és Wigner Jenővel. Figyelme ekkor a kémiai reakciók felé fordult. Meglepte, hogy például a H₂ és Br₂ molekulák HBr-é alakulása nagyságrendekkel gyorsabb annál, amit a molekulaütközések száma alapján várnánk. Később kitűnt, hogy

ilyenkor molekuláris láncreakció játszódik le. 1958-tól az Oxfordi Egyetem professzora. Ott a közgazdaságtan és filozófia felé fordult az érdeklődése. A Royal Society – Angol Tudományos Akadémia – 1944-ben, az Amerikai Tudományos és Művészeti Akadémia 1961-ben választotta tagjává. 1976-ban halt meg Amerikában.)

„Rátz László mellett Polányi Mihály volt a legkedvesebb tanárom. A legszebb adottsága az volt, hogy meleg szívvel bátorította a fiatalokat. Egész életemben nem ismertem mást, aki hozzá hasonlóan tudta volna biztatni tanítványait. A dicsérés művésze volt. Egyszer azt mondtam Polányinak, hogy nem létezhet olyan kémiai reakció, amelyben két molekula egyszerűen összetapad. Akkor nem válaszolt semmit. Pár hónappal később ezt mondta: »Nagyon sajnálom. Mondtál valamit az egyesülési reakciókról. Most olvasom, hogy ugyanerről írt Max Born és James Franck. Megmondtam nekik, hogy te is erre a következtetésre jutottál. Ne haragudj, hogy akkor nem értettelek meg.«” Wigner 1925-ben megvédett disszertációját *Molekulák képződése és szétesése* címmel (1925) Polányival közösen publikálta, az a kvantumkémia úttörő munkája volt: a legegyszerűbb kémiai reakció sikeres leírását adta a modern fizika módszereivel. 1983-ban a Balatonnál mesélte:

„Amikor két hidrogénatom összeütközik, egyetlen molekulává tapadnak össze. Kis gondolkodás után ezt csodának éreztem. A molekulának diszkrétan elkülönült energiaszintjei vannak. Honnan tudhatnák az atomok, hogy épp ilyen energiákkal ütközzenek össze? Hogy érik el, hogy perdületük épp a Planck-állandó egészszámú többszöröse legyen? Azt javasoltam, hogy a molekula energiaszintjei nincsenek élesen meghatározva, hiszen a gerjesztett molekulaállapot egy idő után újra atomokra eshet szét. A perdület megmaradása sem lehet éles törvény! Ütközéskor az atomok által hozott perdület a Planck-állandó legközelebbi egészszámú többszörösebe ugrik be. Mindezt azelőtt írtam, hogy a kvantummechanikát megcsinálták. Többen meg is vádoltak, hogy én találtam ki a Heisenberg-féle határozatlansági összefüggést, ami persze nem igaz. De következtetésem igaznak bizonyult.”

Az egyik fizikakollokviumon Einstein tartott előadást a gravitáció és elektromágnesség egyesített geometriai elméletéről. Ezt Wigner Jenő és Teller Ede is meghallgatta, de nem értette, ami őt nagyon elszomorította. Délután a berlini strandon együtt heverészett Wigner és Teller. Ede fölsóhajtott: „Én olyan buta vagyok!” Mire Wigner megjegyezte: „Hát bizony a butaság nagyon gyakori emberi tulajdonság.” Teller maga is elcsodálkozott, hogy ez valóban megvigasztalta.

A berlini egyetemi évek után hazajött Újpestre, hogy apja bőrgyárában hasznosítsa vegyészmérnöki képzettségét (1925–1926). Itt is megrendelte az új fizika avantgárd folyóiratát, a *Zeitschrift für Physik*et. Amikor olvasta benne, hogy Heisenberg és Born megcsinálta a kvantummechanikát, nem volt többé maradása: sietett vissza Berlinbe és Göttingába. (Akkor még azt hitte, hogy Heisenberg egy 50 év körüli bácsi. Berlinben találkozott vele: a huszoneves, vele szinte egykorú fiatalemberrel.)

„Láttam, hogy a kvantummechanika miként forradalmasítja a fizikát. A kvantummechanika felfedezése majdnem hogy teljes meglepetésként jött. A fizikai világot alapvetően új módon írta le. Csodának láttuk.”

Ha valakié, akkor az ő agya volt kész a forradalmian új szemlélet befogadására. Meg akarta érteni a kvantummechanikát. Úgy hozta a sors (konkrétan Polányi Mihály), hogy a Vilmos Császár Intézetben egy krisztallográfushoz került, aki azt kérte: derítse ki, miért szeretnek az atomok a kristály szimmetriasíkjaiban-szimmetriapontjaiban ülni. Legenda szerint a csoportelméletet egy esős vasárnap délután tanulta meg iskoláskori barátjától, Neumann Jánostól, aki Göttinga egyetemén volt tanársegéd Hilbert mellett. Egy évig Wigner Jenő is itt dolgozott tanársegédként (1927–1928), fél tucat tanulmányt írtak Neumann-nal közösen csoportelmületről a fizikában. Innen elindulva értette meg elsőként, hogy a *négydimenziós téridő*

szimmetriái centrális szerepet játszanak a kvantummechanikában. Nyári szabadságát szívesen töltötte itthon, különösen Duna menti nyaralójukban, Alsógödön. Itt írta főművét: *Csoportelmélet és annak alkalmazása az atomszínképek kvantummechanikájára* (1931). Ma a divatos alapvető fizikai elméleteket már nem a konkrét fizikai kísérlet vagy a proponáló elméleti fizikus nevével jelzik, hanem a megfelelő szimmetriacsoportra utalnak: *speciális és általános relativitáselmélet, kovariáns kvantumelektrodinamika, mértékelmélet, SU(2), SU(3), SU(4), szuperszimmetria.*

Wigner Jenő 1928-ban lett a Berlieni Műegyetem magántanára, majd 1930-tól (félállású) professzora. A harmincas évekre azonban viharfelhők sűrűsödtek Németország fölött. Wigner Jenő 1930 októberében táviratot kapott Amerikából: „A Princetoni Egyetem egyéves előadói szerződést ajánl fel Önnek. Kérjük, táviratban válaszoljon!” Wigner Jenő (akárcsak Lánczos Kornél, Neumann János, Teller Ede) elfogadta a tengerentúli hívást, amit azért kaptak, hogy az Újvilágot tanítsák meg az új fizikára. Még ebben az évben Amerikába hajózott. Berlini fizetése körülbelül 70 dollárnak felelt meg. Csoportelméleti könyvéért 500 dollárt kapott. Princetonban azonban 700 dollár lett a havi fizetése. „Sohasem láttam ennyi pénzt egy rakásban!” (Neumann János fizetése havi 1000 dollár lett.) De nehéz volt Princetonban megszokni. Nem voltak kávéházak, és az emberek angolul beszéltek. Mikor Wignernek először kellett szemináriumot tartania, pontosan memorizálta az első két angol mondatot. De miután ezt elmondta, megzavarodott, megakadt. Fél perc hallgatás után kedvesen megkérdezték: „Miért nem folytatja németül?” – Erre azt válaszolta: „Nem! Muszáj angolul megtanulnom. Angolul folytatom!” Ez a közjáték feloldotta a hallgatóság hangulatát és Wigner feszültségét. Az előadás sikerült. Idős korában Wigner már azzal büszkélkedett, hogy káromkodni is tud angolul.

Amit Amerikában legjobban méltányolt, az a demokrácia volt. Ott az emberek természetesnek veszik, hogy véleményt formáljanak a politikáról, sőt azt befolyásolják. Európában ezt még sokan a vezetőkre (királyra) hagyják. Igaz, 150–200 éve odaát sem bántak túl demokratikusan a rézbőrűekkel, akkor éppolyan hódítók voltak, mint az angol király vagy az orosz cár. Wigner kicsit az indiánokkal szimpatizált, barátainak küldött levelét így írta alá: *Wigwam.*

Mikor az egy év letelt a Princetoni Egyetemen, Neumann és Wigner a következő ajánlatot kapta: nem maradnának-e ott félállásban úgy, hogy minden évben csak egy fél évet tanítanának? Amerikában mindkettejüknek hiányoztak európai tanáraik, rokonaik, barátaik, ezért elfogadták az ajánlatot. 1930 és 1933 között Neumann és Wigner Amerika és Európa között ingázott: fél év itt, fél év ott. 1932-ben nagy gazdasági válság volt Amerikában, Európában pedig Hitler közeledett a hatalom felé. 1933-ban Polányi Mihály is, Szilárd Leó is, Gábor Dénes is, Erwin Schrödinger is, Viktor Weisskopf is, Max Born is elhagyta Németországot. 1933-ban Hitler átvette a hatalmat. Wigner nyaranta ezután is hazajárt Magyarországra, hogy családjával töltse a szabadságát. Kapcsolat fűzte a Magyar Tudományos Akadémiához: ott Ortway Rudolf három értekezését mutatta be, amit az Akadémia Matematikai és Természettudományi Értesítőjéhez küldött: *Összetett rendszerek statisztikája az új kvantummechanika szerint* (1928. október 8., megjelent 1929), *Adalékok a neutron-elmülethez* (1932. június 10., megjelent 1932) és *A Rayleigh–Schrödinger-féle perturbációszámítás módosítása* (1934. november 12., megjelent 1935). Ekkor a színképvonalak természetes szélességének magyarázata foglalkoztatta. Hazájával való folyamatos kapcsolata Ortway Rudolf érdeme: az 1930-as években 24 levelet írt Amerikából Ortwaynak, ezeket a Magyar Tudományos Akadémia könyvtára őrzi. (A Fizikai Szemle közölte azokat 1972-ben.) A levelekben szerepelt Paul Dirac, Neumann János, Teller Ede, de Gombás Pál is. Itt csak Wigner 1938 elején írt leveléből idézünk:

„Nézetem szerint mindjobban kibontakozik a német álom: egy a régi római birodalomhoz hasonló új német birodalmat alkotni. Persze egy-egy szomszédval egy időre megegyeznek – de ezt a régi rómaiak is így tették. Most már Prágát is mint német várost írják le, és nemsokára le fogják vetni azt az álarcot is, hogy csak német testvéreket akarnak hazájukba visszaszerezni. Vannak, akik attól tartanak, hogy nemsokára Magyarországot is meg fogják szállni. Hogy ez csak idő kérdése, abban itt sajnos mindenki egyetért. Én is biztosra veszem, hogy legalább Napóleon szerepéig el fognak jutni. Mindez a nemzeti érzéstől eltekintve nem is lenne a lakosság részére oly fájdalmas, hiszen a római birodalom alatt is jól érezték magukat a »leigázott« nemzetek, ha nem lenne a németekben egy jó adaggal több gög, mint amit kellemes elviselni. Azt hiszem, a németekkel csak annyiban lehet kiegyezni, mint amennyire az indiánok kiegyeztek az amerikai bevándorlókval, akik szintén nem akartak mindent egyszerre, és talán nem is tudták, hogy végeredményben egész Amerikát akarják.” – A levélváltás 1939 elején abbamaradt.

1935-ben Princeton egész állást ajánlott fel. Az 1930-as évek eleje volt a kvantummechanika hőskora: az új elmélet sikeresen megmagyarázta az atomok, molekulák, szilárdtestek, atommagok megfigyelt tulajdonságait. Wignert ez idő tájt a kvantummechanika szilárdtestekre történő alkalmazása foglalkoztatta. Felismerte: „Fémekben nagy az elektron-felhők átfedése, ezért lehetetlen megmondani, hogy a vegyérték-elektron melyik atomhoz tartozik. Az elektron szabadon mozoghat egyik atomtól a másikhoz, eloszlik az egész kristályrácsban.” Az elektronhullámok egész testre szétoszolva (delokalizálva) alakítják ki energiaszintjeiket, így teszik a testet szigetelővé vagy vezetővé, esetleg félvezetővé. Wigner órákat is tartott a Princetoni Egyetemen, előadott a kollokviumon – főleg a csoportelmélet kvantummechanikai alkalmazásairól. (Kicsit hiányolta a berlini rendszert, a folyóiratok referálását. Mindenki csak saját magáról, saját munkájáról beszélt.) Princetonba az amerikai középiskolások színe-java jött. Wigner mégis azt tapasztalta, hogy a magyar diákok sokkal jobbak náluk. Az amerikai középiskolákban a legjobbak is sokkal kevesebb egyéni figyelmet kaptak tanáraiktól, mint itthon. Budapest és Berlin után úgy érezte, hogy ahogy az egyetemen tanítania kellett, az baba-beszéd volt: olyan dolgokat kellett elmondani, amit Európában a diákok a gimnáziumban (és a kávéházban) szednek fel. Diplomamunkásaival és doktoranduszaival azonban mégis meg volt elégedve!

Első doktorandusza Frederick Seitz volt (1934), akivel a fémek kvantumelméletén dolgozott, és aki később az amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia elnöke lett. Második doktorandusza John Bardeen volt (1936), aki kétszer kapott Nobel-díjat: egyszer a tranzistor felfedezéséért, másodszor a szupravezetés elméleti magyarázatáért.

1936-ban a Princetoni Egyetem elbocsátotta Wignert. Wigner szerint a kollégák féltékenysége lehetett az ok, akkortájt Princetonban alig néhány fizikus fogadta el a kvantummechanikát. Neumann is átment az Institute for Advanced Studyba.

Wigner levélben kért tanácsot és segítséget Gregory Breittől, akivel korábban már együtt dolgozott és publikált. A kérés sikerrel járt: Wisconsin egyeteme, ahol Breit professzor volt, 1936-tól egyetemi tanári állást ajánlott fel Wignernek. Wigner Wisconsint már az első pillanatban megszerette. Igazi Amerika volt: barátságosan nyitott emberek, krumpliföldek, búzamezők, egyszerű élet. Az egyetemen a fizikusok kedves barátként fogadták, így végre otthon érezhette magát. Még a sportcsarnokba is magukkal hívták – futni és tornázni. Ugyanekkor Wisconsin a magfizikai kutatások egyik központjává nőtte ki magát. Mint Wigner megjegyezte: „Wisconsinban értettem meg, hogy Princetonban boldogtalan voltam. Jót tettek velem, hogy kidobtak. Wisconsinban tanultam meg szeretni Amerikát, ott lettem amerikai.” 1937-ben vette fel az amerikai állampolgárságot.

„Itt történt, hogy egy kedves leánnyal találkoztam. Amelia Frank fizikushallgató volt az egyetemen, aki John van Vleck mellett dolgozott, és akit ígéretes tehetségként tartottak számon. Nemsokára megéreztem, hogy szerelmes vagyok Frank kisasszonyba. Nem a szépség lepett meg, hanem a szerelem romantikája. Az emberi faj túléléséhez nem feltétlenül szükséges a gyengéd érzelem. Akkor miért leszünk szerelmesek? 1936. december 23-án összeházasodtunk. De feleségem csakhamar megbetegedett. Kilenc hónap múlva, 1937. augusztus 16-án bájos feleségem, Amelia Frank Wigner örökre elhagyta ezt a világot. Mindnyájan csak vendégek vagyunk a földön.”

1938-ban Princetonnak új fizikusra volt szüksége. John van Vlecket hívták, aki Wignernél idősebb volt, bár akkor még nem kapta meg a Nobel-díjat. De ő inkább a Harvard Egyetem (Amerika legrangosabb egyeteme) meghívását fogadta el. Van Vlecktől kértek tanácsot: kit hívjanak? Ő Wigner Jenőt javasolta. Így Wignernek felajánlották ugyanazt az állást, amit két éve elvettek tőle. Wigner Jenő biztosan nem fogadta volna el ezt az ajánlatot – ha nem mardosta volna ifjú felesége halálának emléke. E miatt fájdalmas volt számára Wisconsinban maradni. 1938 őszén a Princetoni Egyetemen az elméleti fizika professzora lett. Ide visszatérve örömmel tapasztalta, hogy időközben Princeton sokkal nyitottabb lett a modern fizika irányában. Wigner Jenő olyan társszerzőkkel írt tanulmányokat, mint John Bardeen, George Breit, Paul Dirac, Farkas László, Pascual Jordan, John von Neumann, Michael Polányi, Frederic Seitz, R. Smolhulowski, Edward Teller, Harold Urey, Alvin Weinberg, Victor Weisskopf és sokan mások.

Princeton baba-beszéd helyett erős modern fizikát akart. Wigner Jenő megtelepedett Princetonban. 1939-ben szüleit is Amerikába vitte.

Paul Dirac

A 20. század két – egymásnak ellentmondani látszó – forradalmi gondolatát, a relativitás-elméletet és a kvantummechanikát Paul Adrien Maurice Diracnak sikerült egyesítenie. Az elektron viselkedését leíró Dirac-egyenlet (1928) sok tizedesjegy pontossággal számot ad a hidrogénszínkép finomszerkezetéről. Diracot csak az zavarta, hogy az egyenlet negatív energiájú (negatív tömegű?) megoldásokat is adott. Ezekről azt mondta, hogy normálisan a „vákuumban” a negatív energiájú kvantumállapotok egyenletesen mind be vannak töltve, ezért nem vesszük őket észre. Legfeljebb az tűnik fel, ha egy nagy fénykvantum hatására kiugrik a „vákuumból” egy elektron, és pozitív energiájú, negatív töltésű részecskeként fizikailag észlelhetővé válik, de ilyenkor a „vákuumban” visszamaradt „lyuk” pozitív töltéstöbbletként jelenik meg. 1932-ben empirikusan fel is fedezték a Dirac által megjósolt „párkeltést”, a „pozitív lyukat” pedig pozitronnak nevezték.

Dirac 31 évesen, 1933-ban kapott Nobel-díjat a kvantummechanika felcserélési törvényre alapozott megfogalmazásáért, amit 1925 decemberében (23 évesen) csinált. Ugyanekkor kapott Nobel-díjat Werner Heisenberg a kvantummechanika úttörő (mátrixos) kialakításáért, amit 1925 júliusában (24 évesen) csinált, és Erwin Schrödinger is a Schrödinger-féle hullámeqyenletért, amit 1926 márciusában csinált (ő ekkor már 39 éves volt). A Maxwell-egyenlet és a Dirac-egyenlet mindmáig fizikai tudásunk sarkköve; a Newton-féle mozgás-egyenletet és a Schrödinger-féle hullámeqyenletet pedig már csak közelítésként, tiszteletreméltó történelmi emlékként tartjuk számon.

Dirac és Wigner először Göttingában találkoztak 1928-ban. Már ott kitűnt Dirac stílusa. Előadása után a feltett kérdésekre egy-két rövid tömondatban válaszolt, nem kalandozott el a kérdés által impliciten jelzett területekre. A közös vacsorákon lassan oldódott a két egyidős (1902 őszén született), sokban hasonló stílusú, lényegre koncentráló, másoknál mélyebbre tekintő és ehhez a legalkalmasabb (nem mindig szemléletes) matematikát használó kutató. Dirac 1931 és 1933 közt gyakori vendég volt Princetonban, ott mélyült el barátsága Wignerrel. Ekkor már Dirac oldottabban mesélt gyermekkoráról is: Bristolban született, édesapja – aki francianyelv-tanár volt – szigorúan bánt vele, de az iskolát élvezte. Mint Neumann és Wignert, őt is a fizika érdekelte, de apja utasítása szerint gépészmérnöknek iratkozott be az egyetemre. Ekkor alakult ki az a nézete, hogy a fizikai törvények ugyan csak közelítőleg írják le a természetet, de a különböző törvények és közelítések kiválasztása nem triviális, hanem érdekes. Wigner konstátálta, hogy Diracnak nincsenek érzelmei, legalábbis jól titkolja azokat. Egy csendes vacsora után mondta Wignernek: „Mindig sokkal többen akarnak beszélni, mint hallgatni” (odafigyelni). – Hát ebben Wigner a lelke mélyén igazat adott neki. Dirac azonban akkor is csendes maradt, amikor más hallgatott.

Ortvay Rudolf, a budapesti Tudományegyetemen az elméleti fizika professzora, az 1920-as években szeminárium-sorozatot indított el. A csütörtök délutánonként sorra kerülő Ortvay-kollokviumok fő célja az volt, hogy kilépve az Eötvös Loránd által is kedvelt klasszikus fizika köréből, bemutassák a modern fizikát, elsősorban annak megalkotói és továbbfejlesztői. Ezekben az Ortvay-kollokviumokon előadott Werner Heisenberg, Neumann János, Teller Ede és Wigner Jenő is. Az 1930-as években Ortvay meghívta Paul Diracot. Ő elfogadta Ortvay meghívását, a budapesti látogatásra elkísérte Wigner Jenő. Ez sokban segített, hogy kapcsolat alakuljon ki a hallgató Dirac és a magyar fizikusok között. Megismerték Dirac magányt kedvelő, társadalmi eseményektől visszahúzódó természetét, ezért nagy meglepetést okozott, hogy a következő évben maga írt Ortvaynak: „Nem érdekelné-e Önöket egy újabb pesti előadásom?” Dirac eljött. A látogatás megint egybeesett Wigner budapesti látogatásával. A

régi princetoni barátság alapján Balatonföldvára is meghívták Diracot, ahol Wigner az idő tájt két húgával nyaralt. Később derült ki, hogy miért volt fontos ez a találkozás. Diracnak korábban nem voltak szerelmi tapasztalatai, de Wigner Manciba beleszeretett. Wigner Jenő örömmel szemlélte a közös szerelmet: Dirac teljes ember és Mancsi boldog leány lett. Pár nap múlva Wigner is, Dirac is elutazott, de Dirac nemsokára visszajött, és szüleitől megkérte Mancsi kezét. Az esküvő 1937. január 2-án volt. Mint Wigner megjegyezte: Mancsi ezután sem kedvelte meg a fizikát, de Dirac megőrizte szeretetét mind a fizika, mind Mancsi iránt. Két leánygyermekük született.

Diracot szófukar volta és matematikájának elvont mélysége nem tette népszerűvé. Németországban – ahol a kvantummechanika kibontakozott – azt is felemlítették, hogy még németül sem tud rendesen beszélni. Annál szebb, hogy Wigner Jenő és Ortway Rudolf felismerték igazi nagyságát. Miként Wigner mondta:

„Paul Dirac messzebb látott a kvantummechanikában, mint bárki más. Munkája szépséges szerves szisztéma. Munkájának csúcsa talán a kvantumelektrodinamika, amely először kapcsolta össze a sugárzási folyamatot az atomi mechanikával.”

Dirac Cambridge egyetemének volt a professzora. Ott nagy tisztelet övezte, de volt az egyetemnek egy szabálya: 68 éves korában minden professzornak nyugalomba kellett vonulnia. Ezt tudván, elfogadta a Floridai Egyetem meghívását, hogy ott dolgozzon-tanítsa tovább. Így 1971-ben Floridába költöztek, Dirac élvezte a sok napsütést és egy kicsit az amerikai életformát is. A közelben lévő tavas-nádas vidék gyönyörű táj volt, ahol Tarzan-filmeket is forgattak. A házaspár itt szokott kajakozni. Mikor meglátogattam őket, engem is meghívtak egy kajaktúrára. A Dunán megszoktam a kajakot, elfogadtam a meghívást. Mikor fáradni kezdtünk, Paul javaslatára kikötöttünk, hogy ússzunk egyet. Fürdés után tovább evezünk, és egy-két kilométer után (krokodilokkal rokon) kajmánokat pillantottam meg a folyóparton. Jó, hogy nem tudtam róluk egy félórával előbb.

A Magyar Tudományos Akadémia Diracot tiszteletbeli tagjává választotta. Az Európai Fizikai Társaság Budapesten tartott részecskefizikai konferenciáján az ő személyes részvételével hatalmas gyertyás tortával ünnepeltük a Dirac-egyenlet 50. születésnapját (1977). Dirac magyarországi látogatásának emlékét őrzi a balatonfüredi tóparti sétányon általa ültetett emlékfá. Utolsó tanulmányában (1984) Dirac ezt üzent a 21. századnak:

„A ma használt kvantumtérelméletben az egyenletek megoldásakor végtelen mennyiségek lépnek fel. Ezeket egybeolvasztva-átjelölve »küszöböli ki« a renormálás. Az ilyen elmélet az én szememben nem alapul pontos matematikán, az inkább eljárási szabályok gyűjteménye. Sokan elégedettek ezzel a helyzettel, hiszen a tapasztalattal egyező eredményeket ad numerikusan. De ez még sincs jól. A fizikát szabatos matematikára kell alapozni. Le kell vonnunk a következtetést, hogy a jelenlegi kvantumtérelmélet kiinduló elképzelése nem végleges. Azt új matematikai alapokra kell helyeznünk.”

Dirac 1984. október 20-án halt meg. Londonban, a westminsteri székesegyházban van eltemetve, ahol angol királyok, Newton és Darwin is nyugszanak. Diracné Wigner Mancsi most is Floridában él.

Neutronok

A klasszikus kémia szerint a kémiai elemek állandóak, mert atomjaik változatlanok. Ennek az a magyarázata, hogy az atom kémiai viselkedését az elektronburok határozza meg, és a burokokban lévő negatív elektronok száma az atommag pozitív töltésétől függ. A parányi atommagok viszont azért változatlanok, mert nem ütközhetnek, egyesülhetnek vagy hasadhatnak: minél közelebb kerülnek egymáshoz, annál erősebbé válik köztük az elektromos taszítás. Az atommagok nagymértékű megváltoztathatatlanságán az a felfedezés változtatott, hogy 1932-ben Rutherford manchesteri laboratóriumában Chadwick egy semleges magrészcskét talált: a *neutron*t. Ez pedig kívülről akadálytalanul behatolhat az atommagba és megváltoztathatja azt. Wigner Jenő elgondolkozott, és megírta *Adalékok a neutron elméletéhez* című munkáját, amely a Magyar Tudományos Akadémia Természettudományi Értesítőjében 1932-ben jelent meg.

Nyilvánvaló lett, hogy az atommag *protonokból* és *neutronokból* tevődik össze. A pozitív proton a legkisebb atommag: a hidrogénatom magja. A neutron alig néhány ezrelékkel nehezebb nála. Az egymást elektromosan taszító protonokat és az elektromosan semleges neutronokat a *magerő* tartja össze. Az atommag nagyfokú stabilitása arról vall, hogy a magerő *nagyon intenzív vonzóerő*. Az egy protonból és egy neutronból összetett nehézhidrogén-atommag kötési energiájánál tizenkétszer mélyebb a két protonból és két neutronból összetett héliumatommag kötési energiája. Wigner Jenő ebből arra következtetett, hogy a magerők *nagyon rövid hatótávolságúak* (1933), hiszen a nehézhidrogén egy részecskéjét egyetlen másik részecske vonzza, ezért az laza képződmény: az alkotórészek csak részben lógnak be egymás vonzáskörébe. A héliumban viszont minden magrészcskét három másik húz, azok sokkal szorosabban helyezkednek el, bebújnak egymás vonzáskörzetébe, ez magyarázza kötésük intenzív voltát. Wigner azt is felismerte, hogy a protonok és neutronok szimmetrikus szerepet játszanak, azaz a magerő *töltésfüggetlen*: ugyanakkora erő hat proton és proton, proton és neutron, valamint neutron és neutron között (1937). Ebből a *szimmetriából* egy magfizikában fontos megmaradási tétel következett: az *izospin* („izotóp spin”) megmaradása. A magrészcskéket *barionoknak* nevezték el (*bariosz* = nehéz, görögül, lásd: *barométer*). Wigner Jenő ismerte fel, hogy neutron átalakulhat ugyan protonná és viszont, de könnyebb darabokra nem eshetnek szét, tehát a barionok darabszámára a természetben szigorú megmaradási törvény érvényes (1952), végső soron ez magyarázza világunk stabilitását. Mondhatjuk: Wigner Jenő elsőként tájékozódott jól az atommag szép új világában. Empirikus alapokon ő tárta fel előttünk a magerők alapvető tulajdonságait. Bizonyítékul hadd idézzük, amit Hideki Yukawa, a magerők térelméletét kidolgozó japán fizikus mondott Nobel-díja átvételekor:

„Wigner mutatta ki, hogy a két magrészcse közt ható erőnek nagyon rövid hatótávolságúnak kell lennie, hogy megmagyarázza, miért nő meg a kötési energia értéke oly meredeken, amikor a 2 részecskéből fölépült nehézhidrogénről a 4 részecskéből fölépült héliumra térünk át.”

Wigner Jenő számára egy pillanatig sem volt kétséges, hogy a kvantummechanika nem csak az atomburok elektronjaira, hanem az atommag protonjaira és neutronjaira is érvényes. Az atommagnak is éles kvantumos energiaszintjei vannak. Tudjuk, hogy az atomburok elektronjai meghatározott frekvenciájú (és energiájú) fénykvantumokat képesek elnyelni és kibocsátani, azaz az atomnak vonalas színképe van. Ugyanígy, ha egy neutron az atommagot úgy közelíti meg, hogy energiája épp az atommag egyik magasan fekvő (virtuális) energiaszintjének felel meg, akkor a neutron nagy valószínűséggel fogódik be, nagy valószínűséggel vált ki magreakciót. Az atommag-folyamatok rezonanciajellege lényeges felismerés volt a magreakciók megértése és későbbi alkalmazása szempontjából.

Egy nehéz atommagban a protonok és neutronok kölcsönhatása az atommag méretéhez képest rövid hatótávolságú, a hatótávolságon belül viszont nagyon erős. Ezért Bohr az atommagot folyadékcsepphez hasonlította, ahol az egyes részecskék erőteljesen lökdösik közvetlen szomszédaikat (és csak azokat). Ha viszont így van, akkor hogy lehet, hogy egyes proton-, illetve neutronsámok (2, 8, 20, 28, 50, 82, 126) ki vannak tüntetve: ilyen proton-, illetve neutronsámú atommagok nagyon szívesen képződnek, szomszédaiknál jóval mélyebb a kötési energiájuk? A válasz keresése közben Wigner Jenő e preferált számokat *mágikus számoknak* nevezte. A témát kiadta kutatásra tanítványának, Maria Mayernek. Az okos leány rájött, hogy ha a Pauli-elv az atommagban is érvényes, az nem enged szabálytalan lökdösődést: egy proton (vagy neutron) nem lökődhet át olyan kvantumállapotba, amit egy másik proton (illetve neutron) már elfoglalt. Ezért jól meghatározott s , p , $2s$, d – kvantumpályák és energiaszintek alakulnak ki az egész magterületen, a rajtuk elférő magrészecskék számát pedig a Pauli-elv határozza meg. Az egyes kvantumszinteken megengedett részecskeszámok adják ki a mágikus számokat. Felismeréséért Maria Mayer (Jensennel együtt) Nobel-díjat kapott.

Wigner Jenő a kései 1930-as években felismerte, hogy az atomok, molekulák, kristályok elektronjainak kvantummechanikája már lényegében kialakult. Az új kihívást az atommag jelentette. A fentebb elmondottak jelzik, hogy Wigner Jenő a magfizikának milyen aktív figyelője, szereplője, alakítója volt annak kibontakozása során.

Ez idő tájt, 1933. szeptember 11-én történt, hogy a londoni Imperial Hotel halljában Szilárd Leó kezébe került a *The Times* aznapi száma. Az újság AZ ATOMMAG FELTÖRÉSE szalagcím alatt tudósított Lord Rutherfordnak, az atommag fölfedezőjének előző napi előadásáról. A Lord beszámolt arról, hogy *egy-két esetben* sikerült megfigyelnie, amint radioaktív bomlásban kibocsátott gyors α -részecskék atommagokat találtak el, azokat más atommagokká alakították át, miközben olykor még jelentős energia is felszabadult.

„Az újság szerint a Lord e szavakkal zárta beszédét: »Aki ennek alapján arra gondol, hogy az atommag energiáját ipari méretekben is föl lehetne szabadítani, az holdkóros« – emlékezett vissza Szilárd Leó. – Hirtelen eszembe villant: ha találnánk olyan elemet, ami egy neutron elnyelve szétesik, és eközben két neutron is szabaddá válna, akkor ebből az elemből elég nagy mennyiséget összegyűjtve neutronlavinát tudnánk benne elindítani. Abban a pillanatban nem tudhattam, hogyan találhatnánk ilyen elemet, de az ötlet nem hagyott nyugodni. Szenvedélyemmé vált a gondolat, hogy ez ténylegesen megcsinálható.”

A neutron-láncreakció ötletével Szilárd Leó fölkereste Lord Rutherfordot, de az rövid úton kidobta a fantasztát. Más *fizikusokat* is fölkeresett, támogatásukat kérve szándékolta kísérleteihez, de sikertelenül. Nagyobb megértést talált a *kémikusok* körében, akik számára a *láncreakció* nem volt ismeretlen fogalom, hiszen a *tűz* molekulák kémiai láncreakciója. Különösen érdeklődött Polányi Mihály, Wigner egykori mestere, akinek épp az volt a kutatási területe, hogy szabad gyökök miként katalizálhatnak kémiai láncreakciókat. A másik *kémikus*, Wigner Jenő így emlékezett vissza:

„Szilárd erőfeszítéseit nagy érdeklődéssel követtem, hiszen az nem állt ellentétben semmi fizikai elvvel. A nukleáris energia kontrollált fölszabadítását csak idő kérdésének ítéltam. Ezt el is mondtam az amerikai General Electric egyik szakértőjének, aki 1935-ben valami más ügyben fölkeresett. Beszéltem róla barátaimnak is. 1935 tavaszán rövid előadást tartottam róla Wisconsinban, abban megjósoltam, hogy az atommag energiájának fölszabadítása öt éven belül megtörténik. Nem volt sok támpontom, hogy ezt a határidőt mondjam. Azt sem reméltem, hogy nekem lényeges szerepem lesz benne.” – Az atomenergia fölszabadításához még hét év kellett.

Chaim Weizmann szintén kémikus volt (később ő lett Izrael állam első elnöke). Megpróbált 2000 angol fontot összegyűjteni Szilárd kísérletei számára, de nem sikerült. Az atomenergia

fölszabadítása tehát nem az 1930-as évek közepén történt meg. Szilárd Leó 1934. március 12-én mindenesetre szabadalmi folyamodványt adott be „egy neutronokkal működő láncreakcióra. Neutron-láncreakciót metastabil elemekkel lehetne megvalósítani. Ilyen elemen egy neutron befogása annyi energiát tehetne szabaddá, ami lehetővé tenné az elem elbomlását és két neutron kilépését. (Az urán és tórium metastabil voltát bizonyítja azok α -bomlása.) Van egy kicsiny, de nem zérus esély arra, hogy ezen elv alapján készített robbanóanyagok ezerszer nagyobb hatásúak lehetnek, mint a szokásos bombák.” A szabadalmat 440023. szám alatt megadták. Később azt Szilárd 814-236. szám alatt kiegészítette, pontosította. Ebbe már azt is bevette, hogy láncreakció kialakulásához egy minimális kritikus tömeg szükséges, hogy a térfogatban keletkező neutronok száma nagyobb legyen, mint a felületen át kiszökő neutronok száma. A szabadalmat – kérésére – a Brit Admirális titkosította.

Szilárd jelöltként többféle elemet javasolt. Kedvence a berillium volt. Tudta, hogy a ${}^8\text{Be}$ atommag teljesen instabil: rögtön két ${}^4\text{He}$ atommagra esik szét, ezért azt várta, hogy a természetes berillium $n+{}^9\text{Be} \rightarrow 2{}^4\text{He}+2n$ reakcióban egy neutronból kettőt tud csinálni. Wigner Jenő hívta föl Szilárd figyelmét arra, hogy berilliumon valóban előfordul $n \rightarrow 2n$ reakció, de ahelyett, hogy energiát adna, az energiát fogyaszt.

Amikor Hitler hódító ambíciói Európában fenyegetővé váltak, Szilárd Amerikába vándorolt, akárcsak korábban Wigner és mások tették. Ott némi anyagi támogatást tudott szerezni, kísérletileg megvizsgált számos elemet, de egyiknél sem sikerült $n \rightarrow 2n$ reakciót előidéznie. Végül föladta. 1938. december 21-én levelet írt a londoni Szabadalmi Hivatalnak: „Nem látszik szükségesnek, hogy 814-236. számú szabadalmam érvényét fönntartsák. Ezért szabadalmamat visszavonom. Szilárd Leó.” – Szilárd meg is jegyezte: „Béke-Nobel-díjat érdemel-nék, hogy az uránmag hasítását nem fedeztem föl a II. világháború kitörése előtt!”

Enrico Fermi Rómában uránnak neutronbombázása által radioaktív atomokat állított elő, amit ő uránnál nehezebb, azaz uránon túli elemeknek vélt. A németek akkurátus kémikusok. A Fermi által létrehívott radioaktív atomokat a berlini Vilmos Császár Intézetben kémiaileg azonosítani próbálta Otto Hahn és Fritz Strassmann. A radioaktív termékek egyikéről a finomabb kémiai analízis kiderítette, hogy az bárium, ami az uránnál sokkal könnyebb atommag. Az a tapasztalat, hogy neutron + urán báriumot adott, csak egyet jelenthet: a neutron befogó urán nem nőtt meg, hanem két részre hasadt, az egyik rész bárium. 1938 decemberében tett fölfedezésüket a német Naturwissenschaften folyóirat 1939. január 6-i száma közölte. Lise Meitner megmagyarázta, hogy az uránatommag szétszakadása energetikailag valóban lehetséges, azt a két szétrepülő hasadvány közt ható elektromos taszítás teszi lehetővé.

Ezen a télen Niels Bohr amerikai előadókörútra indult. Koppenhágában már hallott Hahn és Strassmann megfigyeléséről, Lise Meitner értelmezését a maghasadás energetikai lehetőségéről a hajó indulásakor tudta meg. 1939. január 16-án kötöttek ki New Yorkban. Bohr New Yorkból Princetonba utazott. Erről Wigner Jenő így számolt be:

„Hat hete kórházban feküdtem sárgasággal. Szilárd Leó ezenközben házamban lakott. Majd minden nap meglátogatott a kórházban, hogy kedves magyar beszéddel felvidítson. Nagyon hálás voltam érte. Egyik nap (Bohr princetoni előadása után) Szilárd az ágyamhoz lépett és ezt mondta: »Wigner, azt hiszem, hogy most meglesz a láncreakció.« Arra gondolt, hogy a maghasadás lehetővé teszi a neutron-láncreakciót. Először ellentmondtam, de csakhamar beláttam, hogy igaza van. Nem vettem figyelembe, hogy az urán különösen gazdag neutronokban. A princetoni kórházban beszélgetve Szilárd és én kidolgoztuk a maghasadás minden lényeges mozzanatát.” – Szilárdról és Wignerről mondta Alvin Weinberg, hogy jól előkészített elmék voltak.

Az uránban sokkal magasabb a neutronok százalékaránya, mint a kémiai elemek periódusos rendszerének közepe táján lévő elemekben. Ezért a hasadványoknak meg kell szabadulniuk öröklött neutrontöbbletűktől, hogy a számukra kedvező neutronarányt állítsák be. Várható tehát $n \rightarrow 2n$ folyamat bekövetkezése. Márpedig épp ez volt, amit Szilárd elszántan keresett. Rögtön fölismerte, hogy a maghasadás lehetővé teheti az atomenergia fölszabadítását, így 1939. január 26-án táviratot küldött a Brit Admirálisnak: „Kérem, hogy 814-236. szabadalmam ügyében küldött legutóbbi levelemet tekintsék tárgytalannak stop Leo Szilard.”

„Nem sokkal ezután Niels Bohr és John Wheeler leköszölték saját tanulmányukat a maghasadás elméleti leírásáról” – emlékezett vissza Wigner. Ő közismerten igen szerény ember, ezért elhíhetjük, amit mond. – „Amikor azt elolvastam, örömmel láttam, hogy az uránatommag stabilitása tekintetében Szilárd és én több tekintetben messzebb láttunk, mint Bohr és Wheeler. Szilárd helyesen jósolta, hogy maghasadás során neutronoknak is ki kell lépni, amiben Bohr és Wheeler kételkedett. De sem Szilárd, sem én nem gondoltunk arra, hogy a lassú neutron által előidézett maghasadás csak a ^{235}U atommagon megy végbe, ennek a döntő ténynek a fölismerése viszont Bohr érdeme. E tekintetben Szilárd és én mindaddig szkeptikusak voltunk, amíg az kísérletileg be nem igazolódott. 1939 áprilisában két módot láttunk arra, hogy megvalósítsuk a hasadási reakcióláncot. Lassú neutronokkal futó láncreakció szabályozott energianyerésre szolgálhat. Gyors neutronokkal futó láncreakció is elképzelhetőnek tűnt, de csak robbanásszerűen. Niels Bohr és John Wheeler azonban nem hitték, hogy a nukleáris láncreakció megvalósítható, vagy ha esetleg mégis, akkor csakis igen alacsony hőmérsékleten.”

Egy személyes vitában Wigner az atomenergia lehetséges volta mellett érvelt, Bohr ellene. Amikor Isaac Rabi (a Kárpátokból származó Nobel-díjas) minderről Ferminek beszámolt, Fermi is így reagált: „Zöltség.” Amikor ezt Szilárd meghallotta, Rabival együtt bementek Fermihez, és megkérték, fejtse ki véleményét részletesebben. Fermi ezt mondta: „Hát lehet egy távoli piciny lehetőség, hogy maghasadáskor neutron szabadul ki, ekkor akár láncreakció is létrejöhet.” Rabi visszakérdezett: mit ért Fermi „távoli piciny lehetőség” alatt. Mire Fermi: „Talán tíz százalék.” Ezt hallván Rabi kirobbant: „Tíz százalék nem távoli lehetőség, ha bekövetkezése azt jelenti, hogy bele is halhatunk. Ha tüdőgyulladásom van, és a doktor azt mondja, piciny annak lehetősége, hogy belehalok, nem több mint tíz százalék, akkor bizony alaposan fölízgatom magam.”

Szilárd, Teller és Wigner Közép-Európából menekültek el. Nem akarták, hogy az atombomba elsőként Hitler kezébe jusson. Márpedig a maghasadást Berlinben fedezték fel, és a németek nagyon jó fizikusok! A három magyar azonnal egyetértett, hogy teljes titoktartást kell szervezni. Kérésükre Weisskopf Blackettnak, Wigner pedig sógorának, Diracnak írt, azt kérve, hogy az angol hasadási kutatásokat is titkosítsák. Az angolok ezt elfogadták. Szilárd egyik barátjától 2000 dollárt kért kölcsön, ebből rádiumot és berilliumot bérelt, hogy azokból neutronforrást építsen ($\alpha + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + n$). A neutronokat paraffinnal (protonütközésekkel) lelassította, mint korábbi kísérleteiben tette. 1939. március 3-án este New Yorkban a magyar Szilárd Leó és a kanadai Walter Zinn megfigyelte, hogy a *lassú neutron* bombázó hatására az uránból *gyors neutronok* lépnek ki, amelyek csak maghasadásból származhattak. Amikor Enrico Fermi, majd később Frédéric Joliot-Curie elvégezte ugyanezt a kísérletet, ők is észlelték az uránhasadást követő neutronkibocsátást. Fermi is, Szilárd és Zinn is elküldte beszámolóját a *Physical Review*-nek március 16-án, azt kérve, hogy regisztrálják a közlemények beérkezési dátumát, de ne nyomtassák ki azokat. Weisskopf táviratozott Princetontól Párizsba Joliot-Curie-nek, hogy őt is rábeszélje a titoktartásra. Április 6-án megérkezett Joliot-Curie választávirata: „Question etudiee suis d’avis maintenant publier amities Joliot.” (A kérdést tanulmányoztam, az a véleményem, hogy most publikálom. Tisztelettel Joliot.) Átszakadt a gát, megtört a titkosság. Április 15-én a *Physical Review* közölte Fermi tanul-

mányát, ugyanitt Szilárd és Zinn tanulmányát, mindkettőt 1939. március 16-i keltezéssel: hasadásban neutronok keletkeznek. Április 22-én a *Nature* közölte ugyanerről Joliot-Curie tanulmányát. A közleményeket olvasva G. P. Thomson a brit kormánynak, Georg Joos a német kulturális miniszternek, Paul Harteck és Wilhelm Groth a német vezérkarnak javasolta nukleáris fegyverek kifejlesztését. Később Georgi Flerov hasonló tartalmú ajánlást írt Sztálinnak. A versenyfutás megindult.

Bohr és Wheeler említett tanulmánya a maghasadás elméleti értelmezéséről 1939. szeptember 1-jén jelent meg a *Physical Review*-ban. Ezen a napon tört ki a II. világháború. De már 1939 nyarán érezni lehetett az európai háború közeledtét. Fermi és Szilárd azon töprengtek, miként lehet megvalósítani a neutron-láncreakciót. Az uránban ^{235}U hasadásakor keletkezett gyors neutronok lelassulnak olyan közepes sebességekre, ahol a természetes urán túlnyomó részét kitevő ^{238}U atommagoknak virtuális energiaszintjeik vannak, ezért a ^{238}U a Wigner által felismert rezonanciaabszorpcióval felfalja a közepes energiájú neutronokat, mielőtt azok tovább fékeződve lassú neutronokként jó eséllyel ^{235}U atommagokat hasítanának, ezáltal új neutronokat termelnének. A hasadási gyors neutronokat ezért az uránon kívül le kell lassítani, hogy kikerüljék a ^{238}U rezonáns energiaszintjeit. A lassú neutronokat vissza lehet engedni az uránba, hogy ott a ^{235}U -t elhasítsák. 1939 júniusában Fermi és Szilárd a *Physical Review*-ban közölte az atomenergiát kontrollált körülmények közt fölszabadító atomreaktor tervét.

A neutront olyan atommagokkal történő ütközés lassíthatja le, amelyek tömege nem különbözik jelentősen a neutron tömegétől. Nehéz atommagoknak ütköző neutronok gyakorlatilag változatlan sebességgel pattannak vissza, akárcsak a (befékezetlen) teherautóba ütköző labda. Ilyen szempontból a neutronnal közel egyenlő tömegű hidrogénatomokat tartalmazó víz tűnik ideális neutronlassítónak. De csakhamar kitűnt, hogy a vízben lévő hidrogén nemcsak lassítja, de be is foghatja a neutront ($n + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{H}$), ezért vízzel történő lassítás esetén elakad a láncreakció. Szilárd Leó lassításra grafitot választott, mert a szén nem nyel el neutronokat. Javasolta, hogy az uránt grafitba kell ágyazni. Az urángolyók sugara olyan kicsi legyen, hogy belőlük ütközés nélkül kilépjen a hasadás termelte neutron. A grafit olyan sok legyen, hogy benne ütközgetve minden gyors neutron lelassuljon, mielőtt újra uránt ér. Az atomreaktor tervével Fermi fölkereste az Amerikai Haditengerészetet, hogy megépítéséhez támogatást kapjon, de hiába. Nem figyeltek föl egy ellenséges ország polgárának furcsa javaslatára. Ferminek ez elvette a kedvét.

Ezen a nyáron Wigner Jenő meglátogatta Szilárd Leót New Yorkban, aki rögvest elmondta Wignernek az inhomogén urán-grafit atomreaktor tervét. Wigner egyből felfogta azt és aggódni kezdett. Meg kell akadályozni, hogy a Belga-Kongóban már nagy mennyiségben bányászott urán náci kézbe kerüljön! Wigner tudta, hogy Albert Einstein egyszer találkozott a belga királynővel. Mindketten jól ismerték Einsteint. Egy nyári vasárnapon, 1939. július 16-án Wigner autóján kivitte Szilárdot Einsteinhez, aki Long Islandon nyaralt Moore villájában. A tengerpartra érve kérdezősködni kezdtek, hol van Moore nyaralója, de egy felnőtt sem tudta. Végül Szilárd egy kisfiút kérdezett meg: „Nem tudod, hol él Einstein professzor?” A fiú egyből útba igazította őket.

Einstein nem volt járatos a magfizikában, talán mert a kvantummechanikát sem szívelte. Most hallott először láncreakcióról. De – mint Wigner a szerzőnek elmondta – okos ember volt, 14 perc alatt mindent megértett. Lediktált egy figyelmeztető levelet a belga királynőnek. A német szöveget Wigner kézírással leírta, majd elbúcsúztak. New Yorkban Wigner Einstein szavait lefordította angolra, odaadta Szilárdnak, majd elutazott Kaliforniába – nyaralni.

Szilárd azonban ismét gondolkozni kezdett: talán nem is olyan jó ötlet Európába megírni az atombomba lehetőségét. Fölkereste bankár ismerősét, Alexander Sachsot, aki kapcsolatban állt Roosevelttel. (Korábban – a nagy válság után – ő dolgozta ki az elnöknek a *New Deal*t, a

gazdaságot rendbe hozó programot.) Sachs közölte: ha Einstein ír Rooseveltnek, ő kész a levelet az elnök kezébe adni. Ezért Szilárd Leó egy új találkozót szervezett Einsteinnal. Hallgassuk meg, hogy az újabb találkozóról hogyan számolt be Teller Ede.

„A maghasadás fölfedezése után sokat beszéltek arról, hogy mi lehet e fölfedezés következménye, és hogy érdemes ezen dolgozni. Az amerikaiak véleménye negatív volt. De szerencsére volt Amerikában egy magyar, Szilárd Leó, aki sokoldalú egyéniség volt. Még arra is képes volt, hogy megértesse az amerikaiakkal a nukleáris láncreakció fogalmát. Volt azonban valami, amit még Szilárd sem tudott: autót vezetni. Szilárd beállított hozzám és azt mondta: »Teller, kérem, vigyen ki autón Einsteinhez!« Így 1939. augusztus 2-án kocsiba ültünk. Einstein kedvesen fogadott, teával kínálta Szilárdot és – demokratikus ember lévén – a sofőrt is. Szilárd egy levelet húzott elő a zsebéből, ami Roosevelt elnöknek volt címezve: »Elnök Úr! Enrico Fermi és Szilárd Leó legújabb kutatásai, amikről kéziratban értesültem, engem arra a következtetésre vezettek, hogy az urán nevű kémiai elem a közeljövőben az energia új és fontos forrásává tehető—« (A levél stílusa jobban emlékeztetett Szilárdéra, mint Wignerére: sohasem fordult elő benne Wigner gyakori kifejezése: »Kérem szépen.«) A levelet Einstein lassan végigolvasta és azt mondta: »Hát ez lesz az alkalom, hogy az ember közvetlenül használja az atomenergiát. Nem csak közvetve azáltal, hogy a Nap termel atomenergiát és mi az onnan eredő napfényt hasznosítjuk.« Majd aláírta: »Albert Einstein«. Szilárd azonban nem adta postára a Roosevelt elnöknek címzett levelet, az nagy hiba lett volna. Akkor a levél az egyik kisebb titkár kezén fennakad, és azt az Elnök sohasem látta volna. E helyett Szilárd Leó a levelet barátjának, Alexander Sachsnak, az Elnök pénzügyi tanácsadójának adta át. Sachs október 3-án adta Roosevelt kezébe a levelet. Soha jobbkor. Németország és a Szovjetunió épp elfoglalta és felosztotta Lengyelországot. Akkor már egy olyan okos ember, mint Roosevelt, tisztán láthatta, hogy nagy veszély alakult ki és az Amerikát is elérheti. Azonnal intézkedett, írt az Amerikai Szabványügyi Hivatal elnökének: »Kérem, hívjon össze egy tanácskozást, amelyik e levél tartalmát részletesen megtárgyalja.«”

Az Uránium Bizottság ülését 1939. október 21-ére tűzték ki. Az Amerikai Szabványügyi Hivatal igazgatója meghívta a Hadsereg, a Haditengerészet és két állami tudományos intézet képviselőjét, valamint Enrico Fermi, Szilárd Leót, Teller Edét és Wigner Jenőt. Hallgassuk ismét Teller Ede visszaemlékezését:

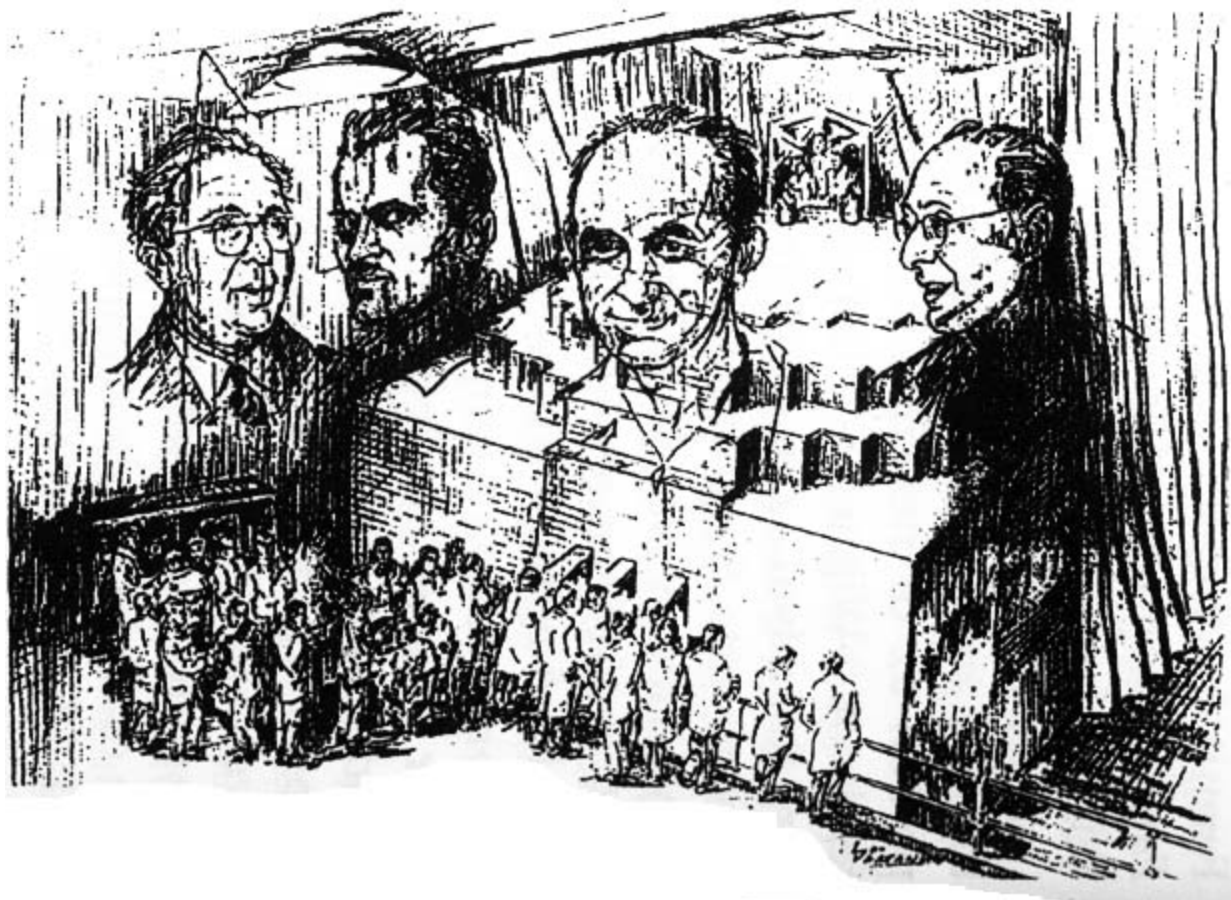
„Tudták, hogy Fermi 1932 óta ismerem. Engem küldtek, hogy őt is beszéljem rá a részvételre. De Fermi azt mondta, hogy nem jön, elvette kedvét a Haditengerészetnél elszenvedett korábbi kudarc. Amit mondhatna, azt én is tudom. Így már nemcsak Szilárd sofőrje voltam, hanem előléptettek: Fermi küldönce lettem. Az ülésen részt vett egy ezredes is, aki egy szót sem hitt el abból, amit mondtunk. Azt mondta, hogy »a háborúkat nem az nyeri meg, akinek jobbak a fegyverei, hanem aki igaz ügyért harcol«. Kellemes volt ezt hallani ilyen magas rangú tisztától, de azért maradtak kételyeim. Az igazság talán Hitler és Sztálin oldalán állt, amikor meghódították Lengyelországot? Wigner meg is szólalt: »Ha Keith Adamson ezredes úrnak igaza van, akkor le kell faragni a hadsereg költségvetését, és az így fölszabaduló pénzt a népek közti egyetértés előmozdítására kell fordítanunk.« Tovább tárgyaltak, én is sorra kerültem: »Fermi üzenetét hozom: nagytisztaságú grafitra van szükségünk, ami bizony nem olcsó. Egyetemen dolgozunk, nem kérünk külön fizetést. De az első évben grafit vásárlására 6000 dollárt kérünk.« Mire az ezredes azt mondta: »Jól van, megkapják a 6000 dollárt.« (Az ülés után Szilárd majd megölt, amiért ilyen keveset mondtam. Pedig Wigner csak 2000 dollárt akart kérni.) Végül is megkaptuk a pénzt az atomenergia-program első évére.”

„Európa lángokban állt, de Amerika békében szendergett. Amikor az amerikai kormányzatot a láncreakció fontosságáról próbáltuk meggyőzni, úgy éreztük, mintha szirupban úsznánk. Megtanultuk, hogy a kormányok nem szeretik a fantasztikus programokat” – mondotta az egyébként szörnyen udvarias Wigner Jenő.

1940 júniusában újraalakították az Uránium Bizottságot, beraktak öt „igazi amerikai” fizikust, viszont kihagyták Fermit, Szilárdot, Tellert (mint frissen bevándoroltaknak, egyiküknek sem volt amerikai állampolgársága), és kihagyták Wignert is (akinek nagyon újkeletű volt az állampolgársága).

Vasárnap, 1941. december 7-én a japán légierő meglepetésszerű támadással Pearl Harborban megsemmisítette a csendes-óceáni amerikai hajóhad jelentős részét. Az Egyesült Államok háborúban lévőknek találta magát. Másnap Washington elrendelte „az atombomba megépítését teljes erőfeszítéssel”. Compton (a program tősgyökeresen amerikai főnöke) elrendelte, hogy a reaktorfejlesztés a „veszélyes” atlanti partról Chicagóba költözzék, és ott *Metallurgiai Laboratórium* fedőnéven működjék. Nem volt többé szabad kiejteni az *urán* szót, fedőneve *fémötvözet* lett. A ^{235}U fedőneve *magnézium*, a később fontossá váló ^{239}Pu plutóniumizotóp fedőneve *réz* volt. 1942 tavaszán Compton Chicagóba hívta Fermit és Wignert is. Fermi fedőneve *Farmer*, Wigner fedőneve *Wagner* lett. Wigner Jenő mesélte:

„Egyik nap közösen mentünk autón egy titkosított úton. Az ellenőrző ponton az őr nevemet kérdezte. Azt feleltem: »Wigner – ő bocsánat: Wagner« Ráadásul az őr magyar kiejtésem is észrevette. Szigorú arccal kérdezett: »Ön biztosan Wagner?« Erre Fermi sietett segítségemre: »Ne legyek Farmer, ha ő nem Wagner.« Így az őr továbbengedett.” Alvin Weinberg, aki akkor Wigner mellett dolgozott, ezt mondta a szerzőnek: „Két domináns tudományos fej volt Chicagóban. Fermi vezette a kísérleti munkát. Wigner irányította az elméleti kutatást. Később csatlakozott hozzájuk Teller Ede, az ő feladata a reaktorban keletkező radioaktív anyagok esetleges környezeti hatásának vizsgálata volt.” Mint Weinberg mondta, Chicagóban Szilárd, Teller és Wigner volt a Magyar Maffia.



A chicagói atommáglya indulásáról készült rajz (Szilárd, Compton, Fermi, Wigner feje)

A grafitéglákból és urántömbökből összerakott $2\text{m} \times 2\text{m} \times 4\text{m}$ méretű *atommáglya* a Chicagói Egyetem sportstadionjának lelátója alatt épült. A máglya aljára egy mesterséges Ra+Be neutronforrást helyeztek, azután – amint a máglya magasodott – Fermi instrukciói szerint mérték a neutronok számát. Fermi 25 különböző urán-grafit-elrendezést próbált ki, a rajtuk elvégzett mérések alapján Wigner következtetett arra, hogy milyen lesz az a reaktor, amelyben a láncreakció már önmagát tartja fenn. Az első önfenntartó nukleáris láncreakció 1942. december 2-án valósult meg Chicagóban. Hallgassuk Wigner visszaemlékezését.

„A Stagg Field Stadion alatt egy nagy teremben álltam és Fermi figyeltem. Ezen a szerdán reggel 8.30 táján közel 50 ember gyűlt össze a $10\text{m} \times 20\text{m}$ méretű teremben. Középen egy nagy máglya volt, fekete grafitéglákból és fagerendákból építve. Alapja négyzet alakú volt, fölfele keskenyedett. Ebbe voltak beágyazva az urántömbök. Fermi neutronelnyelő szabályozórudakat szerelt a máglya fölé. Vészhelyzetre gondolva még egy »öngyilkos osztag« is állt a máglya tetején, hogy szükség esetén vödrökből neutronelnyelő kadmium-só vizes oldatát zúdítsa a máglyába, a láncreakciót leállítandó. A komoly munka 9.45 körül indult. 11.30-ra már majdnem megvalósult az önfenntartó láncreakció, de azt a reaktorba beengedett szabályozórudak megállították. Fermi mindnyájunkat ebédelni küldött. 2.00-kor jöttünk vissza. A balkon egyik végén logarléccel a kezében Fermi állt két főmunkatársával, Zinn-nel és Andersonnal. Mellettük Compton, az atomenergia-program igazgatója. Mi, a többi negyven a balkon másik végén gyűltünk össze, köztünk volt régi barátom, Szilárd Leó is. Délután 3.30-kor a neutronok számának emelkedését figyelve Fermi kiadta az utasítást, hogy a kadmium-tartalmú szabályozórudat 25 cm-es lépésekben emeljék. A neutronszámláló ketyegett: pitt-patt, pitt-patt, pitt-patt. Mind jobban megközelítettük az önfenntartó neutron-láncreakciót. Amikor a szabályozórudat teljesen kihúzták, a számláló minden korábbinál szaporábban ketyegett. Ekkor tudtuk: a nukleáris láncreakció megvalósult! Kiszabadítottuk és sikeresen ellenőrzésünk alatt tartottuk az atommag energiáját. Az emberek mosolyogtak, egyik-két taps is elhangzott. De mintegy 30 percen keresztül főként figyeltünk. A jelenet egyáltalán nem volt teátrális. Fermi a reaktor működését alacsony szinten tartotta, ezért nem fenyegetett, hogy kárt tesz bennünk. De a reaktor itt volt előttünk és működött! Valamivel 4.00 óra előtt Fermi elrendelte a láncreakció megállítását. A szabályozórudakat visszaeresztették a máglyába, a reakció leállt. Mindnyájan azt vártuk, hogy a kísérlet sikerülni fog és sikerült is. Elvégre amikor lovakat fognak egy kocsi elé és ostorral a lovak közé suhintanak, a lovak elindulnak. Elvárjuk, hogy a kocsi is elinduljon. Fermi megépítette ezt a kocsit, a lovak közé suhintott, és a kocsi valóban elindult. Nem csak ő lett volna képes megépíteni az atomreaktort, de talán csak ő tudta azt ilyen gyorsan realizálni.

– Ezt a pillanatot előre látva tíz hónappal korábban Princetonban vettem egy üveg olasz vörösbor: Chiantit és azt magammal hoztam Chicagóba. Azért vettem meg ilyen hamar, mert föltételeztem, hogy a háború meg fogja akadályozni az olasz bor behozatalát. A Chianti-behozatal elakadását talán nehezebb volt előrelátni, mint az atomreaktor működésének beindulását. De hát én egyszer már átéltem egy világháborút és tapasztaltam a luxuscikkek eltűnését a piacról. A Chiantit egy barna papírzacskóban tartottam a hátam mögött. Most előhúztam a zacskóból, előreléptem és a palackot Ferminek adtam. Ő megköszönte, kihúzta a dugót és valakit papírpoharakért küldött. Megjöttek a poharak és mi megízleltük az édes Chiantit. Milyen csodálatos finom örömet tud kelteni a jó vörösbor! Nyugodtan koccintottunk a siker tiszteletére és azt kívántuk, hogy az atomenergia tegye boldogabbá az emberek életét, lecsökkentvén káros előítéleteiket. Fermi ráírta nevét a Chianti címkéjére. Ezután a palack körbejárt a teremben és mindnyájan ráírtuk a nevünket. A történelmi eseményről nem készült feljegyzés. A Chianti-címkén lévő névsor tette csak lehetővé, hogy utólag rekonstruálják: ki volt jelen az első atommáglya megindulásánál.”

Innen tudjuk ma, hogy 38 amerikai volt jelen, továbbá egy olasz (Fermi), egy kanadai (Zinn) és két magyar (Szilárd és Wigner). Szilárd Leó ekkor még magyar állampolgár volt, az amerikai állampolgárságot csak 1943-ban kapta meg. Wigner Jenő már 1937-ben megkapta. Nem kétséges, hogy az atomenergia fölszabadításához Szilárd eszméje és előrelátása, Fermi tapasztalata és munkája, Wigner matematikai tudása és gondossága egyaránt szükséges volt. A neutronos reaktor amerikai szabadalmát az 1944. december 19-én benyújtott folyamodvány alapján 2708656. szám alatt Enrico Fermi és Szilárd Leó kapta meg 1955. május 17-én.

Wigner Jenő magyarázta meg Arthur Comptonnak, mi a különbség *gyors neutronokkal* működő reakciólánc (atombomba) és *lassú neutronokkal* működő reakciólánc (atomreaktor) között. A bombához tiszta ^{235}U kell. A könnyű uránizotóp gázdifúziós szétválasztására vonatkozó brit tapasztalatokat Simon, Oliphant és Kürti Miklós átadták az amerikaiaknak. Ez látszott legígéretesebbnek az atombomba megvalósítására alkalmas hasadó ^{235}U elválasztására. A hatalmas difúziós telepet Urey vezetésével Oak Ridge-ben építették meg. A difúziós telepen gázállapotú UF_6 (urán-hexafluorid, becenevén *hex*, ami németül boszorkát jelent) diffundált át lyukacsos falakon. A könnyebb ^{235}U molekulái kicsit gyorsabban mozogtak, így az átdiffundált mintában földúsultak. Ezer difúziós lépcső után végül is ^{235}U -dús uránhoz jutottak. A II. világháború végéig ezzel a módszerrel is csak néhány kg ^{235}U -t tudtak kapni, ami egyetlen atombombára volt elegendő. 1945-ben ezt dobták le Hirosimára.

A ciklotron Szilárd Leó ötlete és szabadalma volt, de az első működő ciklotront Ernest Lawrence építette meg Kaliforniában. A ciklotronnal felgyorsított protonokkal gyors neutronokat keltettek, amiket az urán befogott: $n + ^{238}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{U}$. A keletkezett atommagban túlságosan sok a neutron, ezért az egyik kötött neutron béta-bomlással protonná alakul: $^{239}\text{U} \rightarrow ^{239}\text{Np} + e^-$. Az első uránon túli elem, a *neptúnium* nem stabil: $^{239}\text{Np} \rightarrow ^{239}\text{Pu} + e^-$. A második transzurán elem a *plutónium*. A ^{239}Pu még alkalmasabb hasadóanyagnak bizonyult, mint a ^{235}U , mert benne több a pozitív proton, amelyek elektromosan taszítják egymást. Előnye, hogy nem csak ciklotronnal, hanem atomreaktorban neutronbefogással is előállítható ^{238}U -ból. Mivel a plutónium az urántól különböző elem, kémiaiilag elválasztható az urántól. Így tiszta hasadóanyag nyerhető.

A Fermi-féle reaktor Chicagóban 1942. december 2. óta működött, alacsony, 30 kW hőteljesítménnyel, nem volt szükség mesterséges hűtésére. Egy másik léghűtéses reaktor Oak Ridge-ben kezdett működni 1943. november 4-én. Ez 1944 nyarára néhány gramm plutóniumot termelt, a rajta elvégzett mérések igazolták a várakozást: a plutónium jó hasadóanyag.

Compton Wigner Jenőt megbízta, hogy tervezzen nagyteljesítményű reaktort, amely jó ütemben termel plutóniumot atombomba céljára. Wigner erre a feladatra ideális jelölt volt: tart Hitlertől, alkotóan érti a magfizikát, jól tudja a matematikát, és segíti vegyész-mérnök-ként birtokolt műszaki érzéke. A magasteljesítményű reaktor tervezése már 1942 első felében kezdődött, sokkal korábban, mint ahogyan a chicagói reaktor megindult.

A teljesítményreaktort intenzíven kell hűteni. A *hűtőközeg* azonban nem fogyaszthat neutronokat. Szóba jött a nehézvízhűtés, mert az nem nyel el neutron. (Ilyen reaktort később tényleg építettek Kanadában.) De a nehézvíz megint izotópszétválasztást igényel, ami időt rabló, háborúban pedig az idővesztés veszélyes luxus. 1942 áprilisában Wigner Jenő mint gyakorlatias mérnök, *közönséges vizet* választott hűtésre, hiszen az jól bevált a régi erőműveknél. Igen ám, de a vízben hidrogén van, és az neutron foghat be, így a vízűtés 1,5%-kal csökkenti a neutronsokszorozást. Még nem is üzemelt az első chicagói reaktor, de az abban kimért adatok alapján Wigner tanítványa, Alvin Weinberg kiszámította: a természetes urán fűtőanyaggal, tiszta grafit neutronlassítóval és közönséges víz hűtőközeggel működő reaktor akár 104% neutronsokszorozást is megvalósíthat. Úgy látszik, Wignernek igaza van! 1942 júliusában (még a Fermi-féle chicagói reaktor elkészülte előtt) Wigner Jenő megtervezte az 50

millió watt teljesítményű vízhűtésű reaktort. A DuPont vállalatot bízták meg, hogy Wigner tervei szerint építse meg a plutóniumtermelő urán–grafit–víz reaktort, ami 260 tonna uránt és 1500 tonna grafitot tartalmazott.

„A mérnökök úgy érezték, hogy fizikusok hatoltak be az ő illetékességi területükre. Ebben volt igazság. A hűtőközeg elfogadtatása nemcsak műszaki, hanem üzletpolitikai ügy is lett. A DuPont mérnökei csak úgy emlegették az én csoportomat, hogy »negyedik emeleti kommunisták« – emlékezett vissza Wigner. 1942 decemberére készen voltak az 50 MW teljesítményű reaktor tervei, azokat végül elfogadták. „A DuPont kémiai gyár volt. Mérnökeik azt ajánlották, hogy neutronok és γ -sugárzás ellen védelemül az általunk ajánlott betonfalak helyett inkább rácsot építenek. A rács olyan sűrű lett volna, ami képes visszatartani egy birkát, de egy mókust már nem. Meg kellett magyaráznunk, hogy a neutron még az egérnél is kisebb. Azóta Fermi mindig úgy kezdte előadását: »A neutron ici-pici.«”

Louis Alvarez azt hangoztatta, hogy Wigner lángelméjét tékozlás ilyen műszaki részletekre fecsérelni. De Wigner sok dolgot előre látott, például a neutronbecsapódások által előidézett korróziót. Kevesellette a DuPont által tervezett neutronelnyelő szabályozórudak számát. A méretezési hibákat időben kijavította. „Ugyanaz az ember, aki monumentális tanulmányt jelentetett meg arról, hogy a szimmetriák a kvantumelmélet lényegi részét képezik, órák hosszat tudott görnyedni a hanfordi reaktor részletes tervei fölött, utána pedig biztos volt saját helyzetmegítélésében, és ahol problémát látott, ragaszkodott a terv megváltoztatásához” – mondta Alvin Weinberg. Wigner ezt tekintette szakmai élete legteljesebb szakaszának, mert érezte, hogy tudásának mindegyik szektorát hasznosíthatta. Szilárd szerint „Wigner volt az egész vállalkozás lelkiismerete”. A hatalmas plutóniumtermelő reaktorokat az Egyesült Államok északnyugati szögletében, Hanfordban építették meg. Onnan 1944 májusában érkezett meg az első plutóniumszállítmány Los Alamosba, ahol az atombomba szerkesztése folyt. Egy év alatt annyi plutóniumot termeltek, amennyi elég volt egy bombához.

Wigner eredeti számításai szerint az uránbomba kritikus mérete körülbelül egy futball-labdányi volt. Két fél futball-labdányi (tehát szubkritikus) urántömböt kémiai robbanószerrel hirtelen egymásnak lökve összejön a kritikus ^{235}U mennyiség, így az uránbomba felrobbantható. Senki nem kételkedett benne, hogy az (előzetes kipróbálás nélkül is) működni fog.

Wigner azt hitte, hogy ha lesz elég plutónium, abból elég sokat egyesítve a plutóniumbomba is felrobbantható. 1944. július 11-én Oak Ridge atomreaktorából megérkezett Los Alamosba az első kis plutóniumminta, de csúnyán viselkedett. A plutóniummagok nagy néha maguktól is elhasadtak, önként neutronokat termelve. Ha két plutónium-félgömböt közelítenének egymáshoz, a spontán hasadás neutronjai már a kritikus mennyiség teljes összehozása előtt előgyújtást eredményeznének: a plutóniumban helyileg szaporodnának a maghasadások, és a bomba enyhe pukkanással darabjaira esne szét. Ezért Seth Neddermeyer egy másfajta gyújtást javasolt: a szükséges szuperkritikus mennyiségű plutóniumból csináljanak vékony (belül üres) gömbhéjat, azt kívülről kémiai robbantással sajtolják össze tömör (immár kritikus) golyóvá. Ezt azután Neumann János matematikai pontossággal kidolgozta.

Amikor Los Alamosba számottevő mennyiségben kezdett érkezni a ^{235}U Oak Ridge-ből és a ^{239}Pu Hanfordból, már véget ért a Németországgal vívott háború. 1945 májusában Hitler öngyilkos lett, a német hadsereg letette a fegyvert. A Németországba küldött különleges Alsos Kommandó kiderítette, hogy a németek nem is készültek atombombát gyártani. A Nobel-díjas Gábor Dénes, aki Magyarországról, majd Németországból emigrált Angliába, írta (1964):

„A háború alatt azok a nagy fizikusok, akik elsőrangú fontosságúnak tekintették, hogy megakadályozzák Németországot a háború megnyerésében, tehetségüket és munkájukat Amerikának adták és kifejlesztették az atombombát. Ezenközben a nagy német fizikusok önkéntesen visszavonták tehetségüket és támogatásukat a német atombombaprogramtól.”

A német összeomlás után Niels Bohr nem ment el többet Los Alamosba. Hangoztatta, hogy a háború után csak teljes körű nemzetközi ellenőrzés akadályozhatja meg a nukleáris fegyverkezési verseny elszabadulását.

Szilárd Leó a német vereséget látva még a német fegyverletétel előtt gondolkozni kezdett: „Mi értelme van a bombaépítés folytatásának?” Erről írt beadványát Compton, a Metallurgiai Laboratórium vezetője elolvasta, és 1945. április 12-én ezt mondta: „Remélem, ezt elküldi Rooseveltnél, hogy ő is elolvassa.” De Rooseveltnél éppen ezen a napon meghalt. Truman lett az új elnök, aki csak ezután értesült az atombombaprogrorról. A fizikusok megnyugtatóra Compton igazgató úr egy bizottságot hozott létre a Németországból emigrált Nobel-díjas, James Franck vezetésével annak megvizsgálására, hogy kell-e használni az atombombát. A Franck-jelentés – amelynek szövegét Szilárd sugallta – azt ajánlotta, hogy ne vessék be az atombombát Japán ellen, hanem csak mutassák be annak hatását a japán vezérkar előtt azzal a figyelmeztetéssel, hogy ha Japán nem szünteti meg a háborúskodást, akkor bevetik ellene a bombát. A Franck-jelentést Compton hivatalosan elküldte Washingtonba, ott azonban a katonai vezetőség visszatartotta, az sohasem került Truman elnök kezébe. Ezek után a tapasztalatok után Szilárd Leó maga megfogalmazott egy Memorandumot, és az atomfizikusok közt körözte aláírásra:

„Tudományos fölfedezések, amelyekről az amerikai népnek nincs tudomása, befolyásolhatják a nemzet jövőjét. Mi, aláíró fizikusok az atomenergia területén dolgoztunk. Eddig attól féltünk, hogy az Egyesült Államokat atombomba-támadás érheti. Azt gondoltuk, hogy ennek megelőzésére az egyetlen lehetőség, hogy a támadót visszaretenti a nukleáris ellenszappástól való félelem. Ezt a fenyegetést mára elhárította Németország legyőzése. Úgy érezzük, hogy hangoztatnunk kell: nincs jogunk Japán ellen atomtámadást intézni, legalábbis addig nem, amíg részletesen nyilvánosságra nem hozzuk, milyen feltételeket rónánk ki Japánra, ha letenné a fegyvert. Atombombát sohasem szabad bevetni, mielőtt alaposan megfontolnánk ennek erkölcsi felelősségét. Annak a nemzetnek, amely precedenst teremt azzal, hogy pusztításra alkalmazza a természet ezen most felszabadított erőit, viselnie kell a felelősséget, amiért egy elképzelhetetlen mértékű pusztítás előtt megnyitotta az ajtót. Ha megengedjük, hogy a háború után olyan helyzet alakuljon ki, amelyben a versengő hatalmak eme romboló eszközök ellenőrizetlen birtokosaivá válnak, akkor az Egyesült Államok és más nemzetek városait váratlan megsemmisülés folyamatos veszélye fogja fenyegetni. Az atomfegyver elterjedésének megakadályozása az Egyesült Államok szent kötelessége, hiszen ennek a nemzetnek adatott vezető szerep az atomenergia felszabadításában. Az ebből fakadó anyagi erőföllet az Egyesült Államokra az önkorlátozás kötelességét rója ki. Ha mi ezt a kötelezettséget megsérténénk, erkölcsi helyzetünk nemcsak a világ szemében rendülne meg, hanem saját szemünkben is. Sokkal nehezebbé tenné, hogy a pusztítás kiszabadított erőit újra ellenőrzés alá vonjuk.”

A Metallurgiai Laboratóriumban 68 atomfizikus írta alá a Memorandumot. Szilárd elküldte azt Oak Ridge-be és Los Alamosba. Wigner Jenő Oak Ridge-ben aláírta, és további aláírásokat is gyűjtött. Erről a szerzőnek ezt mondta:

„Szilárd elküldte nekem a Memorandumot, hogy köröztessem aláírásra. Amikor Oak Ridge-be vittem, a katonai parancsnok szememre vetette: »Ön most nyilvánosságra hozta, hogy az atomrobbanás lehetséges.« Azt feleltem: »Hiszen azt itt mindenki tudja!« Mire ő: »Senki nem tudhatja.« Zavartan tértem vissza kollégáimhoz. Ott Alvin Weinberg ezt mondta: »De Groves tábornok maga tartott nekünk egy előadást, azt hangoztatván, hogy az atombomba Japán fölött fog robbanni.« Így a parancsnokkal történt következő találkozásomkor ezt mondtam: »Valamit tennünk kell, hogy a titkokat megőrizzük.« A tiszt rákérdezett: »Ki árult el titkot?« Azt feleltem: »Groves tábornok!« Mire ők meglepetten elhallgattak.” Egy más alkalommal Wigner ezt mondta: „Sohasem akartam, hogy a bombát ledobják Japánra. Nagyon

sajnálom, hogy Amerika precedenst teremtett az atombombának háborús alkalmazására. Egy országnak sem vethetjük szemére, ha atombombát épít, mert mi is megtettük. Így az atombomba számomra szörnyű csalódássá vált.”

Szilárd Memorandumát Groves tábornok július 25. és augusztus 1. között visszatartotta. Ekkor Truman elnök már a győztesek potsdami konferenciáján tárgyalta, miután kiadta volt a parancsot az atombomba Japán ellen történő bevetésére. Szilárd az utolsó pillanatig nem adta föl: elhatározta, hogy nyilvánosságra hozza Memorandumát. Erre azt James S. Murray ezredes, a Manhattan Program biztonsági tisztje hivatalosan titkosnak nyilvánította.

1945. augusztus 6-án ^{235}U töltésű uránbomba robbant Hirosima belvárosa fölött. 1945. augusztus 9-én plutóniumbomba robbant Nagaszaki belvárosa fölött. 1945. augusztus 15-én a japán császár rádióbeszédben jelentette be Japán feltétel nélküli fegyverletételét. Teller Ede mondta erről:

„Azt hiszem, hogy nem volt szükséges ledobni a hirosimai bombát. Abban pedig biztos vagyok, hogy nem volt szükség a nagaszaki bomba ledobására. Ahogy múltak az évek, az emberek félni kezdtek. Hiszen Hirosima után emberek milliárdjai álltak értetlenül az előtt, ami történt. Kis félelemből egyre nagyobb félelem támadt: az emberek félni kezdtek az atomtól és a sugárzástól. Pedig Rooseveltnél már a világgazdasági válság idején megmondta: »Semmitől sem kell félnünk, csak a félelemtől.«”

A támadás után Dwight Eisenhower tábornok, a szövetséges erők főparancsnoka (később amerikai elnök, az *Atom a Békéért Díj* kezdeményezője) elmondta:

„Az atombomba ledobását azért elleneztem, mert Japán már le volt verve, az atombomba bevetése nem volt indokolt. Az Egyesült Államok elkerülhette volna az emberek tömegpusztító fegyver alkalmazása által kiváltott ellenszenvét, mert erre nem volt szükség amerikai életek megmentése érdekében.”

A hirosimai és nagaszaki bomba nem is annyira a már legyőzött Japánnak szánt utolsó döfés volt, mint inkább a Szovjetunióknak szánt nyomatékos figyelmeztetés a háború utánra. De megint Szilárd Leó lett igaza: 1945-ben a Hirosima és Nagaszaki fölött robbant atombombák új típusú láncreakciót szabadítottak el. Az Egyesült Államok azért csinált atombombákat, mert a (nem létező) német atomfegyverkezéstől tartott. A Szovjetunió nukleáris fegyverkezésbe kezdett, mert félt az amerikai katonai fölénytől. Anglia, Franciaország és Kína is megcsinálta a maga atombombáját, mert félt a Szovjetuniótól. India saját atombombát robbantott, mert félt Kínától. Pakisztán Indiától tartva fejlesztett ki saját atomfegyvert. Irán javasolt egy közép-keleti atomfegyvermentes övezetet, de ezt nem fogadták el. Izrael nukleáris programjának kiváltója a mohamedán országok katonai támadásától való félelem. Irak megkezdett, de külső hatásra leállított nukleáris kutatását Izrael atomfegyverkezésével magyarázta. Dél-Afrika saját atombombát fejlesztett ki, hogy ellensúlyozza a fekete országok katonai túlsúlyát. (A demokratikus átalakulás után fölszámolta atomfegyverkészletét.) A hidegháború és a nukleáris fegyverkezési verseny a *félelem láncreakciója*.

Az emigráns magyar fizikusok politikai tapasztalata és ebből fakadó érzékenysége arra ösztönözte őket, hogy kiutat találjanak a kockázattal fenyegető fegyverkezési versenyből. Az amerikai közönség őket a nukleáris aréna legvadabb szereplőiként ismerte meg.

1941. egyik szeptemberi délutánján a Columbia Egyetem kertjében sétálva Fermi megkérdezte Tellert: a hasadási bombarobbanás magas hőmérséklete nem indíthat-e be hasonló termionukleáris fúziót itt a Földön. Teller számításai azt jelezték, hogy igen: a hasadási bomba hője nehéz hidrogénben fúziós *láncreakciót* indíthat el. ($\text{A } ^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$ magfúzió föl-szabaduló hője valóban biztosíthatja további magütközések energiaigényét.) Teller jól ismerte a nukleáris technikát, és megjósolta, hogy a Szovjetunió rövidesen ki fogja fejleszteni saját

hasadási és fúziós atombombáját. 1949-ben, a szovjet plutóniumbomba felrobbantása után, Teller Ede ajánlására Truman elnök elrendelte a fúziós bomba kifejlesztését. Termonukleáris fúziót láncreakciószerűen 1951. május 9-én az amerikaiaknak sikerült létrehozni a déli Csendes-óceán Enitewok szigetén. Mint azt Teller megjósolta, a Szovjetunió sem késlekedett: 1953. augusztus 12-én sikeresen kipróbáltak egy termonukleáris szerkezetet, amit Andrej Szaharov és Jakov Zeldovics tervezett.

Wigner Jenő szelídebb természetű volt, ez gondolatait passzívabb megoldás: a polgári védelem felé vezette. „Úgy éreztem, hogy polgáraink megvédése sokkal erkölcsösebb eljárás, mint egyre több és nagyobb erejű fegyver tervezése, hogy velük idegen polgári személyeket öljenek meg.” Az I. világháború példáján megtanulta, hogy a lövészárkok majd olyan fontosak, mint a puskák. Európa a II. világháborúban eredményesen használta a légtalmi óvóhelyeket. Így a Kölcsönösen Garantált Elpusztulás (Mutually Assured Destruction, azaz MAD) *őrült* stratégiája helyett Kölcsönösen Garantált Túlélés (Mutually Assured Survival, azaz MAS) néven *más* stratégiát ajánlott. Kennedy elnököt arra kérte, hogy fordítson figyelmet (és pénzt) nyilvános óvóhelyek építésére, és a nagyvárosok kiürítési tervének előkészítésére. A polgári védelem tervének egyik vitáján (Wigner távollétében) Teller egy göttingai történetet mesélt el. Wigner egy Heckman nevű csillagásszal hevert a göttingai uszoda pázsitján, amikor társa észrevette, hogy hangyák másznak Wigner lábán. „Nem csípnek?” – kérdezte Heckman. „De sajnos igen” – volt a válasz. – „Akkor miért nem ölöd meg őket?” Mire Wigner ezt mondta: „Mert nem tudom, melyik csípett meg!” – Woods Hole-ban hat héten át tartó agyviharoztató tárgyalás eredményeképpen Wigner irányításával kidolgozták a polgári védelem stratégiáját, amelyet az amerikai kormány mégsem épített ki.

Később Teller Ede is a Kölcsönösen Garantált Túlélés szószólójává vált, amikor Reagan elnöknek a Rakétaelhárító Rakétavédelmet javasolta. Az elnök erre alapozta a Stratégiai Védelmi Kezdeményezést. (Ennek adták kritikusai a *Csillagháború* becenevet.)

Szilárd Leó megértette, hogy az atomháború elfogadhatatlan alternatíva. Azzal érvelt, hogy 10000 atombomba olyan borzasztó túlpusztításra képesít, ami ellen sem katonai, sem polgári védelem nem tudná megóvni a lakosságot. Csak a Kölcsönösen Garantált Leszerelés jelenthet megoldást: a robbanófejek számának 100-ra (esetleg 1000-re) történő lecsökkentése tenné lehetővé a Kölcsönösen Garantált Túlélést. Szilárd látta, hogy a leszerelés fő akadály a bizalmatlanság, ezért aktívan részt vett a tudósok nemzetközi Pugwash békemozgalmában, amerikai és szovjet atomfizikusok találkozóinak megszervezésében. Még a szovjet tudósok is „*az emberiség vezető lelkiismeretének*” tekintették. Sajnos, ezt a javaslatot sem fogadta el Amerika.

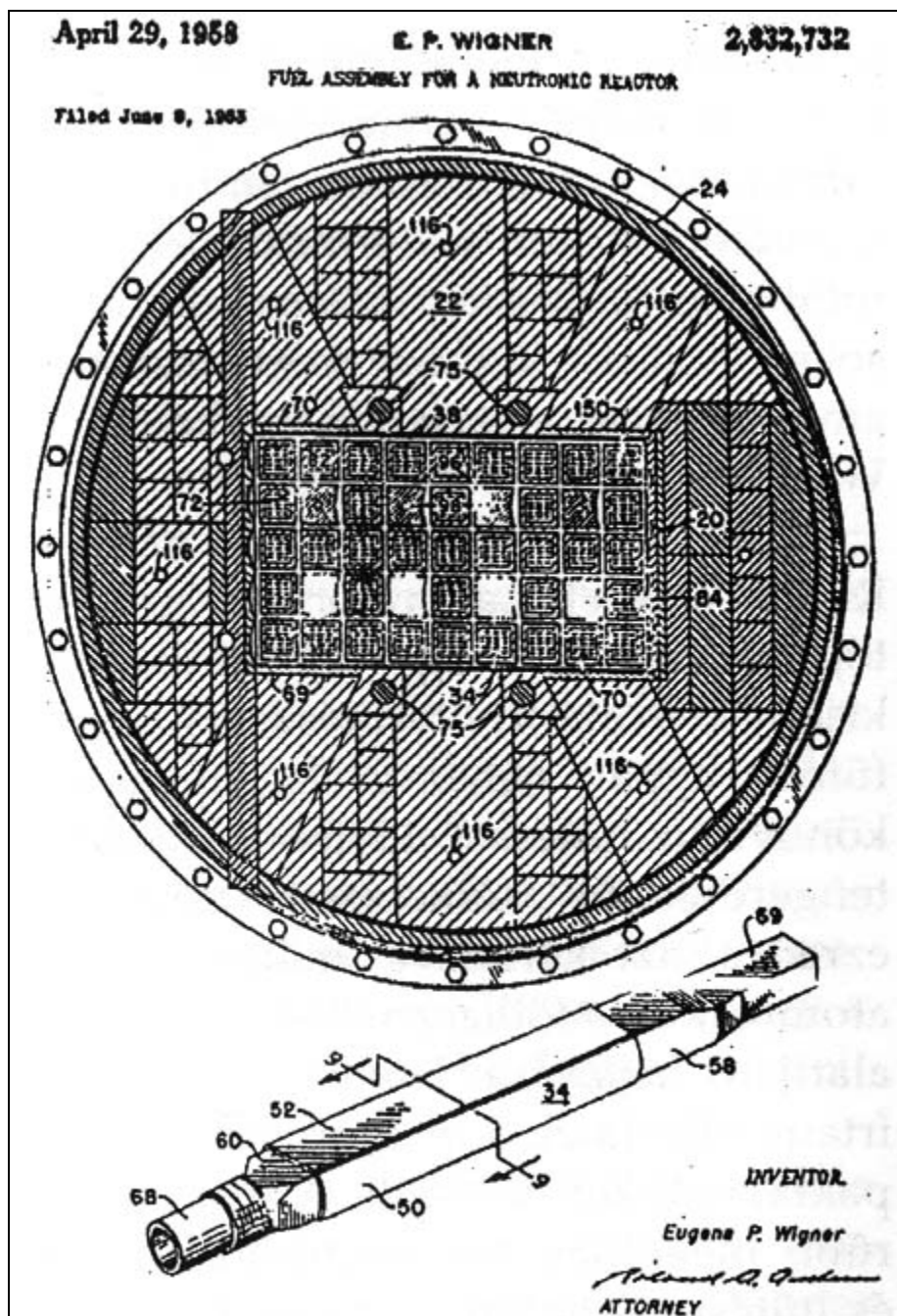
A sajtó szerint Teller Ede, Neumann János, Wigner Jenő héják voltak, Szilárd Leó, Kemény János, Szent-Györgyi Albert pedig galambok. A két tábor tüzes sajtó- és televízió-vitákat folytatott egymással: ugyanazt a végcélt különböző utakon próbálták elérni. A kölcsönös barátság és megbecsülés nem tompította érvelésük élet, mert magas volt a tét: az ember túlélése. A két szuperhatalom hidegháborúja 1945-ben kezdődött, és az 1980-as évekig dőlt el – Amerika javára. A történelem egyszer majd eldönti, melyik tudósunknak volt igaza. Meglehet: nukleáris elrettentés kiépítése és összekötő hidak verése egyaránt hozzájárult a globális nukleáris végítélet elkerüléséhez. A szörnyű fegyvert kétszer vetették be emberek ellen, Hirosimában és Nagaszakiban, borzasztó következményekkel. De ezután a 20. század egész második fele az atombéke időszaka volt. (Azóta a Közel-Keleten is, Boszniában is több embert öltek meg nemzeti–vallási eszmék nevében konvencionális kémiai robbanószerekkel, mint amennyi Hirosimában és Nagaszakiban elpusztult.)

Hasadási és fúziós bombák gyártásához plutóniumra volt szükség. A plutóniumtermelő katonai reaktorok grafitot használtak arra, hogy a hasadásban keletkezett gyors neutronokat lelassítsák a hasításhoz előnyös kis sebességekre. A neutron-ütközések azonban szénatomokat löknek ki a grafit kristályrácsából. Kristályhibák halmozódnak fel. Ha az ilyen hibagazdag grafit fölmelegszik, a mocorgó szénatomok visszapottyannak a kristályrend által megszabott helyükre, ami energiefelszabadulással jár. Ily módon a kristályhibás reaktorgrafit csekély fölmelegedése arra vezethet, hogy az felizzik. Ezt a fenyegető lehetőséget Wigner Jenő tanulmányozta a hanfordi teljesítményreaktorok tervezése során. Ma Wigner-effektus (becenevén *wigneritisz*) néven tartják számon. Wigner rámutatott, hogy a hatás megelőzhető, ha a reaktor grafitját szabályos időközönként (nem túl ritkán) ellenőrzött körülmények közt fölmelegítik, lehetőséget adván a kristálynak önmaga újrendezésére. Ezt az eljárást Amerika minden grafitos reaktoránál alkalmazták.

Windscale Angliában van. Ott egy plutóniumtermelő reaktorban üzemzavar támadt, mert késve és óvatlanul hajtották végre a szándékolt fölmelegítést, így a grafit tüzet fogott. A reaktor szerencsére védőburokkal volt elszigetelve a külvilágtól. Az angol kezelőszemélyzet gondosan járt el: a tüzet nem vízzel próbálták eloltani, ekkor a fejlődött gőz szertevitte volna a radioaktivitást. Szén-dioxiddal oltottak. A katasztrófát elkerülték. De Wigner nem örült, hogy a bajról Wigner-effektusként adtak hírt. Hangoztatta, hogy nem ő okozta az üzemzavart, hanem az ellenőrzés alól kiszabadult szénatomok. Javasolta, hogy a jövőben Windscale-effektusról beszéljenek.

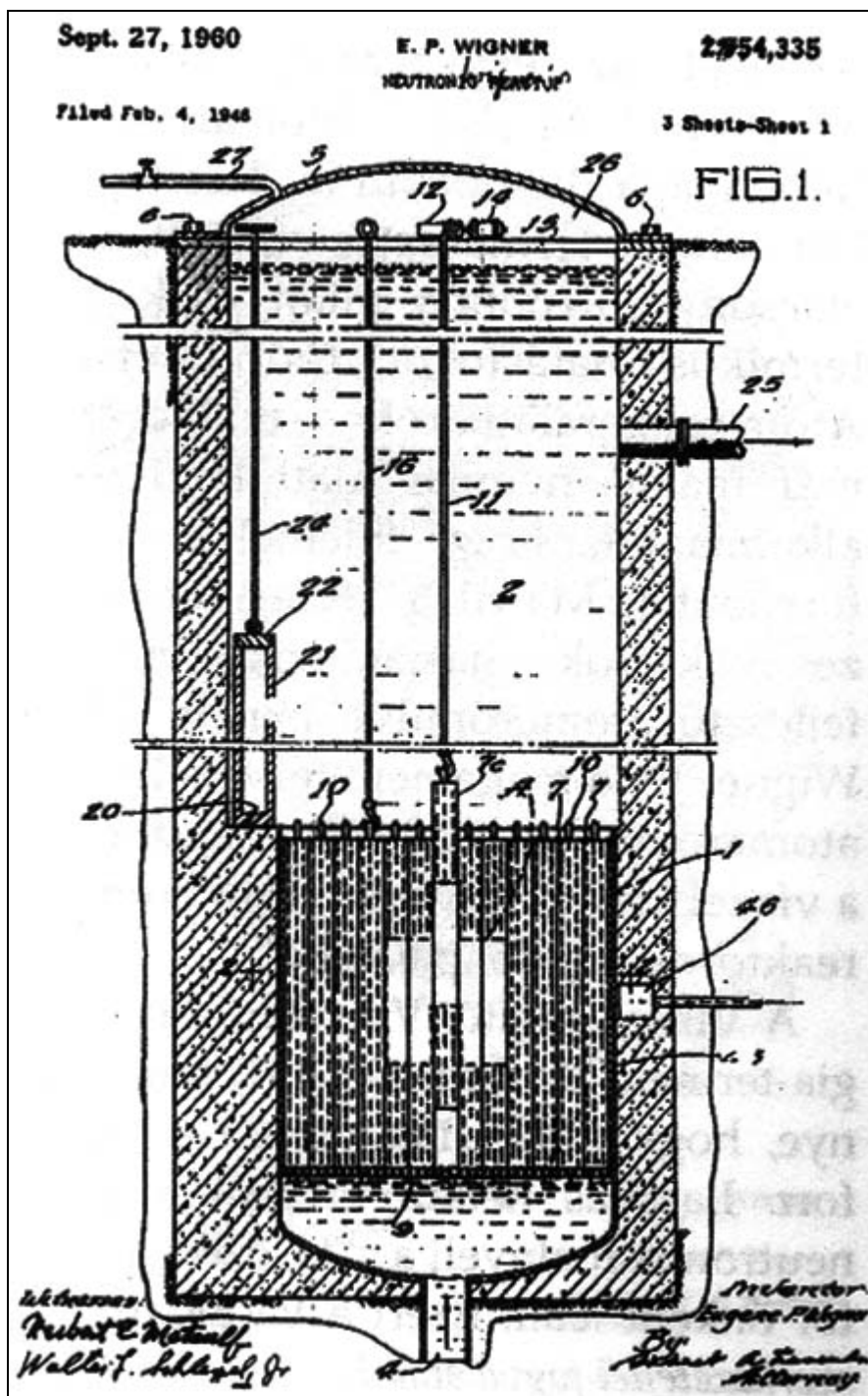
1943-ban, a hanfordi grafitlassító reaktor tervezésével egy időben más alternatívákat is kerestek. Wigner Jenő biztatta tervezőcsapatát: vizsgáljanak meg más neutronlassítási lehetőségeket is: Be, BeO, nehézvíz, és hozzátette: „A könnyűvízről se feledkezzetek meg!” – Alvin Weinberg azt találta, hogy a természetes urán, mint hasadóanyag és a természetes víz, mint neutronlassító 98%-os neutronsokszorozást képes megvalósítani, ami *majdnem elég* a láncreakcióhoz. Weinberg ezt mondta:

„1945 után Wigner Jenő volt az Oak Ridge Nemzeti Laboratórium igazgatója. Javasolta, hogy építsünk egy kísérleti reaktort természetes urán fűtőanyaggal, nehézvíz lassítóval és könnyűvíz hűtéssel. 1945-ben a Haditengerésztől fölkeresett Abelson ezredes, azt kérdezve, miként volna atomreaktor fölhasználható tengeralattjáró hajtására. Jelentésemben ezt írtam: »Ezeknek a reaktoroknak kompaktaknak kell lenniük. A legegyszerűbb megoldás, ha neutronlassításra és hűtésre egyaránt természetes vizet használunk. De ehhez az urán ²³⁵U-tartalmát a természetes 0,7%-ról meg kell növelni körülbelül 3%-ra.« A nehézvizet az egyszerűség kedvéért hagytam el. Az első reaktor, amelynek fűtőanyaga dúsított urán, lassítója és hűtőközege természetes víz volt, a víz alacsony forrponjtja miatt csak 17% termikus hatásfokot tudott elérni. Atom-tengeralattjárók reaktorában már magas nyomás alatt lévő vizet alkalmaztak, hogy fölemeljék a víz forrponjtját. Ma világszerte nyomottvizes reaktorokat használnak a villanyfejlesztő atomerőművekben is. Noha Wigner Jenő maga nem tervezett ilyen atomerőművet, mégis őt tekinthetjük a vízzel lassító és vízzel hűtő erőművi reaktorok nagypapájának.”



Wigner Jenő egyik reaktorszabadalma

A Vízrel-lassító, Vízrel-hűtött Energia-termelő Reaktor (VVER) nagy előnye, hogy túlhevülés esetén a víz elforr. Lassítás nélkül viszont a gyors neutronokat elnyeli a ^{238}U , ezért a reaktor önként leáll. Ezért a VVER reaktor *szerkezeténél fogva stabil*.



Wigner Jenő egyik tenyésztő-reaktor szabadalma

A Duna menti Paksi Atomerőmű négy VVER reaktora a Magyarországon használt villamos energia közel 40%-át adja, a többi erőműnél olcsóbban. Azok a környezetfeltű hirdetések, hogy „hagyd otthon az autód, szállj villamosra”, voltaképp az atomenergiát propagálják. A Paksi Atomerőmű vízzel lassít és vízzel hűt, tehát szerkezetileg stabil. A reaktorokat Oroszországban tervezték, de Finnországban és Magyarországon készítettek hozzá ellenőrző és szabályozó elektronikát. Az itthon készített számítógépes szimulátoron a reaktorkezelők megismerkedhetnek és megérthetik, melyik jelzés milyen zavarra utal, és az hogyan védhető ki. Az erőművet kritikus szemmel megvizsgálta a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ellenőrző csapata, és jelentésében megállapította: ez a legbiztonságosabb és legtisztább atomerőmű Kelet-Európában. A négy paksi reaktor a nukleáris ipar TOP 25 (A LEGJOBB 25) nemzet-

közi rangsorában (világelső közt) szerepel. Ha egy masina (például autó vagy atomerőmű) megbízhatóságát aszerint ítéljük meg, hogy a megépítése óta eltelt idő hányadrésztében működött (milyen keveset állt üzemhiba és szervizelés miatt), akkor a magyar atomerőmű legelső a világon. A Paksi Atomerőművet szakértő figyelemmel fölkeresték a reaktortervezés és reaktorbiztonság legkiválóbbjai: Alwin Weinberg, Wigner Jenő, Teller Ede is, és a látogatás után kifejezték elismerésüket a szerkezet biztonsága, a kezelőszemélyzet szaktudása iránt.

Az Egyesült Nemzetek *Atom a Békéért Díját* 1959-ben (amikor Fermi már nem élt) Szilárd Leó és Wigner Jenő kapta meg az atomreaktor föltalálásáért, az 1960-as díjat pedig Alvin Weinberg (Wigner tanítványa) és Walter Zinn (Szilárd munkatársa), a hivatalos indoklás szerint azért, hogy „megtiszteljük azt a négy embert, akik minden élő ember közül a legtöbbet tették a maghasadási reaktor kezdeményezéséért és tökéletessé tételéért. Minden eddig konstruált eszköz közül ez bizonyult a legalkalmasabbnak arra, hogy gyakorlatilag hasznosítsa az atommag energiáját és radioizotópokat termeljen. Ha bölcsen fogjuk használni az atom eme ajándékait, az felbecsülhetetlen jótétemény lesz az emberiség számára.”

Újra itthon

„Egyszerű magyar dalok és versek, amelyeket 1910 előtt tanultam, ma is önként megszólalnak bennem. Az Egyesült Államokban eltöltött 60 esztendő után még mindig inkább magyar vagyok, mint amerikai. Az amerikai kultúra sok vonása mindmáig idegen maradt számomra. Az igazat megvallva az amerikai kultúrát kicsit gyerekesnek találom a magyar, német, francia, angol kultúrához képest. Mark Twain amerikai volt és az általa írt Huckleberry Finn, de kevés más nagy írójuk van. A beszélgetést sem veszik olyan komolyan, mint Európában. Több időt töltenek el a televízió nézésével. Más nemzetek történelme, nyelve, kultúrája nem érdekli annyira az amerikaiakat, mint az európaiakat.” – Ezeket a szavakat Wigner Jenő amerikai életrajzírójának mondta „csodálatosan gazdag, erősen magyaros kiejtésű hangján”, amikor ő szülőhazájáról kérdezte.

„A viccek látszólag egyetemesek, de azokat egy ország sem élvezi jobban, mint a magyarok. Sehol máshol nem tapasztaltam a viccek olyan erejét, amióta elhagytam Magyarországot. Ennivalóra és lakásra mindenütt szükség van, de nevetésre nem feltétlenül. Akkor miért találunk ki tréfákat, és miért kacagunk rajtuk oly boldogan? Budapesten rengeteg kávéház van, ilyenek nincsenek Amerikában. Ezekben nemcsak megengedték, hogy kávé mellett ülve beszélgessünk, hanem el is várták, hogy értelmes beszélgetést folytassunk a tudományról, művészetről, irodalomról. Budapesten sokkal több elmélyült beszélgetést hallhat az ember a kultúráról, mint az Egyesült Államokban. A magyar költészet talán a legszebb Európában.” – Hosszú sorokat idézett emlékezetből kedvenc költőjétől, Vörösmarty Mihálytól.

Neumann János, Szilárd Leó, Teller Ede és Wigner Jenő mind Magyarországról indultak el, hogy Nyugaton alakítsák a 20. század történelmét és kultúráját, amit azután az elmúlt évszázad nekünk, a 21. századnak hagyott örököül. Pályájuk nemcsak párhuzamos volt, hanem sokszor találkozott, sőt hosszan egymáshoz simulva futott. Szoros kapcsolatban voltak egymással, sokszor dolgoztak együtt és beszélgettek magyarul.

„Régi magyar barátaimmal sohasem szakadt meg a kapcsolatom. A velük való alkalmi beszélgetések mindig sokat jelentenek nekem.”

Wigner gimnazista kora óta ismerte Neumann Jánost. Egyszer C. P. Snow Einsteint a század legnagyobb zsenijeként jellemezte, Wigner azonban emelt hangon tiltakozott: „Én csak egyetlen lángelmét ismerek: Neumann Jánost! (Ezt a kijelentésemet talán jobban méltányolják, ha tudják, hogy személyesen ismertem Einsteint is.)” A Financial Times valóban Neumann Jánost nyilvánította „a 20. század emberének”. (Mikor Neumann agyrákban betegen feküdt, élete utolsó hónapjaiban Wigner sűrűn meglátogatta, megpróbálván felvidítani. Neumann 1957-ben halt meg.) Wigner nagyra értékelte Szilárd Leó eredeti ötleteit, elsősorban a neutron-láncreakció lehetőségét, de kicsit idegennek érezte Leó erőszakos természetét. (Szilárd Leó 1964-ben halt meg.) Teller Ede képzelőerejét nagyobbban érezte, mint bárki másét, akivel valaha találkozott: Ede nem rágódik „elegáns” matematikai megformulázáson, mint a többi elméleti fizikus, hanem maguk a jelenségek érdeklik, hogy azután csillogó intuícióval használja azokat, pontosabban: arra másokat rábeszéljen. Ezért mindig sürgős volt a tennivalója, sokat utazott. (Teller Ede 94 évesen Kaliforniában él.) A négy barát közül Wigner magát tartotta a leglassúbbnak. Pedig ő nemcsak *friss* ötletekkel sziporkázott, hanem mindig *be is fejezte* a megkezdett munkát. Négyük közül ezért Wigner Jenő kapott Nobel-díjat. Mikor gratuláló kollégák meghozták neki a hírt, egy magyar közmondás ötlött eszébe: „A butáknak szerencséjük van.” – Arra gondolt, hogy azt Neumann Jancsi és Teller Ede inkább megérdemelte volna. Wigner Nobel-díja átmenetileg lehűtötte Szilárd Leóval való kapcsolatát:

Leó úgy érezte, hogy ő a neutron-láncreakció gondolataért inkább megérdemelte volna. Wigner később mégis ezt írta: „Minden hibája ellenére Szilárd Leó volt a legjobb barátom.”

Wigner Jenő a hidegháború enyhültével ötvenéves szünet után először 1976 nyarán látogatott haza az Eötvös Loránd Fizikai Társulat meghívására. Ez alkalomból emlékfát ültetett Balatonfüreden a tóparti sétányon, a Nobel-díjasok fasorában. Nemzeti ünnep (augusztus 20.) volt, amikor a Népköztársaság útján vittük autón. Láta az út közepén kifeszített kötélről lógó-lebegő hosszú piros-fehér-zöld zászlókat függőleges sávokkal. Amikor az autó elhaladt a nemzeti zászló alatt, a szimmetriák iránt érdeklődő tudós hátrafordult, visszanézett, és meglepett örömmel mondta: „Innen nézve is piros-fehér-zöld a magyar lobogó!” Az Akadémián (az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal közös rendezésben) *A szimmetriaelvek 50 évéről* tartott előadást. Az Eötvös Egyetemen már *A kvantummechanika ismeretelméleti problémáiról* beszélt, ami élete utolsó szakaszában legjobban érdekelt. Eme kései évtizedében (1976–1987) négyszer is hazalátogatott. 1977-ben Wigner Jenőt – aki Jedlik Ányost követően az 1930-as években az Eötvös Társulat megtisztelő 1. számú tagsági könyvét birtokolta – tiszteleti tagjává választotta az Eötvös Loránd Fizikai Társulat. A szegedi Fizikus Vándorgyűlésen *Természettörvény és kezdőállapot* címmel tartotta meg társulati székfoglaló előadását. 1983-ban az Eötvös Társulatban ismét *A kvantummechanika határaitól* beszélt. A „világ első reaktormérnöke” ekkor látogatta meg a Paksi Atomerőművet, és szólt elismeréssel annak biztonságáról, kezelőinek szakértelméről. A szerző tanúsíthatja, hogy egyetlen meglepetést eláruló megjegyzése az volt, hogy „itten minden milyen nagy!”. Valóban, Amerikában takarékosabban méretezik a reaktorcsarnok épületét, de nem biztonságosabban a *reaktort*!) Tiszteletbeli doktorává fogadta az Eötvös Loránd Tudományegyetem (1987), ahol szakmai beszélgetést is folytatott. A Parlamentben a Magyar Köztársaság Zászlórendjével tüntették ki. Az ünnepi vacsorán örömmel állapította meg, hogy még él a régi hagyomány: „Amikor a magyar ember koccint, partnere szemébe néz! Amerikában ez sajnos nem szokás.” Elhúzatta a cigánnyal, hogy *Ritka búza, ritka árpa, ritka rozs*–, és a cigányzenére még csárdást is táncolt.

1977 november 5

Kedves György!

Most jött meg október 27-i leveled és nagyon köszönöm. Büszke vagyok az Eötvös Loránd Fizikai Társulat tagságára. Most jött, szintén, az International Biographical Center hírdőve; az egyik kérdésük az, milyen nagy tiszteltetéseket kaptam. Oda beírom az Eötvös Loránd tagságot! Miért nem írtott a Társulat erről?? De a fő, hogy mégis megtudtam.

Még egyszer nagyon köszönöm levelét és minden jót kívánok Neked is, kedves barátainknak is!

Wigner Jenő

Wigner Jenő társulati tagságot köszönő levele

Később tiszteleti tag lett a Magyar Tudományos Akadémián (1988), de egészségi állapota már nem engedte meg az újabb hazalátogatást. Princetonban még személyesen vette át a Magyar Nukleáris Társaság Szilárd Leó érmét (1992) és a Magyar Köztársaság rubinokkal ékesített Érdemrendjét „a nukleáris energetika és fizika területén elért maradandó eredményeinek elismeréseként”.

1973 február 4

A Fizikai Szemle Szerkesztő Bizottságának
Budapest V, Szabadság tér 17

Nagyon köszönöm a Szerkesztő Bizottság jóllakosságait az immár jelen őrre és leharagyi üdvözléseit. Viszonyom ezeket nagyon melegen. Még szeretném észlelni ragadni ezt az alkalmat, hogy kifejezzem csodálatomat a Szemle tartalma iránt. Alig tudok oly füzetet említeni, amit legalább egy cikke olvasása nélkül továbbadtam volna. Mindig örülök, amikor egy új füzet kezéimbe kerül.

Tisztelettel
Wigner Jenő

Wigner Jenő levele Budapestre

A 20. század által az utókorra hagyott legfontosabb elvi problémának a mérés kvantumelméleti értelmezését tartotta. Kisgyerekként sétára vitték egy lovas kocsin. Udvariasan beszélgetni illett volna a felnőttekkel, de ő inkább a lovakkal próbált beszélni. Sajnos, a lovak nem értettek magyarul. Wigner érdeklődése az emberi és állati tudat iránt egész élete során megmaradt. Albert Einstein azért mutatott fenntartásokat a kvantummechanikával szemben, mert az nem volt newtoni értelemben determinisztikus. Hiszen az állapotfüggvény folyamatos időbeli alakulását ki lehet számítani, de a mérés pillanatában az állapotfüggvény az egyik sajátfüggvénybe ugrik be – és nem tudjuk előre pontosan megmondani: melyikbe. A kvantummechanika csak valószínűségi kijelentéseket tud tenni a mérés eredményére vonatkozóan. „De mi a mérés?” – kérdezte Wigner. Megpróbálta megválaszolni: a mérés a fizikus agyának kölcsönhatása a külső valósággal. Ez vezette el a tudat problémájához. De mi történik, ha valaki egy pillanatra ránéz a mérőeszköz mutatójára, de a következő pillanatra elfelejti, mit látott? És ha egy állat néz a mutatóra, akkor ugrik-e az állapotfüggvény vagy nem? Van-e tudata az állatnak? Wigner egyre többet gondolkodott a kérdésen. Egyik budapesti előadá-

sában ezt mondta: „Vannak jelenségek, amit a fizika nem képes leírni. Ilyen dolog az élet, az értelem, a tudat. Ebbe beletörödni olyan, mintha nem vennénk figyelembe a gravitációt. De a gravitáció létezik, és élet létezik. Itt vagyok, örömet és vágyat érzek. Azt szokták mondani, hogy a fizika törvényei az emberre is vonatkoznak, az érzelmek pedig érdektelenek. Ezt nem tudom elfogadni! Meg vagyok győződve, hogy az események menetét a tudat éppúgy befolyásolhatja, mint a gravitációs erő. Egy bizonyos fokig mi is állatok vagyunk. Meglehet, hogy a mi érdeklődésünknek és a mi tudásunknak is vannak határai. Szeretném hinni, hogy az élet megértése nincs értelmünk határain túl. Megtanultuk, hogyan lehet leírni a gázokat, és hogyan az atomokat. Egyszer talán az életet is megértjük. Eleve ugyan nem zárható ki, hogy az emberi értelem determinisztikus leírására nincs mód. A mai fizika esetleg már elegendő lehet egy vírus vagy akár egy baktérium leírására. Ha ez sikerülni fog, akkor talán a baktériumot nem fogják élőnek minősíteni, hanem tárgynak? Hogy az élet teljes komplexitását leírjuk, beleértve az emberi tudatot is, nem lesz elég tiszta hullámfüggvényre hagyatkoznunk. De az is lehet, hogy a tudat megértése mindig kívül fog esni az emberi értelmén, mint a beszéd a lovak értelmén.”

1940-ben Wigner Jenő egy fizikus nyáriiskolán találkozott kollégájának, John Wheelernek (a maghasadás-elmélet Bohrral közös kidolgozójának) a testvérével, Mary Anette Wheelerrel. Mary New Englandban született, a Yale Egyetemen tanult fizikát, és a kevés amerikai női fizikaprofesszorok egyike lett. Elkezdtek egymással beszélgetni, amiből hosszú séták következtek kettesben. (Mary fizikáról is hajlandó volt beszélgetni.) 1941. június 4-én volt az esküvő. Két gyermekük született: David (1943) és Martha (1945).

Wigner Jenő a berlini évek óta jó barátságban élt Albert Einsteinnel. Az 1930-as években Einstein is Princetonba költözött, munkahelye az Institute for Advanced Study volt. Történt egyszer, hogy Wignerné Mary Anette Wheeler férje megbízásából néhány kéziratlapot vitt Einstein lakására. Két gyereket kint hagyta az autóban, úgy szaladt be Einstein lakásába. Mikor Einstein udvariasan a gyerekek iránt érdeklődött, mamájuk bevallotta, hogy a gyerekeknek épp bárányhimlője van, ezért hagyta kint őket. Mire Einstein azt mondta: „Ó, nekem már volt bárányhimlőm. Ha egy percre találkozom velük, biztosan nem árthat.” Le is ment, és hosszan elbeszélgetett velük, amire a gyerekek máig büszkén emlékeznek. (Wigner szerint Einsteinnek fogalma sem lehetett, hogy mi a bárányhimlő.)

Wigner Márta később Charles Upton közgazdász-professzor felesége lett és leányokat szült: Mary 1978-ban, Margaret 1979-ben született. Márta férjével és leányaival az utóbbi években többször járt szívesen látott vendégként Magyarországon. Megszerették az óhazát. Margit magyarul is elkezdett tanulni. Egyik szenvedélye a Wigner-ösök családfájának kutatása, amire korábban már utaltunk. Márta elmesélte, hogy papája elmélyült munka közben otthon is gyakran dúdolt egy furcsa ének dallamot, ami valahogy így hangzott: – *Ritka búza, ritka árpa, ritka rozs* –

1974-ben azonban súlyos csapás érte Wigner Jenőt: feleségénél előrehaladott rákot diagnosztizáltak. Nem segített a kemoterápia, a modern orvosi technika: 1977-ben Mary Wheeler Wigner, gyermekeinek édesanyja, unokáinak nagymamája eltávozott. Újra egyedül kellett élni, vendéglőben vacsorázni. Nem sokkal később meghalt Donald Hamilton princetoni fizikaprofesszor. Wigner jóban volt vele és feleségével is. A kettős veszteség után a két előzvegyült többet volt együtt. 1979-ben Wigner Jenő harmadszor is megnősült. (Felesége, Eileen Hamilton Wigner túlélte új férjét.)

„A szerelem nem gyengül a korral. De az emlékezet igen. Persze a felejtés néha jól is jöhet” – mondta. Élete utolsó éveiben őt gondozó családtagjai azt vették észre, hogy könnyebben ért és beszél magyarul, mint angolul. Leánya, Márta felhívott, van-e esetleg magyar tanítványom Princetonban, aki időnként eljönne Wigner professzorral beszélgetni. Ott dolgozott Frei Zsolt (most az Eötvös Egyetem docense), a vele való beszélgetések alkalmat adtak még néhány utolsó eszmecsereére.

Wigner Jenő 1995. újév napján halt meg Princetonban. Méltó gyászünnepség után a princetoni temetőben helyezték végső nyugalomra, ott, ahol korábban Neumann Jánost. A *New York Times* így írt: „Wigner egyike volt azoknak a Budapesten született és ott nevelkedett tudósoknak, akik a jövőbe tekintettek, Nyugatra jöttek és átalakították a modern világot.” Egykori munkahelyén, a Fine Hall termében Wigner Jenő, John Wheeler és Richard Feynman festménye őrzi a legkiválóbb professzorok emlékét. Budapesten a Wigner-gyászünnepségen zsúfolásig megtelt az egyetem Eötvös-féle terme, hogy a haza gondolatban búcsúzzon egyik legnagyobb fiától. Az országban több szobor őrzi emlékét, iskolákat neveztek el róla. A Magyar Tudományos Akadémia (a Paksi Atomerőmű támogatásával) 1999-ben *Wigner Jenő-díjat* alapított, amit évente a nukleáris szakma legkiválóbbja kap. A kitüntetés átadása az akadémiai közgyűlés egyik fénypontja, azon a Wigner-család is képviseltetni szokta magát.

Most, 2002-ben, születésének centenáriumán az Amerikai Fizikai Társaság ünnepi ülészen tiszteleg emléke előtt, amelyre magyar előadót is meghívtak (Albuquerque, április 21.). Az Európai Fizikai Társaság kongresszusa külön ülészenket szentel Wigner Jenőnek (Budapest, augusztus 27.). A Tudomány Hetén az akadémiai közgyűlés keretében a Magyar Tudományos Akadémia az Eötvös Loránd Fizikai Társulattal közösen szervez centenáriumi emlékülést (november 10.).

Idézzük most fel, hogy egy nappal 85. születése napja előtt, 1987. november 16-án a budapesti József Attila Gimnáziumban mit felelt Wigner Jenő a diákok eme kérdésére: Professzor Úr bízik az emberiség jövőjében?

„Kérem, ez borzasztóan nehéz kérdés. A fizika területei az én életem során hatalmasan kiterjedtek. Az első fizikakönyv (Mikola Sándortól), amit 17 éves diákként olvastam, azt mondta: »Atomok és molekulák talán léteznek, de ez lényegtelen a fizika szempontjából.« A fizika makroszkopikus testekkel foglalkozott. Atomok csak a kémikusokat érdekelték. Amikor ezt az érdeklődést átvették a fizikusok, nagyszerű eredmények támadtak. Hogy fog-e hasonló történni a jövőben is, hogy az ember mennyire tud előrehaladni a tudományban, az nem teljesen világos. Máig a fizika csak élettelen dolgokkal foglalkozott.”

„Emlékszem, egyszer egy kutyát meg akartam tanítani az egyszeregyre. No nem nehéz szorzásra, csak azt próbáltam elérni, hogy megmondja, mennyi 2×3 . Mutattam neki 2 kockát meg 3 kockát és szerettem volna, hogy a kutya 6 kockát jelezzen. Hát nem sikerült. Az embert erre könnyű megtanítani, azt hiszem, hogy az itt lévő diákok 999%-e nagyon jól ismeri az egyszeregyet. De lehet, hogy az emberi képességnek is vannak határai. A fizika sok örömet okozott nekem, szeretem. De ha a tudomány túl rafinálttá, komplikálttá válik, talán csökkenni fog az iránta mutatott érdeklődés. Az amerikaiak egyre több időt töltenek a televízió előtt.”

„Ezzel kapcsolatban engem nagyon bánt, hogy még nem kaptunk jelet más civilizációktól. Valószínűleg vannak más bolygók is, rajtuk valószínűleg vannak értelmes lények. Az is valószínű, hogy ezek egy részének jobban kifejlett a tudása, mint nekünk. Hogy mégsem léptek velünk kapcsolatba, az meglep. Nem közvetlen látogatásra gondolok, hiszen a legközelebbi bolygórendszer távolsága 4 fényév vagy még több. De mégis meglep, hogy nem érdeklődnek irántunk, hogy nem létesítenek velünk összeköttetést. Talán csak egy lakott bolygó van ma a Világmindenségben, csak egy faj, amelyik igazán érdeklődő? Amitől félek, hogy azok ott talán már abbahagyták, és az emberek is csakhamar megunják a tudományt. Mi most még nem tudunk rádiókapcsolatot ajánlani nekik. De 50 év múlva valószínűleg képesek lennének erre. És valószínű, hogy egyes civilizációk több mint 50 évvel előttünk járnak. Nem érdeklődnek, nem kívánnak velünk kapcsolatba lépni? Remélem, tévedek. Remélem, tévedek akkor, amikor attól félek, hogy csökkenni fog az emberiség tudomány iránt mutatkozó érdeklődése.”

Az már egy más alkalom volt, amikor ezt vallotta:

„Igazi boldogság tudni, hogy fizikus vagyok. Mi más mérhető ehhez, mint a szerelem?”

Wigner Jenő kitüntetései

USA Érdemrend Truman elnöktől (1946)

Franklin Társaság Franklin Érme (1950)

Amerikai Fizikai Társaság alelnöke (1955)

Amerikai Fizikai Társaság elnöke (1956)

USA Atomenergiai Bizottság Fermi-díja (1958)

Egyesült Nemzetek Szövetségének Atom a Békéért Díja (1960)

Német Fizikai Társulat Max Planck Érme (1961)

Fizikai Nobel-díj (1963)

Amerikai Magyar Tanulmányok Alapítvány George Washington Érme (1964)

Amerikai Magyar Orvos Egyesület Semmelweis Érme (1965)

USA Nemzeti Tudományos Díja (1969)

Pfizer Érdemdíj (1971)

Albert Einstein Érem (1972)

Eötvös Loránd Fizikai Társulat tiszteleti tagja (1977)

Magyar Köztársaság Zászlórendje (1977)

Magyar Köztársaság Rubinokkal Ékesített Érdemérme (1994)

Magyar Nukleáris Társaság Szilárd Leó-érme (1992)

Akadémiai tagságok

Amerikai Művészeti és Tudományos Akadémia

Amerikai Nemzeti Tudományos Akadémia

Angol Tudományos Akadémia (Royal Society)

Göttingai Tudományos Akadémia

Holland Királyi Tudományos Akadémia

Osztrák Tudományos Akadémia

Magyar Tudományos Akadémia

Tiszteletbeli doktori címek

University of Wisconsin (1949)
Washington University (1950)
Case Institut (1955)
University of Chicago (1957)
University of Alberta, Canada (1957)
Colby College (1959)
University of Pennsylvania (1961)
Yeshiva University (1963)
Thiel College, Greenville, Pennsylvania (1964)
Notre Dame University (1965)
Technische Universität, Berlin (1966)
Swarthmore College (1966)
Université de Louvain (1967)
Université de Liège (1967)
University of Illinois (1968)
Ston Hall, New Jersey (1969)
Catholic University, Washington D.C. (1969)
Rockefeller University (1970)
Technion, Israel (1973)
University of Lowell (1976)
Princeton University (1976)
Clarkson College (1978)
Allegheny College (1978)
Eötvös Loránd Tudományegyetem (1987)

Bibliográfia

Wigner Jenő könyvei

- Gruppentheorie und ihre Anwendung auf die Quantenmechanik der Atomspektren.* Brunschweig, F. Vieweg, 1931
- Group Theory and its Application to the Quantum Mechanics of Atomic Spectra.* New York, Academic Press, 1959
- Csoportelméleti módszer a kvantummechanikában.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1979
- Leonard Eisenbud and Eugene P. Wigner: *Nuclear Structure.* Princeton University Press, 1958
- Einführung in die Kernphysik.* Mittelstaedt and H. Teichmann, Mannheim, Bibliographisches Institut, 1961
- Az atommag szerkezete.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1969
- Alvin M. Weinberg and Eugene P. Wigner: *The Physical Theory of Neutron Chain Reactors.* University of Chicago Press, 1958
- Symmetries and Reflections.* Bloomington, Indiana University Press, 1967, 1970, 1978
- Szimmetriák és reflexiók.* Gondolat, Budapest, 1972

Magyar nyelven megjelent tanulmányok

- Wigner Jenő 350 írásának teljes listáját a Fizikai Szemle 42 (1992) 408. közölte.
- Összetett rendszerek statisztikája az új kvantummechanika szerint.* Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Természettudományi Értesítő 46 (1929) 576.
- A kémiai kötés újabb elmélete.* Chemische Rundschau für Mitteleuropa 24 (1939) 6.
- Adalékok a neutron elméletéhez.* Magyar Tudományos Akadémia Matematikai és Természettudományi Értesítő 142 (1932) 49.
- Szimmetriaelvek és megmaradási tételek.* Magyar Fizikai Folyóirat 9 (1958) 63.
- A tudomány határai.* Élet és Irodalom 10 (1964)
- Keserű és vigasztaló visszaemlékezés.* Új Európa (München) 17 (1966) 5.
- A tudomány növekedése – ígéret vagy veszedelem?* Magyar Tudomány 75 (1968) 304.
- Az elektronspin.* Magyar Fizikai Folyóirat 56 (1970) 18.
- Wigner Jenő levelei Ortvay Rudolffhoz.* Fizikai Szemle 22 (1972) 45.
- Beszélgetés Wigner Jenővel.* Mérleg (Budapest) 8 (1972) 319.
- Amint én, mint dilettáns filozófus gondolkodtam.* Mérleg (Budapest) 8 (1972) 319.
- Egy jó tanuló a Fasori Gimnáziumból.* Élet és Irodalom 17 (1973) 11.
- Beszélgetés Wigner Jenővel.* Valóság 73/14 (1973) 2.
- Visszaemlékezéseim az iskolára.* Fizikai Szemle 23 (1973)

Emberi korba fogunk lépni. Magyar Hírek (Budapest) 27 (1975) 3, 11.
A szimmetriaelvek ötven esztendeje. Cikkfordítás. Fizikai Szemle 26 (1976) 361.
A szimmetria elvek ötven esztendeje. Előadás. Fizikai Szemle 26 (1977) 281.
A kvantummechanika ismeretelméleti problémái. Fizikai Szemle 27 (1977) 81.
Természettörvény és kezdőállapot. Fizikai Szemle 33 (1983) 441.
Még nincs átfogó elmélet. Fizikai Szemle 38 (1988) 174.
A fizika érdekessége csökkent, mert túl nagyra nőtt. Magyar Tudomány 96/1 (1988)
Azt kellene ünnepelni, hogy milyen jók a magyar iskolák. Fizikai Szemle 38 (1988) 176.
Az ember érzi, hogy még nem tud fontos dolgokat. Fizikai Szemle 38 (1988) 180.
Szilárd Leó. Fizikai Szemle 42 (1992) 406.

Könyvek Wigner Jenőről

J. R. Brink: *Nobel Prize Winners, Physics I–II–III.* Salem Press, Pasadena, 1989.
Andrew Szanton: *The Recollections of E. P. Wigner.* Plenum Press, New York, 1992.
F. S. Wagner: *Wigner Jenő, az atomkor egyik megalapítója.* Studia Physica Savarienses, 1998.
Marx György: *A marslakók érkezése.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 2000.
Kovács László: *Wigner Jenő és tanárai.* Habilitationes Savarienses 7, Szombathely, 2001.
Czeizel Endre: *Magyar Nobel-díjasok családfája.* Galenius, Budapest, 2002.

(A könyvünkben szereplő idézetek ezekből a könyvekből valók.)