

**NYITRAI KONSTANTIN FILOZÓFUS EGYETEM
KÖZÉP-EURÓPAI TANULMÁNYOK KARA
PEDAGÓGUSKÉPZŐ INTÉZET**

„A BIZTONSÁG BIZONYTALANSÁGA”

Nagy magyarok a természettudományban

Témavezető: Mgr. Šoóky Kristián

Iskola neve: Gymnázium J.A. Komenského s VJM – Comenius Gimnázium,
Želiezovce - Zselíz

Goda Nikoletta – Wirth Zsófia

Nyitra 2012

TARTALOM

Bevezetés.....	3
1. Teller Ede élete.....	4
2. Teller Ede munkássága.....	9
2.1 Hidrogénbomba.....	9
2.2 B.E.T. egyenlet.....	14
2.3 Teller-effektus	15
2.4 A jövő: fúziós reaktorok.....	18
Összefoglaló.....	19
Irodalom	20

Bevezetés

Amikor Enrico Fermi Nobel-díjas atomfizikust megkérdezték, hisz-e a földönkívüliekben, így válaszolt: „Már itt vannak közöttünk... magyaroknak hívják őket.” Legendás tudásuk, zseniális fantáziájuk, egymás közt beszélt közös nyelvük miatt amerikai tudós-körökben tréfásan marslakóknak nevezték azt az 50 magyar tudóst, akiknek a XX. század legnagyobb felfedezéseit köszönheti a világ. Amerikai tanulmányok szerint a XX. századot Budapesten készítették elő. Teller Ede is a marslakók közt volt.

Teller magáról azt vallotta, hogy ötéves kora óta csak a számok érdeklik. Az apja mégis ellenezte, hogy matematikus válljon belőle, mert ebből nem lehet megélni. Tehát Teller Edéből vegyészmérnök lett. Aztán pedig mégis a fizikával foglalkozott és feltalálta a hidrogénbombát. Hogyan lett vegyészmérnökből fizikus, hogyan mentette meg a világot a harmadik világháború kirobbanásától és miért lett belőle is marslakó, a munkánkból kiderül.

1. Teller Ede élete

Teller Ede (Budapest, 1908. január 15. – Stanford, Kalifornia, 2003. szeptember 9.) Zsidó származású, magyar-amerikai atomfizikus, aki élete jelentős részét az Amerikai Egyesült Államokban élte le, és sikereit is főként ott érte el. Legismertebb a hidrogénbomba-kutatásokban való aktív részvétele, emiatt mint „a hidrogénbomba atyja” vált közismertté. Bár zsidó családban nőtt fel, később agnosztikussá vált. Teller az Osztrák-Magyar Monarchiában született, Budapesten. Apja Teller Miksa, jónevű ügyvéd volt, anyja, Deutsch Ilona művelt asszony, jól zongorázott, jobban beszélt németül, mint magyarul, és tudott franciául, olaszul és spanyolul. Teller azt vallja magáról, hogy ötéves korától egyetlen dologban volt otthonos: a számokban. Elemi iskolai osztályait magániskolában végezte, majd a budapesti Trefort utcai Gimnáziumban érettségizett.



Kép 1: Teller Ede 1958-ban a Lawrence Livermore National Laboratory igazgatójaként

Teller Edét zsidó származása miatt Magyarországon gimnáziumi évei során számos sérelem érte, mégis szenvedélyes hazafi volt, akinek hazaszeretete nacionalizmusba hajlott, aki szívesen és jól beszélte anyanyelvét, és aki előszeretettel használta a „magyar testvéreim” és a „véreim” kifejezést. 1925-ben beiratkozott a budapesti József Műegyetemre. Bár a matematika érdekelte, apja kívánságának megfelelően vegyész szakon tanult, hasonlóan a néhány évvel idősebb Wigner Jenőhöz és Neumann Jánoshoz. 1926 elejétől Németországban, Karlsruheban folytatta tanulmányait, ahol a kémia oktatást a német vegyipar támogatta. 1928-ban apja is belenyugodott abba, hogy érdeklődése nem a kémiához köti, ezért átment a müncheni egyetemre, a fizika szakra. Itt érte egy villamosbaleset, melynek következtében elvesztette jobb lábfejét. Az év őszén már Lipcsében tanult, ahol Werner Heisenberg volt a professzora. Nála írta meg doktori értekezését *az ionizált hidrogénmolekula gerjesztett*

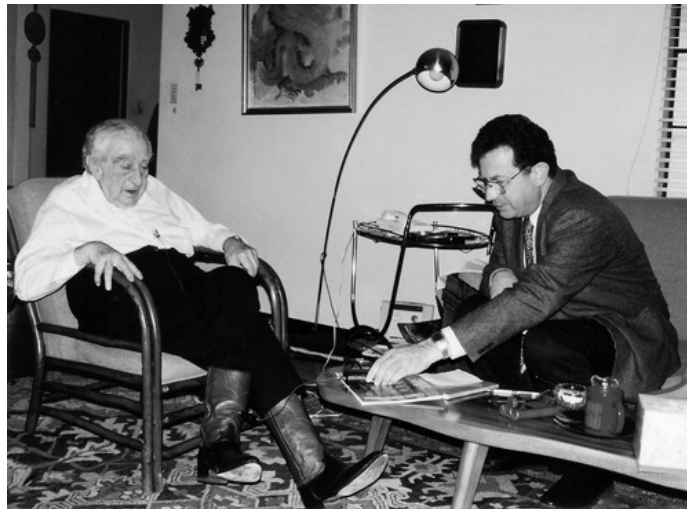
állapotairól címmel, amit 1930-ban védett meg. Heisenberg nagyon mély hatást gyakorolt Tellerre. Hitler uralomra jutása után, 1934-ben először Dániába ment, Niels Bohr kutatócsoportjába. Még ebben az évben házasságot kötött Harkányi Augusztával. Teller 1935 augusztusában érkezett az Egyesült Államokba és 1941-ben az állampolgárságot is megkapta.

Teller egyike volt azoknak, akik azonnal felismerték annak veszélyét, hogy német tudósok 1939-ben felfedezték az atommaghasadást. Az emiatti félelmet erősítette, hogy tudták, a német nukleáris programot maga Heisenberg vezette. Teller részese annak az akciónak, melyben Einsteint rávették egy Rooseveltnél elnöknek szóló figyelmeztető levél írására. Így 1941-ben bekapcsolódott az amerikai Manhattan-tervbe, amelynek célja az atombomba előállítása volt. 1960-ban a Lawrence Sugárzási Laboratórium igazgatója, majd 1963-1966 között tanszékvezető volt. 1962 december 2-án vette át a Fermi-díjat Kennedy elnöktől “a kémiai fizika és magfizika területén elért eredmények a termonukleáris kutatásban játszott vezető szerep és a nemzetbiztonságot erősítő erőfeszítéseinek elismeréseként.” 1970-es években az amerikai kormány nukleáris fegyverkezési tanácsadója lett. Teller ezekben az években szorgalmazta a fúzióenergia-kutatásokat, majd a nyolcvanas években ő kezdeményezte a csillagháború néven ismertté vált rakétaelhárító-rendszer kifejlesztését. A rendszerváltozás után először 1990-ben jött újra szülőhazájába, később évente tett látogatást Magyarországon, rendszeresen rádió- és tv-interjúi, amelyekben sok témakörben fejtette ki karakterisztikus véleményét. A Magyar Tudományos Akadémia 1990-ben választotta tiszteleti tagjává. 1944. április 23-án Göncz Árpád köztársasági elnöktől Magyar Köztársasági Érdemrendet vehetett át. 1944 júliusában Mátraderecskére látogatott, hogy találkozzon az ottani iskolásokkal is. Fát ültetett Mátraderecskén és Balatonfüreden is. A mátraderecskei fa előtt a márványtábla Teller alábbi versének egy részletét idézi:

Keresni, várni, semmit sem akarni,
Szeretni, vágyani, egyedül maradni.
Nézni a világot becsukott szemekkel,
Látni azt, amit még nem látott meg ember
Gyönyörködni titkos, mély harmóniákban,
Emlékezni arra, mit sohasem láttam.
Szeretni, imádni a szent tisztaságot,
A szelet, a felhőt, a havat, az álmot.
Tenni a helyeset, nem kis öröm pénzért,
Nem a túlvilági örök üdvösségért.

Tudni, hogy nincsen cél, tudni, hogy nincs Isten,
félni, hogy talán még igazság sincsen,
tudni: az ész rövid, az akarat gyenge,
hogymint rá vagyok bízva a vak véletlenre.
És makacs reménnyel mégis, mégis hinni,
hogymint amit csinállok, az nem lehetetlen semmi.
És örülni, tudni a nagy megnyugvásnak,
A fájdalmat, örömet gyógyító halálnak.

1997-ben megkapta az akkor elsőként kiosztott Magyarság Hírnevéért kitüntetést. Az Orbán-kormány idején az első Corvin-lánc birtokosok egyike lett. 2002-ben elvállalta a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem nemzetközi tanácsadó testületének tiszteletbeli elnöki tisztét. 2003 július 23-án George W. Bush amerikai elnök a legmagasabb amerikai polgári kitüntetést, az Elnöki Szabadságéremrendet adományozta neki. Teller Edét, akit az egész világ a hidrogénbomba atyjának tekint, 2003 szeptember 10-én életének 95. évében elhunyt Stanfordban, Kaliforniában.¹



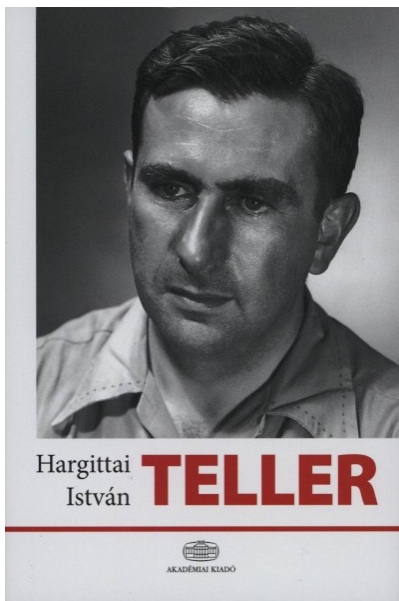
Kép 2: Teller Ede és Hargittai István 1996-ban Stanfordban

„Óvakodjatok Werner von Brauntól és Teller Edétől!”- mondta egyszer Eisenhower amerikai elnök. A tudós elszántan dolgozott pusztító találmányain, befolyását felhasználva megakadályozta a tesztrobbantások betiltását, kökeményen támadta azokat a tudósokat, akik az atomszennyeződés súlyos kockázataira figyelmeztettek. Mások azonban a tíz legismertebb

¹ <http://www.magyarvagyon.com/kultura/hiressegek/tudosok-feltalalok/495-Teller-Ede.html>

magyar származású tudós egyikét látják benne, a legzseniálisabb koponyaként tartják számon.²

Hargittai István Széchenyi-díjas kémikus és tudománytörténész a 20. századi tudósportré-könyveinek sorozatában szentelt már egy kötetet az amerikai szellemtörténetben és a katonai-műszaki tudományban meghatározó szerepet játszott öt magyar „marslakónak”, Kármán Tódornak, Wigner Jenőnek, Szilárd Leónak, Neumann Jánosnak és Teller Edének, ám utóbbi ellentmondásos egyénisége egy önálló életrajzi műre is ihlette.³



Kép 3: Hargittai I. Teller című könyve

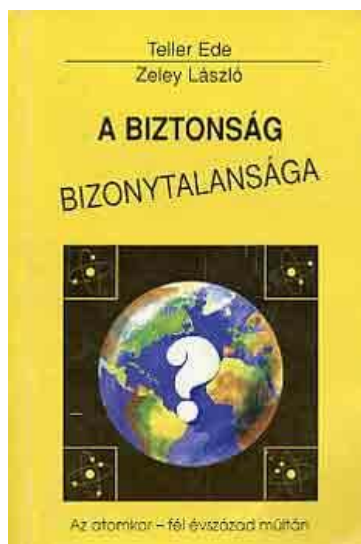


Kép 4: Az öt világformáló marslakó

Teller Ede és Zeley László 1991-ben adták ki *A biztonság bizonytalansága* című közös könyvüket, Budapesten.

² http://www.hetek.hu/hatter/200908/teller_ede_aki_mindig_ezer_lepessel_elobbre_jart

³ <http://uj szo.com/napilap/tudomany/2011/02/14/teller-ede-hos-volt-vagy-intrikus>



Kép 5: A biztonság bizonytalansága

Idézetek Teller Edétől:

„A tudásnak elvi határai nincsenek, és annak nem is szabad korlátokat szabni.“

„A tudomány, a technológia – ezt világosan és erősen akarom mondani – nem old meg minden problémát. De tudomány és technológia nélkül semmiféle problémát nem lehet megoldani.“

„Amit nem értünk, azt véletlennek nevezzük.“

„Ne félj, van fejed és van szíved. Ne félj. Én hiszek a fejemben és hiszek a szívemben, és hiszem, hogy együtt tudnak működni.“

„Az olyan ember, aki nem ért a számítógéphez, a XXI. században analfabétának fog számítani.“⁴

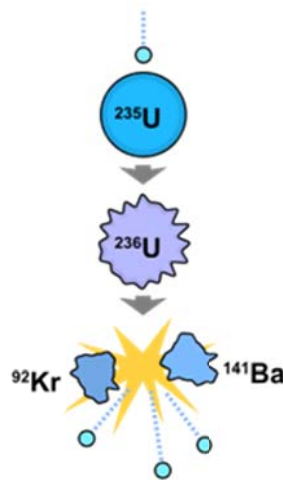
#

⁴ http://www.citatum.hu/szerzo/Teller_Ede

2. Teller Ede munkássága

2.1 Hidrogénbomba

Niels Bohr 1939-ben viszi a hírt Amerikába, hogy a berlini Vilmos Császár Intézetben felfedezték a maghasadást. Idézet Teller Edétől egy rádióbeszélgetés során: „1939 nyarán egyik konferenciánkra Gamow meghívta Niels Bohrt. Ő hozta a nagy újságot, a maghasadás felfedezését. Meglett a magyarázat, hogy amikor Fermi az uránt bombázta neutronokkal, miért talált olyan sokféle radioaktivitást: ő nem nehezebb elemeket épített föl, hanem az uránmag elhasadt, és sokféleképpen tudott kettéhasadni, általában nem egészen egyenlő darabokra. Mindegyik hasadványnak másféle radioaktivitása volt. ”

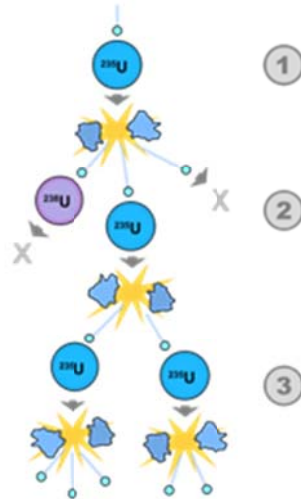


Kép 6: Gerjesztett maghasadás-egy lassított neutron egy urán-235 atommag hasadását okozza, melynek során két könnyebb mag és három szabad neutron keletkezik

Ettől fogva csak idő kérdése volt, hogy megvalósuljon a nukleáris láncreakció, ami Szilárd Leó rögeszméje volt. Senki sem hitt neki korábban, még a neves Rutherford is holdkórosnak tartotta, ezért a láncreakció általa leírt fizikai folyamatára titkosított szabadalmat kért és kapott a brit Admiraltástól 1934-ben.⁵ Teller így emlékszik rá: „Szilárd ezzel kezdte: „Amikor az uránmag elhasadt, talán egy neutron is kiszabadult, talán kettő. Ha elég neutron szabadul ki, akkor ezek a neutronok újabb uránatommagba mennek, és még több neutron szabadítanak föl. Ilyen módon láncreakció jöhet létre. Egy neutronból kettő, kettőből négy, négyből nyolc- ismételd a duplázódást tízszer, és máris ezernél járunk. Ismételd ötvenszer, és az egész urántömb elhasadt! Rövid idő alatt annyi energiát szabadíthat föl, hogy milliószor erősebb robbanást okoz, mint azt kémiai robbanószer produkálhatná.” De ez volt az, amit Szilárd már régen tervezett. És most az urán hasadásában látta, hogy ez

⁵ Bödök Zsigmond: Nobel-díjas magyarok, Wigner Jenő 45-46., NAP Dunaszerdahely 2003

megvalósulhat. A kérdés az, vajon a hasadó mag valóban további neutronokat hoz-e létre. Néhány héttel később Szilárd hívott telefonon. Magyarul beszélt és csak annyit mondott: „Megtaláltam a neutronokat!” Már akkor sejtettem, hogy nem játszadózhatom tovább elméletekkel.”



Kép 7: Láncreakció - egy magreakció terméke újabb magreakciót vált ki

A fizikusok felismerték, hogy a láncreakcióval keletkezett hatalmas energia iszonyú pusztításra lesz képes, és a lehetőség hogy esetleg Hitler kezébe kerüljön ez a veszedelmes fegyver, megfélemlített mindenkit és határozott cselekvésre ösztönözte a tudósokat. Küzdelem kezdődött a láncreakció megvalósításának elsőségéért. Hogy azt végül is először Amerikában sikerül beindítani és a reaktorokban ellenőrzötten működtetni, jelentős mértékben a magyar emigráns tudósoknak is köszönhető: Szilárd Leónak, Teller Edének és Wigner Jenőnek. A helyzet azonban nem volt ilyen egyszerű. Amit a fizikusok előre láttak, arról a politikusoknak halvány fogalmuk sem volt.

1939-ben Németország és a Szovjetunió elfoglalta Lengyelországot. Szilárd Leó és Wigner Jenő felkereste Albert Einsteint, aki a relativitás elméletének megalkotásával Amerika egyik legismertebb tudósának számított, és felkérték írjon levelet Roosevelt elnöknek, miszerint ebben az aggasztó helyzetben az amerikai kormány tegye meg a szükséges intézkedéseket. Ezt a levelet végül Szilárd Leó írja meg és Teller Ede viszi el őt Einsteinhez, aki 1939. Augusztus 2-án aláírja a levelet, egy hónappal a világháború kitörése előtt. A levélhez Szilárd Leó még egy memorandumot is csatolt saját nevével, amelyben a láncreakció fizikai folyamatát és katonai alkalmazhatóságának lehetőségét írja le. Amikor Németország megtámadta Lengyelországot, Roosevelt elnök utasítást ad az atomenergia-program beindítására. Beindult a *Manhattan-project* fedőnevű titkos kutatási program a nukleáris

láncreakció⁶ megvalósításáért. Centruma Los Alamos lett. A projekt vezetője Robert Oppenheimer lett. A plutónium előállítását Hanfordban történt. Oak Ridge-ben urándúsító üzem hoztak létre. Rooseveltt létrehozta az Uránium Bizottságot, amelybe a katonákon kívül Enrico Fermi, Szilárd Leó, Teller Edét és Wigner Jenőt nevezi ki.

Még javában tart a háború és az atomenergia fenevadja is békésen szunnyad atomban zárt ketrecében, amikor Teller már atomok egyesítésével kezd el foglalkozni. A láncreakció és az atombomba megvalósítása azonban sürgetőbb feladat, ezért Los Alamosban Teller kutatásait Oppenheimer leállítattja. Az új-mexikói Alamogordo mellett 1945. július 16-án robbantották fel az első atombombát. Ez plutónium bomba volt, és azért döntöttek a kísérleti robbantás mellett, mert a plutónium felrobbantásának sikeressége kevésbé volt biztos, mint az uránbomba egyszerűbb technikája. „Élménybeszámoló” Teller Edétől, egy mára már történelemmé vált pillanatról, az első atomrobbantásról:

„1945. július 16-án, a kora reggeli órákban magam is tagja voltam annak a csoportnak, amely megfigyelhette a világ első atombombájának felrobbantását. Megfigyelőállomásunk mintegy 20 mérföldnyire volt az alamogordói kísérleti teleptől. Azt mondták nekünk, hogy feküdjünk le a homokba, fordítsuk el az arcunkat a robbanástól, és temessük fejünket a karjaink alá. Senki nem volt hajlandó erre. El voltunk szánva, hogy szembe nézünk a szörnyeteggel. Minthogy régi szokásom, hogy számolok a lehetetlennel is, ezúttal is óvatos voltam. A hegesztők védőszemüvegén kívül, amivel elláttak bennünket, még egy sötét szemüveget tettem fel. Arcomat bekentem napolajjal és a többieknek is adtam belőle. Vastag kesztyűt húztam, és két kezemmel erősen arcomhoz szorítottam a védőszemüveget, kezeim így oldalról is védelmet nyújtottak. A kísérletet egy sivatagi zápor miatt 90 perccel el kellett halasztani, 5 óra 30 percre tűzték ki újra. Húsz perccel korábban megfigyelőállomásunkat összekötötték a központi ellenőrző állomással. Megkezdődött a visszafelé számolás: ’ Mínusz 20 perc, 19, 18, 17... mínusz 30 másodperc, 25, 20, 15.’ Tíz másodperctől kezdve már másodpercenként számoltunk: ’ kilenc... nyolc... hét... hat... öt...’ Azután csönd lett. Ez az öt másodpercnyi csend olyan hosszúvá nyúlt, hogy már azt hittem, nem sikerült a robbantás. Már- már le akartam venni a védőszemüvegeimet. De azután az üvegen át láttam egy piciny, gombostűfejnyi fényt. Csalódott voltam: ’ Ennyi lenne az egész? Ezért dolgoztunk ilyen keményen?’ Egy pillanattal később eszembe jutott, hogy két réteg sötét üveg van a szemem előtt. A gombostűfejnyi fény megnőtt, aztán elhalványodott. Jobb kezemet elhúztam az arcom elöl, hogy a fény jobban behatolhasson az üveg mögé. Olyan volt, mint amikor sötét szobában

⁶ Bödök Zsigmond, i.m., 46.

elhúzzák a nehéz függönyöket és beáramlik a napsugár nyalábja. most már nem éreztem csekélységnek.

Egy perc múlva érkezett hozzánk a robbanás hangja és a légnyomás hulláma is. William H. Lawrence, az ismert és képzett tudományos riporter ijedten kérdezte: 'Mi volt ez?' Levettem mindkét sötét szemüvegemet, hogy megfigyelhessem a robbanás jellegzetes gombaszerű felhőjét, amint felszáll az atmoszférába, megtorpan egy levegőrétegnél, majd tovább emelkedik felfelé. Amikor a felhő már 40 000 lábnyira magasodott felettünk, visszagyalogoltunk az autóbuszunkhoz. Valamennyien tudatában voltunk annak, hogy a következő atomrobbantás már nem kísérlet lesz. A sivatagi szelek, amelyek különböző magasságokban és eltérő irányban fújnak, a gomba alakú felhőt óriási kérdőjellé alakították át.”

Az atombomba 1945-ös hirosimai és nagaszaki bevetését követő általános döbbenet légkörében légkörében, morális okokból igen sok atomfizikus hátat fordított a fegyverekkel kapcsolatos munkáknak, és elhagyták Los Alamost.

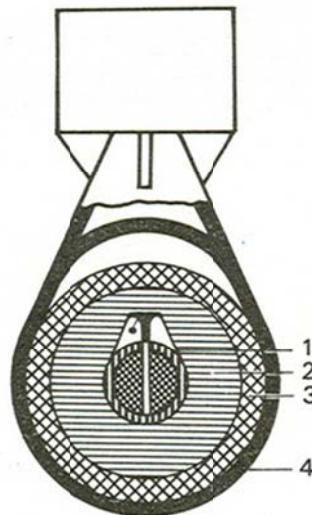
A termonukleáris fúzió további kutatására sem volt meg a politikai akarat. A helyzet akkor változott meg alapvetően, amikor 1949-ben a Szovjetunió végrehajtotta első kísérleti atomrobbantását egy kazahsztáni kísérleti telepen. Az RDSZ-1 (*amerikai kódneve: Joe-1*) bomba a *Fat Man* másolata volt, a terveket szovjet, illetve velük együttműködő amerikai kémek juttatták el a Szovjetunióknak. Ezzel megindult a hidegháborús fegyverkezési verseny.⁷ Truman elnök ezek után elrendeli a termonukleáris kutatások folytatását és a hidrogénbomba kifejlesztését. Los Alamosban immáron Teller Ede vezetésével indul meg újra a kutatómunka. Kezdetben a feltételek azonban összehasonlíthatatlanul rosszabbak voltak a korábbiaknál, ugyanis a második világháború idején együttműködő nagyszerű fizikusokból álló csapat szétszéledt és új emberekből kellett összeállítani a kutatócsoportot.

Gamow és Teller munkásságának eredményeként elméletileg már tudott dolog volt, hogy ha két könnyű atommag egyesül egy nagyobb atommaggá, igen nagy mennyiségű energia szabadul fel. Az ún. magfúzió természetesen nem emberi találmány: hosszú milliárd évek óta a világegyetem legfőbb energiaforrása. A csillagok, így a Nap központjában adottak azok a feltételek (nagy nyomás, magas hőmérséklet), amelyek között az ilyen típusú magreakciók végbemennek és energiát termelnek. A magas hőmérsékletre és a nagy nyomásra pedig azért van szükség, mert az ütköző atommagok csak így tudják legyőzni a közöttük fellépő elektromos taszítóerőt. A Földön egyetlen ilyen hely van, ahol ilyen

⁷ http://hu.wikipedia.org/wiki/Nukle%C3%A1ris_fegyver

viszonyok előfordulnak, és pedig az atomrobbanás közvetlen közelében. Stanislaw Ulam azt javasolta, hogy az atombomba mechanikus lökeshullámát használják fel a fúziós töltet sűrítésére és a robbanás létrehozására. Teller inkább az atombomba robbanásából származó sugárzást ajánlotta a sűrítéshez és a fúziós folyamat beindításához. E két elgondolásból ötvöződött megoldás, a kétfokozatú berobbantás Teller-Ulam konfigurációként ismeretes, s ennek alapján valósult meg a hidrogénbomba.

A hidrogénbombát (vagy ahogyan nevezik, a H-bombát) úgy készítik, hogy az atombombát alacsony rendszámú anyag rétegével veszik körül, és amikor az atombomba felrobban, teljesülnek azok a feltételek, amelyek a könnyű atommagok egyesüléséhez, és ezáltal a még nagyobb nukleáris fúziós energia felszabadításához szükségesek. Ez a reakció, melynek megvalósítását elsősorban hadászati szempontok ösztönözték, óriási távlatokat nyit az emberiség energiaellátása szempontjából.



Kép 8: A hidrogénbomba elvi felépítése

- 1 - indító (egyfázisú) atombomba
- 2 - fúziós anyag (deutérium, trícium)
- 3 - 238-as tömegszámú uránból készült külső köpeny
- 4 - külső bombaköpeny

A Los Alamosban létrehozott első robbanótöltettel a Greenhouse fedőnevű akcióban 1951. májusában hajtották végre az első kísérleti atomrobbantást a Csendes-óceán Enwitok szigetén. A kísérlet sikerült. Az emberek ellopták a tüzet az égből. Ettől a dátumtól a tengerészeti térképeken egy szigetet már sohasem rajzolnak be többé, mert eltűnt, viszont

ettől a dátumtól számíthatjuk az emberiség atomkorszakba lépését. Olyan hatalom került az ember kezébe, amellyel elpusztíthatja, de fel is emelheti önmagát.⁸



Kép 9: Az első sikeres kísérlet Enwitok szigetén

2.2 B.E.T. egyenlet

Teller Edét az egész világ a hidrogénbomba atyjának tekinti, azonban számos fizikai-kémiai felfedezés is fűződik a nevéhez. Ilyen például a B.E.T.- Brunauer - Emmett - Teller egyenlet. Brunauer, Emmett és Teller (BET) számos modellt fejlesztettek ki a gázok szilárd felületen történő adszorpciójára (felületi elnyelésére). A modellek többrétegű homogén felületekre voltak érvényesek. A feltevések alátámasztották a következő BET izotermiákat:

- A gázok sima, egyenletes szilárd felületen történő adszorpciója során a gáz és a szilárd felület közötti van der Waals erők hatására egyenletes hőmérséklet keletkezik.
- Az adszorpcióban részt vevő molekulák között más kölcsönhatás nem jön létre.
- Miután a szilárd felületet részben beborították az adszorpcióban részt vevő gázmolekulák, a fennmaradó gáz egyaránt képes elnyelődni a maradék szabad felületen.

$$q = \frac{q_m K_b C}{[C_s - C] \{1 + [K_b - 1][C/C_s]\}}$$

Kép 10: A B.E.T. egyenlet

⁸ Bődök Zsigmond, i.m., 104-105

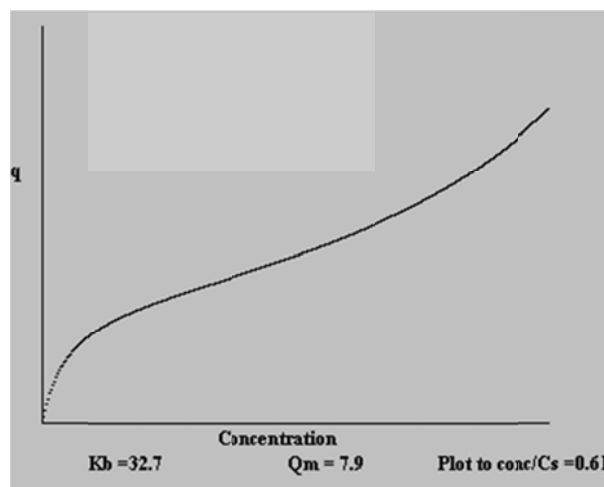
A jelek jelentései:

- C_a : a réteget ellepő gáz sűrűsége (koncentrációja)
- K_b : adszorpciós tényező
- q_m : maximális terhelés

A kísérletekből a következőket lehet levonni:

- Az adszorpcióban részt vevő molekulák akadályoztatva lesznek.
- Az adszorpció energiája minden rétegben megegyezik az első réteg energiájával.
- Újabb rétegek keletkezhetnek, mielőtt egy másik elkészülne.

Fontos megjegyezni, hogy számos ritka adszorpciós izotermia is jól illeszkedik a BET egyenlethez.⁹



Kép 11: A B.E.T. egyenlettel kiszámított adszorpciós görbe

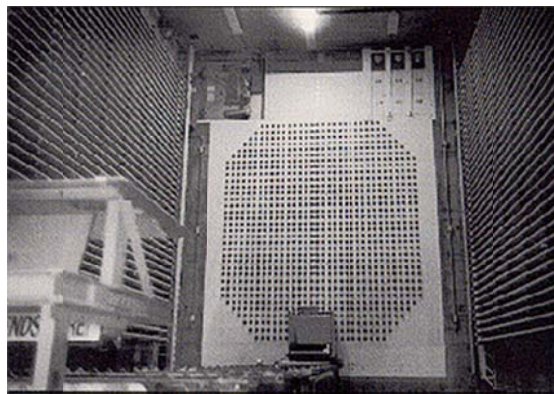
2.3 Teller-effektus

1944. szeptember 26-án indult el az első nagyobb teljesítményű, plutónium termelésére alkalmas reaktor, Hanfordban. Itt a hűtésről is gondoskodni kellett. A reaktort a zónán keresztül 5 m³/sec térfogatárammal átfolyó víz hűtötte. A moderátor - a neutronokat lassító anyag - szerepét természetesen grafit játszotta. A grafit tömege 1200 tonna volt. A reaktorban 200 tonna fémurán hasadóanyag volt a töltet. A reaktor MW teljesítményen üzemelt és körülbelül egy hónap alatt 6 kg plutóniumot termelt.

Az első hanfordi plutóniumtermelő reaktor indításakor találkoztak a kutatók először a xenonlengés folyamatával. Ez első indítás után néhány órával váratlanul magától leállt a reaktor. Másnap beavatkozás nélkül újraindult, majd néhány óra után újra leállt. A váratlan viselkedés komoly fejtörést okozott a kutatóknak, de Wheeler megtalálta a magyarázatot. A

⁹ <http://www.feltalaloink.hu/tudosok/tellerede/html/teledetal1.htm>

hasadások során viszonylag nagy hozammal keletkezik a ^{135}I izotóp. Amikor tehát a reaktort beindítják, egyenletes ütemben ^{135}I izotópok keletkeznek. Mivel a ^{135}I több órás felezési idővel bomlik ^{135}Xe -ná, néhány óra alatt felhalmozódik a reaktorban. Ekkor azonban már gyors ütemben termelődik a ^{135}Xe is. Ha nem avatkoznak közbe, akkor a ^{135}Xe magok felhabzsolják a neutronok egy részét, aminek következtében leáll a reaktor. Ha beavatkozással megakadályozzák a reaktor leállítását, akkor kintebb kell húzni a szabályozó rudakat, hogy a reaktor a felhalmozódott ^{135}Xe magokkal együtt is kritikus maradjon. Minél kisebb teljesítményen üzemel egy reaktor, a lengés mértéke annál jelentősebb.



Kép 12: A Hanford-N reaktor zónája

A második világháború után létrehozták az USA-ban a Reaktorbiztonsági Bizottságot, amelynek Teller Ede lett az első elnöke. Teller a következő biztonsági filozófiát követte: a nem nukleáris iparban bevett szokás, hogy az új technológiákat nagyon gyorsan alkalmazzák. A működés közben felmerülő problémákat aztán "menet közben" kivizsgálják, orvosolják. Teller szerint ez a gyakorlat a nukleáris iparban nem követhető, tekintettel arra, hogy nagyobb radioaktivitás kibocsátással járó baleset túl nagy kockázatot jelent. A Reaktorbiztonsági Tanács ennek értelmében már az engedélyezésre benyújtott reaktorterveknél megvizsgálta a lehetséges legsúlyosabb baleset következményeit, és több konstrukciót visszautasítottak még azok megépülése előtt. Épp ezért szakmai körökben Telleréket a "reaktorellenzők" gúnynévvel illették. Sőt ennél is tovább mentek. Megvizsgálták a már működő hanfordi plutóniumtermelő reaktorokat, és súlyos biztonsági problémákat fedeztek fel.

A grafit moderálású és vízhűtésű reaktorok üregtényezője pozitív - állapították meg Tellerék. Ez azt jelenti, hogy amennyiben elforr a hűtőközeg egy része, az növeli a rendszer reaktivitását - ami olyan, mintha kintebb húzták volna a szabályozó-rudakat. Vagyis ha egy véletlen ingadozás során túlhevül a reaktor egy része és elforr a víz, a reaktivitás automatikusan megnő, ami a reaktor továbbhevülését okozza. A két egymást