

Szilárd Leó, és az első atommáglyához vezető út



Szilárd Leó

Született: Budapest
1898. február 11.

Meghalt: La Jolla (Kalifornia)
1964. május 30.

Dr. Sükösd Csaba
BME Nukleáris Technika Tanszék

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

1

Tartalom

1. Szilárd Leó életének főbb állomásai
2. A nukleáris kutatások hőskora és az első atommáglyához vezető út
3. A láncreakció és néhány sajátossága
4. A chicagói atommáglya
5. Szilárd Leó Tízparancsolata

2012. február 16.

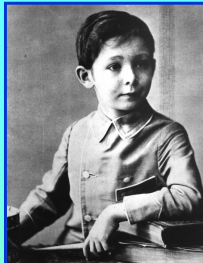
Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

2

1898. február 11.-én Budapesten született



Gyermekezeit a
Városligeti fasor 33. sz.
alatti házban töltötte



- 1916 A budapesti Reáliskolában érettségizett
- Beiratkozott **vegyésszmérnöknek a BME-re**
- 1917 Behívták katonának, a frontra küldték
- 1918 Betegség miatt leszerelték
- 1919 Folytatta tanulmányait a BME-n
- Lelkesedett a Tanácsköztársaságért
- Annak bukása után megverték,
- elhagyta Magyarországot**

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út



NÉMETORSZÁGI ÉVEK

- 1920. Berlinben tanul
Einstein, Planck, von Laue előadásait hallgatja
- 1922. Doktori fokozatot szerez
(disszertáció: Fenomenologikus termodinamika)
- 1924-27 Asszisztens a Berlini Egyetem Elméleti
Fizika Intézetében
- 1927. A Berlini Egyetem docense lesz (Privatdozent)



Szilárd 1926-ban

SZABADALMAK és TUDOMÁNYOS FELFEDEZÉSEK

- 1927-34 Einsteinnel közös szabadalmuk az **Einstein-Szilárd pumpa**
- 1928. **Lineáris gyorsító** (németországi szabadalom)
- 1929. Szabadalom a **ciklotronra** (németországi szabadalom)
- Cikk: "On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings,"
- Egységnyi információ entrópiája = $k \cdot \ln 2$. **A „bit” fogalma**
- 1931. Szabadalom az **elektron-mikroszkópra**
- Elkészül az első működő **Einstein-Szilárd hűtőgép** (AEG)
- 1933. március 31. **Az utolsó vonattal** Londonba utazik.

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

4

LONDONI ÉVEK

1933. szept. 12: Times: Rutherford előadása.
A **láncreakció** ötlete

1934. március 12. Első szabadalmi kérvénye
a **neutronos láncreakcióra**

Rutherford nem engedi a Cavendish
laboratóriumba.

St. Bartholomew's Hospitalban kezd
kísérletezni. Keresi a megfelelő elemet.

Felfedezi a **Szilárd-Chalmers reakciót**

1936. A láncreakció szabadalmát a British Admiraltáshoz
adja be **titkosítást** kérve.

Nem sikerül meggyőznie E. Fermi és N. Bohr-t, hogy a
láncreakció megvalósítható. Pedig ha igen, akkor a
kutatásokat ellenőrizni kellene!

1937. James Tuck-al **betatron** tervez (elektrongyorsító)

1938. „**Egy évvel távozásom után Hitler háborút indít**” –
mondta, és áttelepült az USA-ba 1938-ban...

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

5



London, Southhampton Row

A VILÁGHÁBORÚS ÉVEK (USA)

1939. A hasadás felfedezése után azonnal átlátja, hogy **uránnal**
mehet a láncreakció

Megtalálja a neutronokat (W. Zinn-el közösen)

Megkísérli **titkosítani** az összes nyugati ilyen irányú
kutatási eredményt **HIÁBA!**

Elindul a verseny az atombombáért.

E. Fermivel urán-víz rendszert vizsgálnak.

Szilárd **urán-grafit** rendszert javasol

A **heterogén** atomreaktor ötlete is Szilárdtól származik.

1939. aug. 2.

Wigner Jenővel (és Teller
Edével) rábírák Einsteint a
híres levél megírására

F. D. Rooseveltnak



2012. február 16.

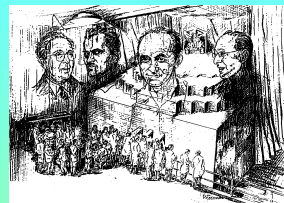
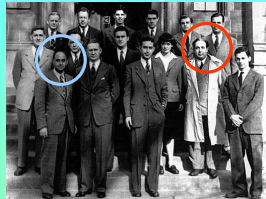
Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

6

A VILÁGHÁBORÚS ÉVEK (USA) (folyt.)

1940. E. Fermivel bebizonyítják, hogy U-grafit rendszerben
fenntartható a láncreakció

1942. dec. 2. **Chicago, első önfenntartó láncreakció**
„Metallurgical Laboratory”



Szilárd, Compton, Fermi, Wigner

1943. Reaktor-tanácsadó

Grafit sugárkárosodásának megjósolása
(későbbi „wigneritisz”, 1957 Windscale baleset)

1944. Javasolja a „**breeder**” elnevezést olyan reaktorra, amely
több hasadóanyagot termel, mint amennyit elhasznál

1945. Többször is megpróbálja a **bomba bevetését megakadályozni**
Groves tábornok még kémügyet is próbál ellene indítani

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

7

A HIDEGHÁBORÚS ÉVEK (USA)

1946-tól Két irányú tevékenység:

- „**Az emberiség lelkiismerete**”

Pugwash mozgalom aktivistája

levelek Sztálinnak,

találkozás Hruscsovval, Kennedyvel

„**forró drót**”. Atoms for Peace Award (1960)

1950. Nyilvánosan ellenzi a H-bomba
fejlesztését

- **Biofizika**

Prof. of Biophysics Univ. of Chicago,

majd saját labor a Chicagói Egyetemen,

végül Salk Institute La Jolla, California (1963)

1959-ben **hólyagrákot** diagnosztizálnak nála

Megtervezi saját **sugárkezelését**, teljesen kigyógyul.

Cikkek: „Az idősödés biológiája”,

„A memória molekuláris alapjai”

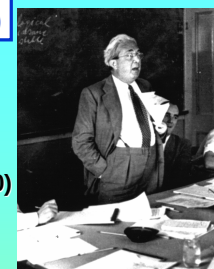
1964. május 30. Álmában meghal, szívroham következtében.

A boncolás kimutatja, hogy a hólyagrákja teljesen gyógyult.

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

8



Út a chicagói atommáglyáig

A 19. század végére felépült a „tudomány kastélya”
 Kémia (alkímia): **elemek állandósága**
 atom- molekula hipotézis,
 Avogadro-szám

$C + O_2 = CO_2$
 Energia $\sim 10^{18} \text{ J}$

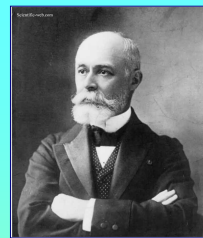
Fizika: hőtan, (ipari forradalom),
 Energia megmaradása



2012. február 16. Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

9

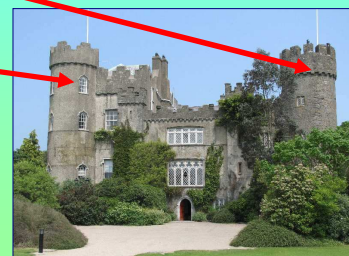
1896: Henri Becquerel: Radioaktivitás felfedezése



Az urán külső forrás nélkül folyamatosan energiát ad le (kb milliószor akkorát, mint a szén égése!)
 Energia - megmaradás?

Az urán bomlásakor hélium, tórium és más elemek is keletkeznek
 Elemek állandósága?

Egyszerre két erős bástyát rombolt le!

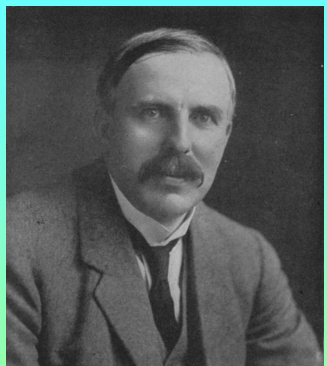
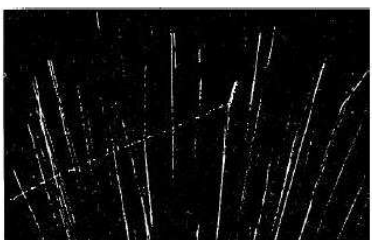
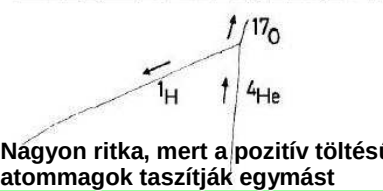


2012. február 16. Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

10

Ernest Rutherford

1911: Atommag felfedezése 1919: Mesterséges magreakció

Nagyon ritka, mert a pozitív töltésű atommagok taszítják egymást

2012. február 16. Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

11

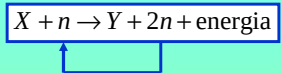
1932: Neutron felfedezése (James Chadwick) 80 éve!

Neutronok: elektromosan semlegesek
 Nincs elektrosztatikus tasztítás, de van **vonzó magerő**
 könnyen behatol az atommagba, magátalakulást okoz.



1933: Lassú neutronok hatékonyabbak (Enrico Fermi)

1933: Szilárd Leó
 A láncreakció ötlete: $X + n \rightarrow Y + 2n + \text{energia}$



Több évig kereste, hogy milyen anyag lehet az X

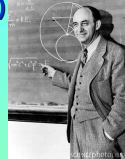
1939: Maghasadás (Otto Hahn, Friedrich Strassmann)

$^{235}\text{U} + n \rightarrow Y_1 + Y_2 + 2,4 \cdot n + \text{energia}$

$^{238}\text{U} + n \rightarrow ^{239}\text{U} \xrightarrow{\beta\text{-bomlás}} ^{239}\text{Np} \xrightarrow{\beta\text{-bomlás}} ^{239}\text{Pu}$

Az ^{238}U jelenléte miatt természetes uránban csak lassú neutronokkal valószínűsíthető a láncreakció!

0,71% U_{nat}
 99,29% U_{nat}



2012. február 16. Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

12

Láncreakció neutronokkal

„Neutron-háztartás”

Mi történhet egy neutronnal?

- Kiszökik a reaktorból
- Elnyelődik
- Maghasadást okoz

Neutron „generációk”

$N_1, N_2, N_3, \dots, N_i, N_{i+1}, \dots$

N_i az i -edik generációban **maghasadást okozó** neutronok száma

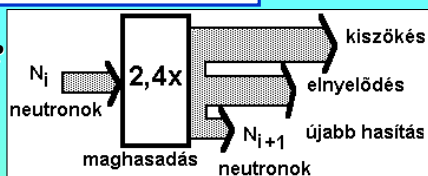
Neutron sokszorozási tényező: $k_{eff} = \frac{N_{i+1}}{N_i}$ (definíció)

Ha $\begin{cases} k_{eff} < 1, & \text{a láncreakció csökkenő („szubkritikus”)} \\ k_{eff} = 1, & \text{a láncreakció stacionárius („kritikus”)} \\ k_{eff} > 1, & \text{a láncreakció növekvő („szuperkritikus”)} \end{cases}$

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

13



A láncreakció időbeli lefolyása

Két neutron-generáció között eltelt idő: $\Delta t = \ell$ (generációs idő)

Viszonylag egyszerű számolással:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{\left(\frac{k_{eff}-1}{\ell}\right)t}$$

A változás gyorsaságát a kitevőben lévő kifejezés adja meg

Prompt (azonnali) neutronoknál a generációs idő $\ell \sim 10^{-4}$ s

Nem szabályozható!

pl. ha $k_{eff} = 1,001$, akkor 1 s alatt ~24000-szeresre nő a teljesítmény

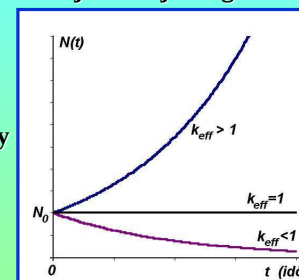
Késő neutronok: töredékmagok

β bomlása után lépnek ki.

Megnövelik a generációs időt.

Kevés van belőlük! ~0,64%

Reaktor indítható, ha $1 < k_{eff} < 1,006$

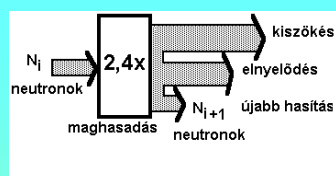


2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

14

Láncreakció megvalósításának lehetőségei



(a felületen történik)

(pl. ^{238}U csak elnyel, nem hasad)

$$k_{eff} = \frac{N_{i+1}}{N_i}$$

Növelni kell az „újabb hasítás” részarányát.

Ennek több módja van

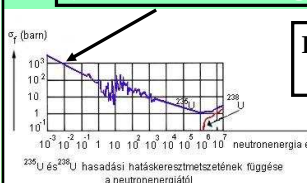
Neutronok lelassítása
(hasadás valószínűsége nő)

Kiszökés arányának csökkentése

Elnyelődés arányának csökkentése

$^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ arányának növelése (dúsítás)

Nagy méret
(felület/térfogat) arány csökken
Kritikus tömeg



15

Neutron-lassításra olyan anyag jó, amelynek

- **tömegszáma kicsi** (egy ütközésben sok energiát tud átvenni),
- **jól szórja** a neutronokat (a neutronok szívesen ütköznek vele)
- **nem nyeli el** a neutronokat

Az ilyen anyag neve: **moderátor**.

Legjobb moderátor a **nehésvíz** és a tiszta **grafit** (szén)

(A **könnyűvíz**ben a hidrogén el is nyeli a neutronokat, nemcsak lassítja)

Az önfenn tartó láncreakció megvalósíthatósága

Üzemanyag (dúsítás)	Neutronlassító (moderátor)
Természetes urán (0,71% ^{235}U)	Nhésvíz, tiszta grafit
3-5%-ra dúsított urán	Könnyűvíz
>40%-ra dúsított urán (>90%)	Nem kell moderátor (atomfegyver)

Fontos megjegyezni: a moderátor SEGÍTI a láncreakciót!

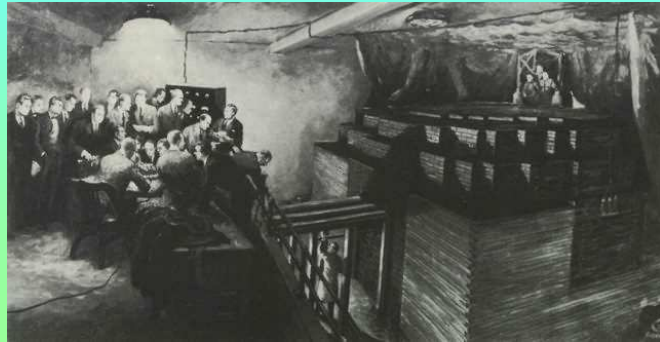
2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya megalkotásához vezető út

16

1942. dec. 2. Első atommáglya (Chicago)
(Enrico Fermi, Szilárd Leó, Wigner Jenő, ...)

Üzemanyag: természetes urán (fém gömbök)
Moderátor: tiszta grafit
Szabályozó elemek: kadmium lemezek
Hűtőközeg: nincs (max. teljesítmény 2 W)



17

Hogyan lehet megközelíteni a kritikus állapotot?
(Csak „kicsivel” szabad túllépni, nehogy prompt-kritikus legyen!)

Kiindulás: $k_{eff} = \frac{N_{i+1}}{N_i}$

Ebből: $N_{i+1} = k_{eff} \cdot N_i$ akkor, ha **csak** n -sokszorozás van!

Tegyünk be egy neutronforrást is, amelynek intenzitása olyan, hogy S neutront bocsát ki egy generációs idő alatt!

Ekkor: $N_{i+1} = S + k_{eff} \cdot N_i$
forrásból előző generációból

Amíg $k_{eff} < 1$ előbb-utóbb **egyensúly áll be**, azaz $N_{i+1} = N_i = N_{egy}$

azaz $N_{egy} = S + k_{eff} \cdot N_{egy}$ amiből

Ezzel k_{eff} mérhetővé válik!!

$$N_{egy} = \frac{S}{1 - k_{eff}}$$

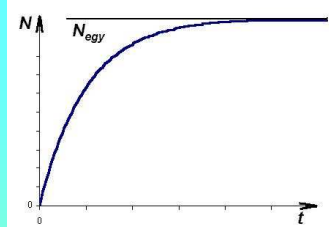
2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

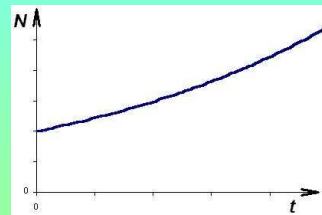
18

Amíg $k_{eff} < 1$
egyensúly áll be:

$$N_{egy} = \frac{S}{1 - k_{eff}}$$



Amikor túlléptünk a
kritikus állapoton,
exponenciális növekedés
indul be:
„exponenciális kísérlet”



2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

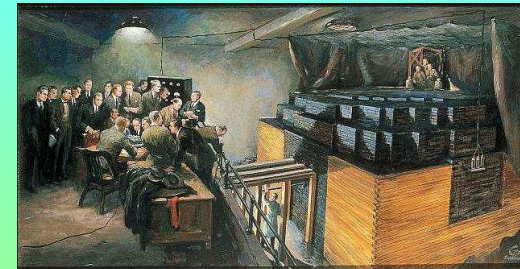
19

1942. dec. 2. (Decemberben lesz 70 éve!)

„Az olasz kormányos szerencsésen
megérkezett az Új Világba.

A bennszülöttek barátságosak”

(Rejtjelezett távirat a Fehér Házba)



2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

20

Szilárd Leó Tízparancsolata

1. Ismerd fel a dolgok összefüggéseit és az emberek cselekedeteinek törvényeit, hogy mindig tudd, mit is csinálsz
2. Tetteidet egy méltó cél vezérelje, de ne azt kérdezd szüntelen, hogy elérhető-e ez a cél. Céljaid modellek és mintaképek legyenek, ne pedig cselekedeteid mentségei.
3. Úgy szólj az emberekhez, mintha önmagadhoz szólnál. Ne szavaid várható hatásával törődj. Embertársaidat ne zárd ki a saját világodból. Mert ha elszigetelődsz, elsiklik szemed elől az élet igazi értelme és elveszíted a teremtés tökéletességébe vetett hitedet.
4. Ne rombold le, amit magad nem tudnál megalkotni.
5. Ne fordulj törvényszékhez, hacsak nem vagy nagyon éhes.
(Szójáték: Gericht = törvényszék, étel)
6. Ne kívánd, amit úgysem tudsz megkapni.
7. Ne hazudj, ha nem föltétlenül szükséges.

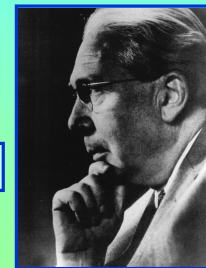
2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

21

Szilárd Leó Tízparancsolata (folyt.)

8. Tiszteld a gyermekeket. Tisztelettel figyeld szavaikat és végtelen szeretettel szólj hozzájuk.
9. Hat esztendőn át munkálkodjál. A hetedik esztendőben vonulj el magányba vagy idegenek közé, hogy barátaid véleménye ne tartson vissza attól, hogy az légy, amivé váltál.
10. Gyengéd kézzel vezesd magad az életen át, és bármikor légy készen eltávozni belőle, amikor a hívó szó elhangzik.



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

2012. február 16.

Szilárd Leó és az első atommáglya
megalkotásához vezető út

22