

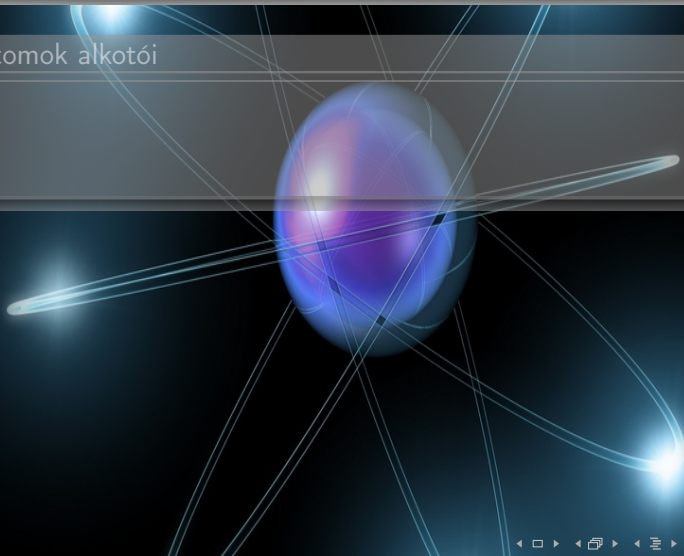
Atomfizika, magfizika

Udvari Zsolt (www.uzsolt.hu)

2017. május 5.

Alapfogalmak

Atomok alkotói



Alapfogalmak

Atomok alkotói

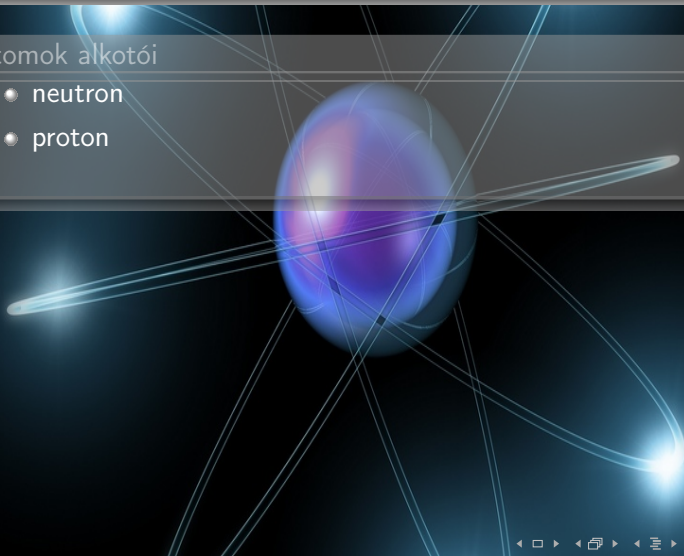
- neutron



Alapfogalmak

Atomok alkotói

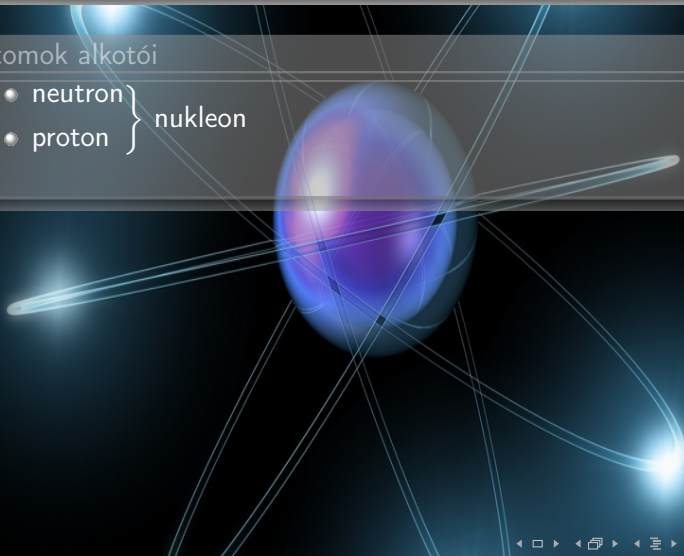
- neutron
- proton



Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
- } nukleon



Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

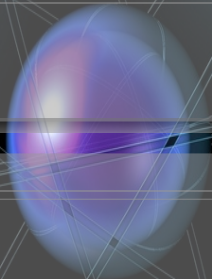


Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

Számlálás



Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

Számlálás

- rendszám: $Z = \text{protonok száma}$

Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

Számlálás

- rendszám: $Z =$ protonok száma
- tömegszám: $A =$ nukleonok száma

Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

Számlálás

- rendszám: $Z =$ protonok száma
- tömegszám: $A =$ nukleonok száma
- neutronok száma:

Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

Számlálás

- rendszám: $Z =$ protonok száma
- tömegszám: $A =$ nukleonok száma
- neutronok száma: $A - Z$

Alapfogalmak

Atomok alkotói

- neutron
 - proton
 - elektron
- } nukleon

Számlálás

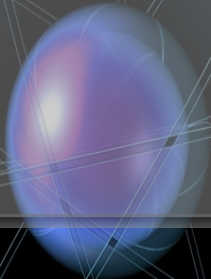
- rendszám: $Z =$ protonok száma
- tömegszám: $A =$ nukleonok száma
- neutronok száma: $A - Z$

Jelölés

Tömegszám felül, rendszám alul: ${}^A_Z X$, pl. ${}^{238}_{92}U$

Izotópok

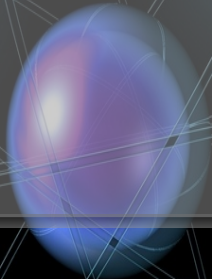
Izotóp



Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$



Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$
- azonos protonszám, különböző neutronszám

Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$
- azonos protonszám, különböző neutronszám
- hidrogén ($Z = 1$) izotópjai

Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$
- azonos protonszám, különböző neutronszám
- hidrogén ($Z = 1$) izotópjai
 - hidrogén $A = 1 \quad {}^1_1\text{H}$

Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$
- azonos protonszám, különböző neutronszám
- hidrogén ($Z = 1$) izotópjai
 - hidrogén $A = 1 \quad {}^1_1\text{H}$
 - deutérium $A = 2 \quad {}^2_1\text{H}$

Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$
- azonos protonszám, különböző neutronszám
- hidrogén ($Z = 1$) izotópjai
 - hidrogén $A = 1$ ${}^1_1\text{H}$
 - deutérium $A = 2$ ${}^2_1\text{H}$
 - trícium $A = 3$ ${}^3_1\text{H}$

Izotópok

Izotóp

- $Z_1 = Z_2, A_1 \neq A_2$
- azonos protonszám, különböző neutronsám
- hidrogén ($Z = 1$) izotópjai
 - hidrogén $A = 1$ ${}^1_1\text{H}$
 - deutérium $A = 2$ ${}^2_1\text{H}$
 - trícium $A = 3$ ${}^3_1\text{H}$

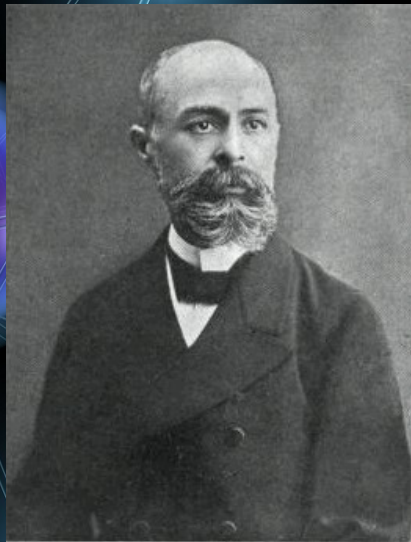
Hidrogén-izotópok



Radioaktivitás felfedezése

Henri Becquerel (1852-1908)

- uránszurokérc nyomot hagy a fényérzékeny lemezen (1896)
- egy láthatatlan sugárzás

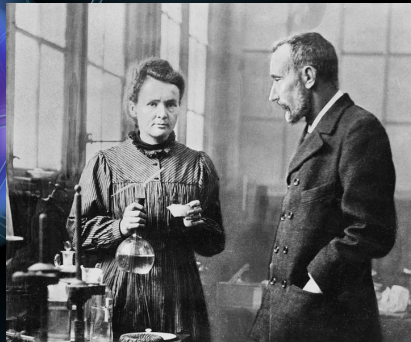


Radioaktivitás felfedezése

Henri Becquerel (1852-1908)

- uránszurokérc nyomot hagy a fényérzékeny lemezen (1896)
- egy láthatatlan sugárzás

Marie és Pierre Curie



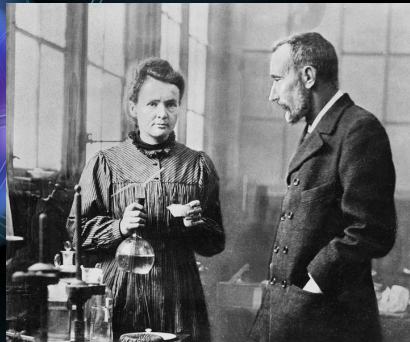
Radioaktivitás felfedezése

Henri Becquerel (1852-1908)

- uránszurokérc nyomot hagy a fényérzékeny lemezen (1896)
- egy láthatatlan sugárzás

Marie és Pierre Curie

- Becquerel tanítványai, vele megosztott fizikai Nobel-díj, 1903.



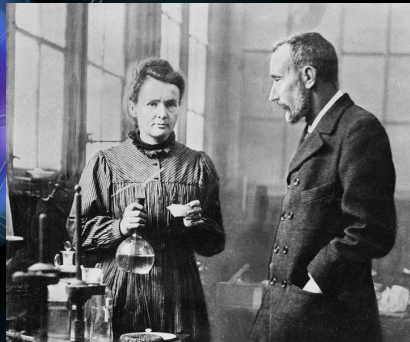
Radioaktivitás felfedezése

Henri Becquerel (1852-1908)

- uránszurokérc nyomot hagy a fényérzékeny lemezen (1896)
- egy láthatatlan sugárzás

Marie és Pierre Curie

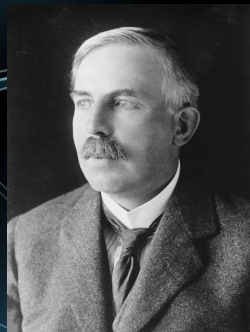
- Becquerel tanítványai, vele megosztott fizikai Nobel-díj, 1903.
- rádium és polónium felfedezése (1898), kémiai Nobel-díj, 1911.



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

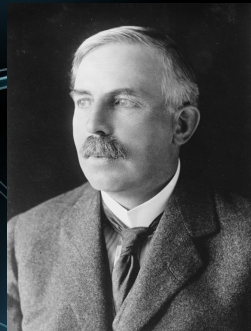
- háromféle sugárzás
 - α -sugárzás
 - He^{2+}
 - nagy ionizáló képesség
 - kis hatótávolság (levegőben néhány cm, szilárd anyagokban mm)



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- háromféle sugárzás
 - α -sugárzás
 - He^{2+}
 - nagy ionizáló képesség
 - kis hatótávolság (levegőben néhány cm, szilárd anyagokban mm)
 - β -sugárzás
 - nagyenergiájú elektron
 - közepes ionizáló képesség



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- háromféle sugárzás

- α -sugárzás



- nagy ionizáló képesség

- kis hatótávolság (levegőben néhány cm, szilárd anyagokban mm)

- β -sugárzás

- nagyenergiájú elektron

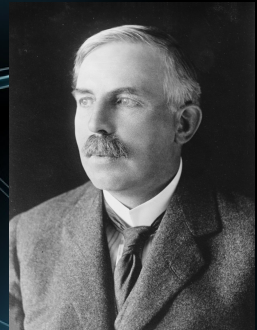
- közepes ionizáló képesség

- γ -sugárzás

- nagy energiájú EM sugárzás

- kis ionizáló képesség

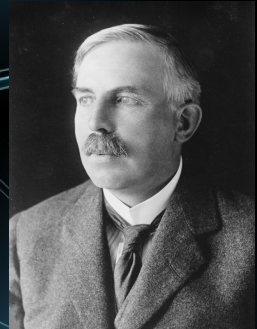
- néhány dm-es ólomfal



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

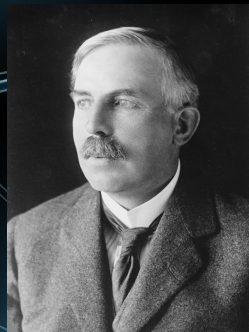
- nagy energia \Rightarrow atommagból kiindul
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)
 - α : ${}^4_2\text{X} \rightarrow$



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

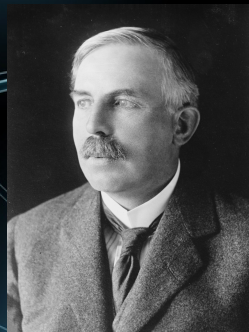
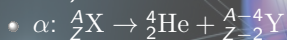
- nagy energia \Rightarrow atommagból kiindul
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)
 - α : ${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} +$



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

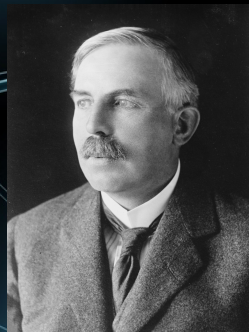
- nagy energia \Rightarrow atommagból kiindul
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

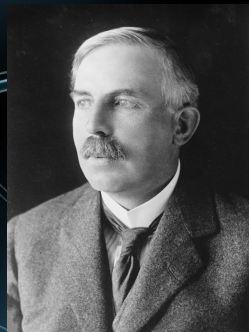
- nagy energia \Rightarrow atommagból kiindul
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)
 - α : ${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$
 - β : kétféle



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

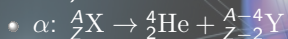
- nagy energia \Rightarrow atommagból kiinduló
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)
 - α : ${}^A_ZX \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^{A-4}_{Z-2}Y$
 - β : kétféle
 - β^- : ${}^1_0n \rightarrow {}^1_1p + {}^0_{-1}e$, azaz



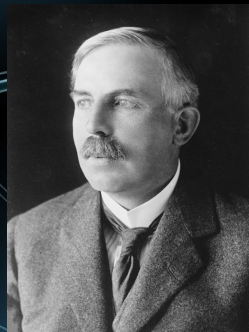
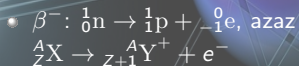
Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- nagy energia \Rightarrow atommagból kiinduló
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)



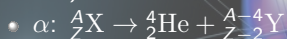
- β : kétféle



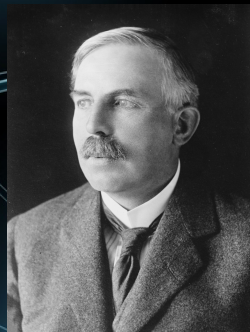
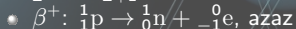
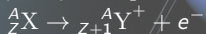
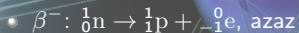
Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- nagy energia \Rightarrow atommagból kiinduló
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)



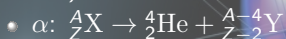
- β : kétféle



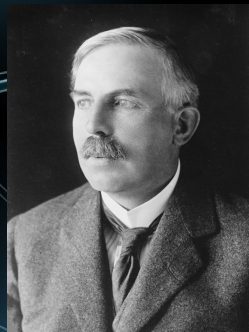
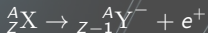
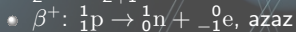
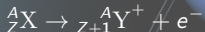
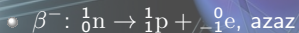
Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- nagy energia \Rightarrow atommagból kiinduló
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)



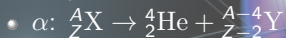
- β : kétféle



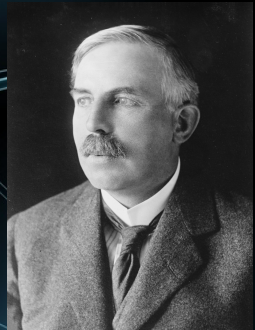
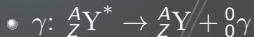
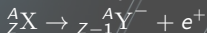
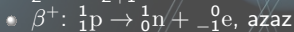
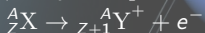
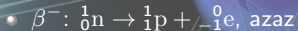
Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- nagy energia \Rightarrow atommagból kiindul
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)



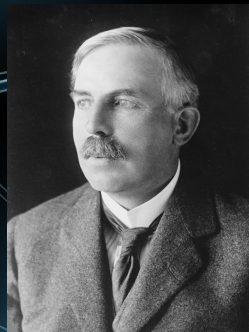
- β : kétféle



Sugárzások vizsgálata

Ernest Rutherford (1871-1937)

- nagy energia \Rightarrow atommagból kiinduló
- az atommagok átalakulnak („radioaktív bomlás”)
 - α : ${}_Z^AX \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{Z-2}^{A-4}Y$
 - β : kétféle
 - β^- : ${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e$, azaz ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY^+ + e^-$
 - β^+ : ${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + {}_{-1}^0e$, azaz ${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY^- + e^+$
 - γ : ${}_Z^AY^* \rightarrow {}_Z^AY + {}_0^0\gamma$
- kémiai Nobel-díj, 1908.



Herbert George Wells (1866-1946)

Hölgyeim és uraim, láthatjuk, hogy a rádium is, amely pedig egy fantasztikus kivételnek tűnt, örült ellentétéként mindannak, amit a legragyogóbb elmék vallottak és hittek az anyag szerkezetéről, lényegét tekintve a többi elemhez hasonló. Csak a rádium sokkal intenzívebben teszi azt, amit a többi elem is megtesz, de észrevétlen lassúsággal.



Herbert George Wells (1866-1946)

A rádium bomlása olyan, mint a sötétben rejtőző tömeget eláruló kiáltás. A rádium olyan kémiai elem, amely önként átalakul és ezt valószínűleg minden más elem is megteszi, legföljebb kevésbé észlelhető módon. Föltehetőleg az urán is ezt csinálja, meg ezek az elemek itt a kezemben tartott kémcsőben: a tórium és az aktínium.



Herbert George Wells (1866-1946)

Azt hiszem, egy hosszú történet elején vagyunk. Az atomok – amiket mindedig merev, áthatolhatatlan, oszthatatlan, örökkön való, élettelen tárgyaknak tekintettünk – a valóságban mérhetetlen mennyiségű energia forrásai. Ez mostani kutatásaink legcsodálatosabb eredménye.



Herbert George Wells (1866-1946)

Nemrég még úgy tekintettünk az atomokra, mint téglákra, megbízható építőkockákra, az élettelen tömeg egységeire. Ma látjuk: ezek a téglák valójában tartályok, kincsesládák, telve a leghatékonyabb energiával. Ebben a kis üvegben fél liter urán-oxid van, ami alig 400 gramm uránt tartalmaz.



Herbert George Wells (1866-1946)

*Hölgyeim és uraim, ebben a kis
üvegnyi atomban annyi energia rejlik,
amennyi 160 tonna égő szénnel
egyenértékű. Ha – utasításomra –
mindez az energia egyszerre
kiszabadulna, a robbanás porrá
változtatna mindannyiunkat, mindent
ebben a házban.*



Herbert George Wells (1866-1946)

De ha elektromos energiává tudnánk alakítani, egy héten át fedezhetné egy nagyváros világítását. Ma még senki nem tudja megmondani, miként lehetne ezt a kis darabot arra kényszeríteni, hogy gyorsabban adja le az energiáját.



Herbert George Wells (1866-1946)

Az urán nagyon lassan alakul át rádiummá, a rádiumból lassan lesz radon, és így tovább. Az elemátalakulás minden lépésben csak egy csöpp energiát bocsát ki, míg el nem érkezünk az ólomig. Nem vagyunk képesek e folyamat fölgyorsítására. Miért történik ez ilyen lassan? Az itt rejlő hatalmas energiakészletnek miért csak egy pici hányadát kapjuk meg egy-egy másodpercben?



Herbert George Wells (1866-1946)

Miért nem alakul át az egész uránmennyiség azonnal alacsonyabb rendű elemmé? Miért nem tudjuk felgyorsítani ezt az átalakulást? Ha képesek volnánk erre, egy kupac uránt és tóriumot olyan energiaforrássá tudnánk átalakítani, ami egy évig világíthatna egy várost, legyőzhetne egy hajóhadat, áthajthatna egy hajót az óceánon.



Herbert George Wells (1866-1946)

El tudják-e képzelni, hölgyeim és uraim, mit jelenthetne mindez az emberiség számára? E fölfedezés jelentősége a tűzgyújtás fölfedezéséhez volna mérhető, amely az embert az állatok fölé emelte.



Herbert George Wells (1866-1946)

*Ma úgy tekintünk a radioaktivitásra,
mint őseink néztek a tűzre, mielőtt
megtanulták volna saját kényelmükre
meggyújtani. Őseink a tűzben egy
hatalmuk fölött álló idegent láttak,
amilyen a tűzhányó kitörése, amilyen
a lángok erdőn átszáguldó vörös
vihara.*



Herbert George Wells (1866-1946)

Mi ma így tekintünk a radioaktivításra. Most azonban egy új kor hajnalára érkeztünk. Az ősember kőbaltájával és tűzcsiszoló pálcájával kezdődő civilizációnk csúcán az energiaellátás gondjaival kell szembenéznünk.



Herbert George Wells (1866-1946)

*De ma egy új civilizáció lehetősége
sejlik föl. A múltban sohasem volt
elég energiánk, pedig az itt van
körüöttünk töménytelen
mennyiségben, csak a zárhoz meg
kellene találnunk a kulcsot. De meg
fogjuk találni!*



Hasadás

Urán hasadása

- Otto Hahn, Fritz Strassmann, 1938

Hasadás

Urán hasadása

- Otto Hahn, Fritz Strassmann, 1938
- transzurán elemek azonosítása

Hasadás

Urán hasadása

- Otto Hahn, Fritz Strassmann, 1938
- transzurán elemek azonosítása
- urán reakciótermékei között ${}_{56}\text{Ba}$

Hasadás

Urán hasadása

- Otto Hahn, Fritz Strassmann, 1938
- transzurán elemek azonosítása
- urán reakciótermékei között ${}_{56}\text{Ba}$
 - urán hasadásával értelmezhető!

Hasadás

Urán hasadása

- Otto Hahn, Fritz Strassmann, 1938
- transzurán elemek azonosítása
- urán reakciótermékei között ${}_{56}\text{Ba}$
 - urán hasadásával értelmezhető!
 - $n + {}_{92}\text{U} \rightarrow {}_{56}\text{Ba} + {}_{36}\text{Kr} + 3n$

Hasadás

Urán hasadása

- Otto Hahn, Fritz Strassmann, 1938
- transzurán elemek azonosítása
- urán reakciótermékei között ${}_{56}\text{Ba}$
 - urán hasadásával értelmezhető!
 - $n + {}_{92}\text{U} \rightarrow {}_{56}\text{Ba} + {}_{36}\text{Kr} + 3n$
- (kémiai) Nobel-díj, 1944.

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik

Tömegszám, bomlási sorok

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik
- anyaelem \rightarrow lányelem

Tömegszám, bomlási sorok

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik
- anyaelem \rightarrow lányelem
- a lányelem is lehet radioaktív \rightarrow további bomlás!

Tömegszám, bomlási sorok

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik
- anyaelem \rightarrow lányelem
- a lányelem is lehet radioaktív \rightarrow további bomlás!

Tömegszám, bomlási sorok

- a tömegszám

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik
- anyaelem \rightarrow lányelem
- a lányelem is lehet radioaktív \rightarrow további bomlás!

Tömegszám, bomlási sorok

- a tömegszám
 - 4-gyel csökken (α -bomlás)

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik
- anyaelem \rightarrow lányelem
- a lányelem is lehet radioaktív \rightarrow további bomlás!

Tömegszám, bomlási sorok

- a tömegszám
 - 4-gyel csökken (α -bomlás)
 - nem változik (β -bomlás)

Bomlás

Elem-átalakulás

- bomlás során új elem keletkezik
- anyaelem \rightarrow lányelem
- a lányelem is lehet radioaktív \rightarrow további bomlás!

Tömegszám, bomlási sorok

- a tömegszám
 - 4-gyel csökken (α -bomlás)
 - nem változik (β -bomlás)
- A 4-gyel való osztási maradéka szerint

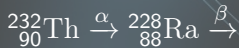
Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



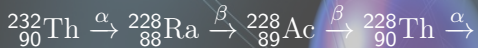
Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$



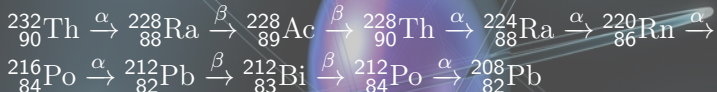
Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$

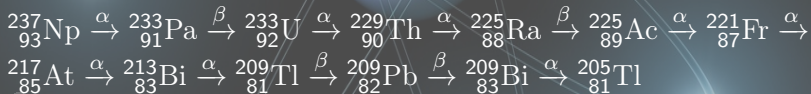


Bomlási sorok I.

^{232}Th -család - $4n$

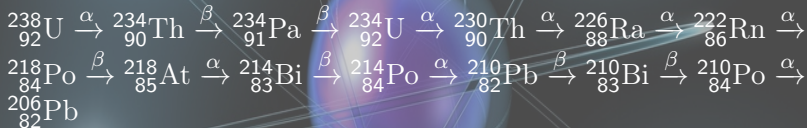


^{237}Np -család - $4n + 1$ - tagok már nem találhatóak a Földön

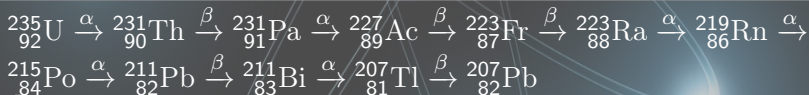


Bomlási sorok II.

^{238}U -család - $4n + 2$



^{235}U -család - $4n + 3$



Bizmut



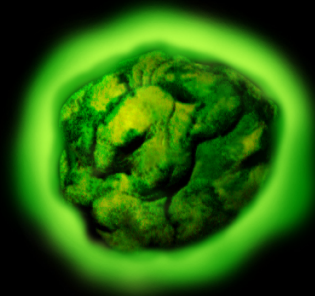
Urán



Polónium



Rádium



Aktínium

Ac



89

227.



Actinium

Tórium



Bomlási törvény

Felezési idő

- a bomlás *véletlenszerűen* történik

Bomlási törvény

Felezési idő

- a bomlás *véletlenszerűen* történik
- felezési idő: mennyi idő alatt bomlik az aktív atomok fele

Bomlási törvény

Felezési idő

- a bomlás *véletlenszerűen* történik
- felezési idő: mennyi idő alatt bomlik az aktív atomok fele
- jele: $T_{\frac{1}{2}}$

Bomlási törvény

Néhány izotóp felezési ideje

Izotóp	Felezési idő
^3H	12,3 év
^{14}C	5730 év
^{40}K	$1,28 \cdot 10^9$ év
^{45}Ca	165 nap
^{129}I	17millió év
^{131}I	8,1 nap
^{137}Cs	30 év
^{222}Rn	3,8 nap
^{226}Ra	1620 év
^{235}U	710millió év

Bomlási törvény

Felezési idő

- a bomlás *véletlenszerűen* történik
- felezési idő: mennyi idő alatt bomlik az aktív atomok fele
- jele: $T_{\frac{1}{2}}$

Törvény

- $$N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

Bomlási törvény

Felezési idő

- a bomlás *véletlenszerűen* történik
- felezési idő: mennyi idő alatt bomlik az aktív atomok fele
- jele: $T_{\frac{1}{2}}$

Törvény

- $N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$
- másik alak: $N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)
- az aktivitás függ

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)
- az aktivitás függ
 - anyagtól

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)
- az aktivitás függ
 - anyagtól
 - anyag mennyiségétől: $A = \frac{0,6931}{T} \cdot N$

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)
- az aktivitás függ
 - anyagtól
 - anyag mennyiségétől: $A = \frac{0,6931}{T} \cdot N$
- azaz az aktivitás nem az anyagra jellemző érték!

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)
- az aktivitás függ
 - anyagtól
 - anyag mennyiségétől: $A = \frac{0,6931}{T} \cdot N$
- azaz az aktivitás nem az anyagra jellemző érték!
- pl. 1000 Bq jelenti, hogy másodpercenként 1000 bomlás történik

Aktivitás

Aktivitás definíciója

- másodpercenként elbomló atomok száma
- jele: A , mértékegység: Bq („becquerel”)
- az aktivitás függ
 - anyagtól
 - anyag mennyiségétől: $A = \frac{0,6931}{T} \cdot N$
- azaz az aktivitás nem az anyagra jellemző érték!
- pl. 1000 Bq jelenti, hogy másodpercenként 1000 bomlás történik
- $A(t) = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$

Feladat

Feladat

Hány százalékkal csökkent a (100 éve) Marie Curie birtokában levő (226-os tömegszámú) rádium aktivitása? A rádium felezési ideje 1600 év.

Megoldás

Feladat

Feladat

Hány százalékkal csökkent a (100 éve) Marie Curie birtokában levő (226-os tömegszámú) rádium aktivitása? A rádium felezési ideje 1600 év.

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T}$$

Feladat

Feladat

Hány százalékkal csökkent a (100 éve) Marie Curie birtokában levő (226-os tömegszámú) rádium aktivitása? A rádium felezési ideje 1600 év.

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T}$$

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} = 2^{-\frac{100}{1600}}$$

Feladat

Feladat

Hány százalékkal csökkent a (100 éve) Marie Curie birtokában levő (226-os tömegszámú) rádium aktivitása? A rádium felezési ideje 1600 év.

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T}$$

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} = 2^{-\frac{100}{1600}}$$

$$A(t) = 0,9576 \cdot A_0$$

Feladat

Feladat

Hány százalékkal csökkent a (100 éve) Marie Curie birtokában levő (226-os tömegszámú) rádium aktivitása? A rádium felezési ideje 1600 év.

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T}$$

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} = 2^{-\frac{100}{1600}}$$

$$A(t) = 0,9576 \cdot A_0$$

4,24%-kal csökkent.

Feladat

Feladat

Mennyi idő alatt csökken a 226-os tömegszámú rádium aktivitása a századrészére?

Megoldás

Feladat

Feladat

Mennyi idő alatt csökken a 226-os tömegszámú rádium aktivitása a századrészére?

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T}$$

Feladat

Feladat

Mennyi idő alatt csökken a 226-os tömegszámú rádium aktivitása a századrészére?

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} \text{ és persze } A(t) = 0,01A_0$$

Feladat

Feladat

Mennyi idő alatt csökken a 226-os tömegszámú rádium aktivitása a századrészére?

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} \text{ és persze } A(t) = 0,01A_0$$

$$0,01 = 2^{-\frac{t}{1600}}$$

Feladat

Feladat

Mennyi idő alatt csökken a 226-os tömegszámú rádium aktivitása a századrészére?

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} \text{ és persze } A(t) = 0,01A_0$$

$$0,01 = 2^{-\frac{t}{1600}} \implies -6,64 = -\frac{t}{1600}$$

Feladat

Feladat

Mennyi idő alatt csökken a 226-os tömegszámú rádium aktivitása a századrészére?

Megoldás

$$A(t) = A_0 \cdot 2^{-t/T} \text{ és persze } A(t) = 0,01A_0$$

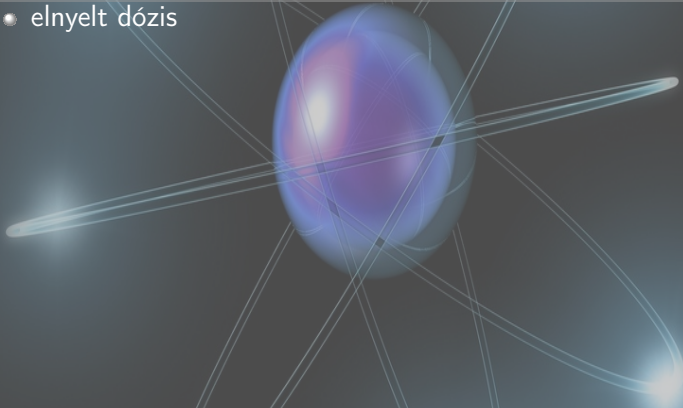
$$0,01 = 2^{-\frac{t}{1600}} \implies -6,64 = -\frac{t}{1600}$$

$$t = 10\,624 \text{ év}$$

Dózis

Dózis

- elnyelt dózis



Dózis

Dózis

- elnyelt dózis
 - jele: D_e , mértékegység: Gy („gray”, J/kg)

Dózis

Dózis

- elnyelt dózis
 - jele: D_e , mértékegység: Gy („gray”, J/kg)
 - nem jellemzi a biológiai (ionizáló) hatást

Dózis

Dózis

- elnyelt dózis
 - jele: D_e , mértékegység: Gy („gray”, J/kg)
 - nem jellemzi a biológiai (ionizáló) hatást
- dózisegyenérték

Dózis

Dózis

- elnyelt dózis
 - jele: D_e , mértékegység: Gy („gray”, J/kg)
 - nem jellemzi a biológiai (ionizáló) hatást
- dózisegyenérték
 - $H = Q \cdot D$

Dózis

Dózis

- elnyelt dózis
 - jele: D_e , mértékegység: Gy („gray”, J/kg)
 - nem jellemzi a biológiai (ionizáló) hatást
- dózisegyenérték
 - $H = Q \cdot D$
 - Q : minőségi tényező

sugárzás fajtája	Q minőségi tényező
röntgen-, γ -, β	1
α	20
(lassú) neutron	2-3
gyors neutron, proton	10

Dózis

Dózis

- elnyelt dózis
 - jele: D_e , mértékegység: Gy („gray”, J/kg)
 - nem jellemzi a biológiai (ionizáló) hatást
- dózisegyenérték
 - $H = Q \cdot D$
 - Q : minőségi tényező

sugárzás fajtája	Q minőségi tényező
röntgen-, γ -, β	1
α	20
(lassú) neutron	2-3
gyors neutron, proton	10

- mértékegysége: Sv („sievert”), régebben rem, $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

Élettani hatás

H (mSv)	élettani hatás
< 250	nincs kimutatható hatás
250 – 750	tünetmentes, de orvosilag kimutatható
750 – 1000	múló rosszullet, fáradékonyság
1000 – 2000	tartós zavarok a vérképző szervek működésében
2000 – 4000	orvosi kezelés hiányában 50%-os halálozási arány
6000 körül	orvosi kezelés hiányában 2 héten belül halál

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!
 - ^{222}Rn : alsóbb kőzetrétegekből szivárog

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!
 - ^{222}Rn : alsóbb kőzetrétegekből szivárog
- kozmikus eredet

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!
 - ^{222}Rn : alsóbb kőzetrétegekből szivárog
- kozmikus eredet
 - felső légkörben kozmikus sugárzás hatására keletkezik

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!
 - ^{222}Rn : alsóbb kőzetrétegekből szivárog
- kozmikus eredet
 - felső légkörben kozmikus sugárzás hatására keletkezik
 - ^{14}C , ^3H , ^{22}Na , ^7Be ,...

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!
 - ^{222}Rn : alsóbb kőzetrétegekből szivárog
- kozmikus eredet
 - felső légkörben kozmikus sugárzás hatására keletkezik
 - ^{14}C , ^3H , ^{22}Na , ^7Be ,...
- mértéke: 2,4 mSv/személy · év

Sugárterhelés

Természetes eredet

- bolygó keletkezése óta
- évmilliókkal ezelőtt nagyobb volt
- földi eredet
 - ^{40}K : testünk része is!
 - ^{222}Rn : alsóbb kőzetrétegekből szivárog
- kozmikus eredet
 - felső légkörben kozmikus sugárzás hatására keletkezik
 - ^{14}C , ^3H , ^{22}Na , ^7Be ,...
- mértéke: 2,4 mSv/személy · év

Mesterséges sugárterhelés

- orvosi alkalmazás
- atomenergia
- 0,4 mSv/személy · év

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^-

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

- neutronforrás: ${}^4\text{He} + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^1_0\text{n}$

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

- neutronforrás: ${}^4\text{He} + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- több kémiai elemet besugárzott

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

- neutronforrás: ${}^4\text{He} + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- több kémiai elemet besugárzott
- ${}^{92}\text{U}$ befogta a neutront

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

- neutronforrás: ${}^4\text{He} + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- több kémiai elemet besugárzott
- ${}^{92}\text{U}$ befogta a neutront
 - β^- -bomlás során protonszám-növekedés

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

- neutronforrás: ${}^4\text{He} + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- több kémiai elemet besugárzott
- ${}^{92}\text{U}$ befogta a neutronot
 - β^- -bomlás során protonszám-növekedés
 - transzurán elemek ($Z = 93, 94, \dots$)

Mesterséges hasadás

Mivel lehet hasítani?

- e^- ?
- p^+ ?
- n^0 !

Enrico Fermi (1901-1954)

- neutronforrás: ${}^4\text{He} + {}^9\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C} + {}^1_0\text{n}$
- több kémiai elemet besugárzott
- ${}^{92}\text{U}$ befogta a neutront
 - β^- -bomlás során protonszám-növekedés
 - transzurán elemek ($Z = 93, 94, \dots$)
 - Nobel-díj, 1938.

Lassú neutron

$\frac{1}{v}$ -szabály

- lassú neutronok reakcióképesebbek (több idő)

Lassú neutron

$\frac{1}{v}$ -szabály

- lassú neutronok reakcióképesebbek (több idő)
- Fermi tanítványainak sikerült a kísérlet

Lassú neutron

$\frac{1}{v}$ -szabály

- lassú neutronok reakcióképesebbek (több idő)
- Fermi tanítványainak sikerült a kísérlet
- Fermi-nek nem!

Lassú neutron

$\frac{1}{v}$ -szabály

- lassú neutronok reakcióképesebbek (több idő)
- Fermi tanítványainak sikerült a kísérlet
- Fermi-nek nem!
 - fa asztal vs. márványasztal

Lassú neutron

$\frac{1}{v}$ -szabály

- lassú neutronok reakcióképesebbek (több idő)
- Fermi tanítványainak sikerült a kísérlet
- Fermi-nek nem!
 - fa asztal vs. márványasztal
 - fa hidrogéndús, neutronokat lassítja!

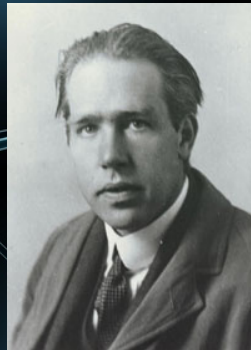
Lassú neutron

$\frac{1}{v}$ -szabály

- lassú neutronok reakcióképesebbek (több idő)
- Fermi tanítványainak sikerült a kísérlet
- Fermi-nek nem!
 - fa asztal vs. márványasztal
 - fa hidrogéndús, neutronokat lassítja!
 - márvány nem lassít

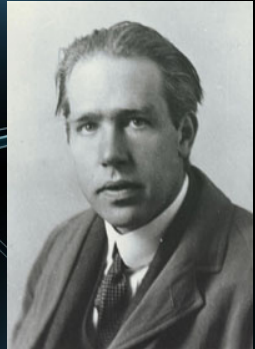
1939. szeptember 1.

- Niels Bohr, John A. Wheeler



1939. szeptember 1.

- Niels Bohr, John A. Wheeler
- ^{235}U a legjobb hasadóanyag



1939. szeptember 1.

- Niels Bohr, John A. Wheeler
- ^{235}U a legjobb hasadóanyag
 - Földön előfordul



1939. szeptember 1.

- Niels Bohr, John A. Wheeler
- ^{235}U a legjobb hasadóanyag
 - Földön előfordul
 - lassú neutronokkal hasítható



1939. szeptember 1.

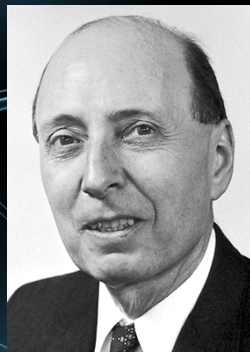
- Niels Bohr, John A. Wheeler
- ^{235}U a legjobb hasadóanyag
 - Földön előfordul
 - lassú neutronokkal hasítható
- az U-izotópok csupán 0,7%-a!



Láncreakció

Szabad neutron?

- Wigner Jenő, Teller Ede, Szilárd Leó



Láncreakció

Szabad neutron?

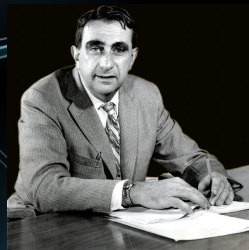
- Wigner Jenő, Teller Ede, Szilárd Leó
- hasadás során neutron szabaddá válhat



Láncreakció

Szabad neutron?

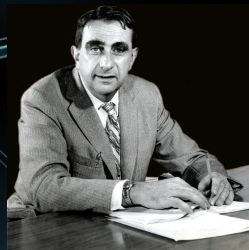
- Wigner Jenő, Teller Ede, Szilárd Leó
- hasadás során neutron szabaddá válhat
- Niels Bohr, Enrico Fermi, J. A. Wheeler nem hitték



Láncreakció

Szabad neutron?

- Wigner Jenő, Teller Ede, Szilárd Leó
- hasadás során neutron szabaddá válhat
- Niels Bohr, Enrico Fermi, J. A. Wheeler nem hitték
- New York, Columbia Egyetem: paraffin+neutron, maghasadás, hasadásonként legalább két neutron!



Láncreakció

Szabad neutron?

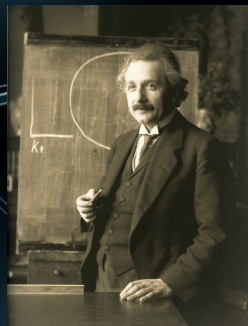
- Wigner Jenő, Teller Ede, Szilárd Leó
- hasadás során neutron szabaddá válhat
- Niels Bohr, Enrico Fermi, J. A. Wheeler nem hitték
- New York, Columbia Egyetem: paraffin+neutron, maghasadás, hasadásonként legalább két neutron!
- versenyfutás a nukleáris fegyverért



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

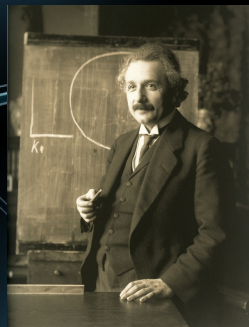
Tisztelt Elnök Úr, kéziratban olvastam E. Fermi és L. Szilárd tanulmányait. Ezek arra engednek következtetni, hogy az urán nevű elem a jövőben egy új és fontos energiaforrássá válhat.



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

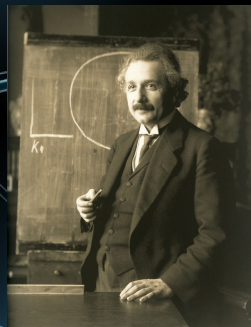
Ez új helyzetet teremt, ami megkívánja a Kormány figyelmét és – ha szükséges – gyors intézkedését. Úgy érzem, hogy kötelességem az Ön figyelmébe ajánlani a következő tényeket és javaslatokat:



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

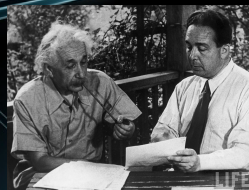
Az utóbbi négy év folyamán Joilot kísérletei Franciaországban, továbbá Fermi és Szilárd kísérletei Amerikában megmutatták, hogy elegendő nagy uránmennyiségben láncreakció idézhető elő, minek során hatalmas mennyiségű energia és sok rádiumszerű elem keletkezik. Szinte bizonyos, hogy ez a közeli jövőben megvalósítható lesz.



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

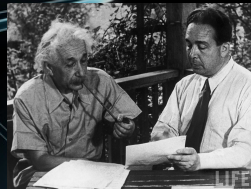
Az új jelenség bomba gyártását is lehetővé teheti. Föltételezető – noha kevésbé bizonyos – hogy egészen új típusú és rendkívüli erejű bomba készíthető. Ha egy ilyen bombát hajón át egy kikötőbe juttatnak és ott felrobbantanak, az elpusztíthatja az egész kikötőt és annak környékét. Lehet, hogy a bomba túlságosan nehéz lesz ahhoz, hogy repülőgép szállíthassa.



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

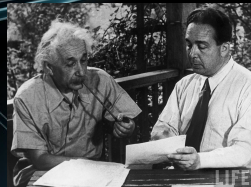
*Az Egyesült Államokban csak
alacsony koncentrációjú uránérc
található korlátozott mennyiségben.
Uránérc található Kanadában és az
egykori Csehszlovákiában. A
legfontosabb urán-lelőhely
Belga-Kongó.*



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

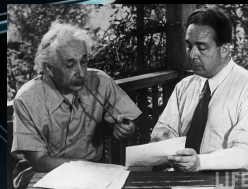
Mindezt figyelembe véve Elnök Úr fontosnak ítélné, hogy folyamatos kapcsolat létesüljön a Kormány és azok közt a fizikusok között, akik Amerikában a láncreakcióval foglalkoznak. Ennek egy lehetséges módja, hogy Ön fölkér valakit, aki az Ön bizalmát élvezi és aki esetleg nem hivatalos minőségben is ellátja a következő tennivalókat:



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

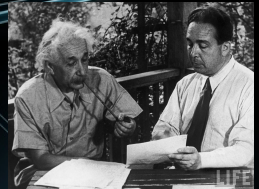
kapcsolatba lép a megfelelő kormányhivatalokkal, folyamatosan informálja azokat, és ajánlásokat terjeszt a Kormány elé; elsősorban pedig gondoskodik arról, hogy uránércet szállítsanak az Egyesült Államokba



Einstein-levél

1939. augusztus 2.

megfelelő pénzügyi támogatással felgyorsítja a kísérleti munkát, ami jelenleg egyetemi laboratóriumok költségvetési keretei között folyik; anyagilag segíti mindazokat, akik be kívánnak kapcsolódni a munkába, továbbá esetleg bevon olyan ipari laboratóriumokat is, amelyeknek megvan a megfelelő felszereltségük.

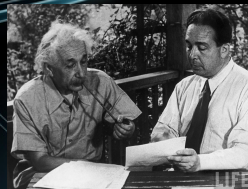


Einstein-levél

1939. augusztus 2.

Tudomásom van róla, hogy Németország leállította a megszállt Csehországban bányászott urán eladását. Az ilyen akciót talán az magyarázza, hogy Weizsäcker német alállamtitkár fia Berlinben, a Vilmos Császár Kutatóintézetben dolgozik, ahol most egyes Amerikában végzett kutatásokat megismételnek.

Tisztelő híve: Albert Einstein



Kezdetek

- Pearl Harbor, 1941. december 6-7.

Kezdetek

- Pearl Harbor, 1941. december 6-7.
- USA hadbalép

Kezdetek

- Pearl Harbor, 1941. december 6-7.
- USA hadbalép
- Manhattan Project: atomfegyver kifejlesztése

Láncreakció

Probléma

- urán hasadásakor szabaddá váló neutron: gyors!

Moderátor

Láncreakció

Probléma

- urán hasadásakor szabaddá váló neutron: gyors!
- lassú kell (a gyorsat befogja az U), azaz le kell lassítani

Moderátor

Láncreakció

Probléma

- urán hasadásakor szabaddá váló neutron: gyors!
- lassú kell (a gyorsat befogja az U), azaz le kell lassítani

Moderátor

- kis tömegszámú elem

Láncreakció

Probléma

- urán hasadásakor szabaddá váló neutron: gyors!
- lassú kell (a gyorsat befogja az U), azaz le kell lassítani

Moderátor

- kis tömegszámú elem
- hidrogén

Láncreakció

Probléma

- urán hasadásakor szabaddá váló neutron: gyors!
- lassú kell (a gyorsat befogja az U), azaz le kell lassítani

Moderátor

- kis tömegszámú elem
- hidrogén
 - kiváló, 13 ütközés után kb. milliomod energia! (ld. Fermi és tanítványai)

Láncreakció

Probléma

- urán hasadásakor szabaddá váló neutron: gyors!
- lassú kell (a gyorsat befogja az U), azaz le kell lassítani

Moderátor

- kis tömegszámú elem
- hidrogén
 - kiváló, 13 ütközés után kb. milliomod energia! (ld. Fermi és tanítványai)
 - hátrány: hajlamos befogni, $^1\text{H} \rightarrow ^2\text{H}$

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit
 - gyártás során szennyező bór-atom

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit
 - gyártás során szennyező bór-atom
 - 1 bór-atom annyi neutronot fog be, mint 100 000 szénatom!

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit
 - gyártás során szennyező bór-atom
 - 1 bór-atom annyi neutronot fog be, mint 100 000 szénatom!
- Németország: nem elég tiszta szén \Rightarrow nehézvíz

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit
 - gyártás során szennyező bór-atom
 - 1 bór-atom annyi neutronot fog be, mint 100 000 szénatom!
- Németország: nem elég tiszta szén \Rightarrow nehézvíz
 - Norvégiában (Rjukan) nehézvíz-gyártó üzem

Moderátor

Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit
 - gyártás során szennyező bór-atom
 - 1 bór-atom annyi neutronot fog be, mint 100 000 szénatom!
- Németország: nem elég tiszta szén \Rightarrow nehézvíz
 - Norvégiában (Rjukan) nehézvíz-gyártó üzem
 - norvégok folyamatosan szabotálták (angol „infó”)

Moderátor

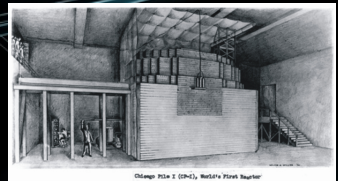
Megfelelő elem?

- He és O: jó lenne, de gáz halmazállapot ☹
- Fermi javaslata: szén (nagy tisztaságú!)
 - grafit
 - gyártás során szennyező bór-atom
 - 1 bór-atom annyi neutronot fog be, mint 100 000 szénatom!
- Németország: nem elég tiszta szén \Rightarrow nehézvíz
 - Norvégiában (Rjukan) nehézvíz-gyártó üzem
 - norvégok folyamatosan szabotálták (angol „infó”)
 - a háború végén is csak a szükséges mennyiség fele!

Atommaglya

Atommaglya

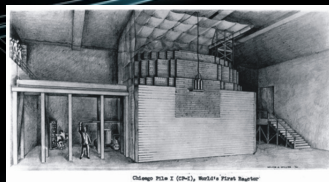
- 1942. december 2., Chicagói Egyetem stadionjának lelátója alatti helyiség



Atommaglya

Atommaglya

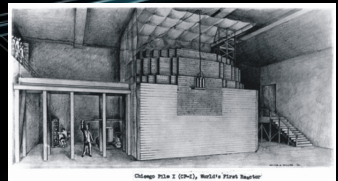
- 1942. december 2., Chicagói Egyetem stadionjának lelátója alatti helyiség
- 6 tonna urán, 315 tonna grafit



Atommaglya

Atommaglya

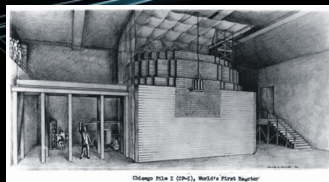
- 1942. december 2., Chicagói Egyetem stadionjának lelátója alatti helyiség
- 6 tonna urán, 315 tonna grafit
- neutron-elnyelő ^{113}Cd -rudak



Atommaglya

Atommaglya

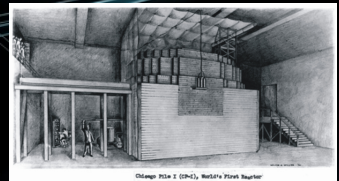
- 1942. december 2., Chicagói Egyetem stadionjának lelátója alatti helyiség
- 6 tonna urán, 315 tonna grafit
- neutron-elnyelő ^{113}Cd -rudak
- „Safety Control Reserve Axed Man” (SCRAM: atomerőművek vészleállító rendszere)



Atommaglya

Atommaglya

- 1942. december 2., Chicagói Egyetem stadionjának lelátója alatti helyiség
- 6 tonna urán, 315 tonna grafit
- neutron-elnyelő ^{113}Cd -rudak
- „Safety Control Reserve Axed Man” (SCRAM: atomerőművek vészleállító rendszere)
- „öngyilkos osztag”: bóros víz



Wigner Jenő

Visszaemlékezés

Szerda reggel a stadion alatt lévő nagy, 10-szer 20 méteres teremben már 8.30-kor gyülekezni kezdtünk. A terem közepén egy nagy halom fekete grafit volt, rajta fa tartórudak látszottak. A máglya alaprajza négyzet alakú volt, fölfelé kissé keskenyedve. A máglya tetején egy 'öngyilkos-osztag' is volt, készen arra, hogy szükség esetén neutronelnyelő bórosvizet öntsön a reaktorba.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

A kísérlet 9.45-kor indult. Fermi figyelt. Ő elrendelte a kadmium-rudak fokozatos kihúzását. 11.30-ra majdnem megvalósult az önfenntartó láncreakció, de ekkor Fermi ebédszünetet rendelt el.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

**EBÉDELNI
MENTEM**

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

2.00-kor újra összegyűltünk. Fermi logarléccel a kezében számolt, mellette volt két közvetlen munkatársa, Herbert Anderson és Walter Zinn. Közelében állt Arthur Compton, a Manhattan Project igazgatója.

Mi többiek – lehattunk negyvenen – távolabb helyezkedtünk el. Köztünk volt régi barátom is, Szilárd Leó. Számításai alapján 3.30-kor Fermi kiadta az utasítást, hogy kadmiumrudakat 25 centiméteres adagokban kezdjék tovább kihúzni.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

A neutronszámláló egyre sűrűbben kattogott. A láncreakció már majdnem önfenntartó volt. Mire szinte az egész kadmiumrudat kihúzták, a számláló sűrűbben kattogott, mint bármikor előtte. Az önfenntartó láncreakció megvalósult!

Az atommag energiáját fölszabadítottuk és ellenőrzésünk alatt tartottuk. Mosoly jelent meg az arcokon, néhány taps is elhangzott. De főképp feszülten figyeltünk még 30 percen keresztül. A jelenet nem volt teátrális.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

Fermi olyan alacsony szinten működtette az atommáglyát, hogy senki nem volt veszélyeztetve. De működött a reaktor. 4.00 előtt pár perccel Fermi elrendelte a reaktor leállítását.

A kadmiumrudat visszatolták, a láncreakció leállt. – Tudtam, hogy a kísérlet sikerülni fog. Hiszen ha megépítünk egy kocsi és elé lovakat fogunk, ostorral a lovak közé suhintva elindulnak a lovak, és föltételezhetjük: a kocsi is meg fog indulni.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

Fermi megvalósította a reaktort és a lovak közé vágott. Nem csak ő lehetett képes megvalósítani a láncreakciót, de talán ő volt az, aki ezt ilyen gyorsan meg bírta csinálni.

Ezt a pillanatot előre látva, tíz hónappal korábban Princetonban vettem egy üveg Chiantit és elhoztam Chicagoba. Gondoltam, hogy a háború miatt el fog akadni a bor behozatal Olaszországból.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

Bizonyos mértékig nehezebb volt előre látni, hogy a Chianti hiánycikk lesz, mint hogy a neutron-láncreakció megvalósul. Én viszont átéltem az I. világháborút, és tudtam, hogy a háborúban a luxuscikkek eltűnnek a boltok polcairól. Mindedig a palackot a hátam mögött tartottam egy barna papírzacskóban.

Wigner Jenő

Visszaemlékezés

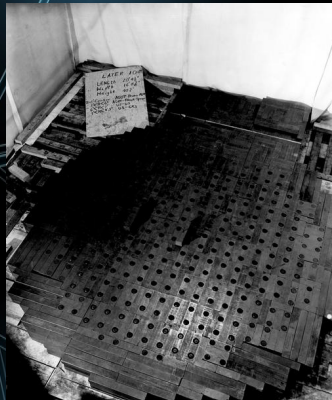
Most elővettem, odaléptem Fermihez és átadtam a Chiantit. Ő megköszönte, kihúzta a dugót, és poharakért küldött. Amikor a papírpoharak megérkeztek, ittunk a vörösborból. Milyen szép és finom élvezetet nyújt a Chianti édes íze!

Pohárköszöntőként azt kívántuk, hogy a nukleáris láncreakció tegye boldogabbá az emberek életét és csökkentse köztük az előítéleteket.

Atommaglya

Érdekességek

- 200 W, 30 percen keresztül



Atommaglya

Érdekességek

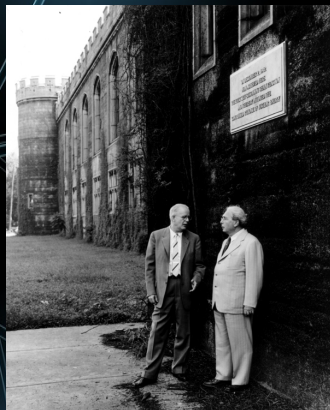
- 200 W, 30 percen keresztül
- Compton, amerikai kormánynak:
„Az olasz kormányos most kötött ki az Új Világban. A benszülöttek barátságosan fogadták.”



Atommaglya

Érdekességek

- 200 W, 30 percen keresztül
- Compton, amerikai kormánynak:
„Az olasz kormányos most kötött ki az Új Világban. A benszülöttek barátságosan fogadták.”
- szabadalom: Enrico Fermi, Szilárd Leó



Atommaglya

Érdekességek

- 200 W, 30 percen keresztül
- Compton, amerikai kormánynak:
„Az olasz kormányos most kötött ki
az Új Világban. A benszülöttek
barátságosan fogadták.”
- szabadalom: Enrico Fermi, Szilárd
Leó
- USA megvásárolta 1 \$-ért





Atombomba

Mi kell az atombombához?

- ^{235}U (^{238}U nagy neutronfogyasztású)

Atombomba

Mi kell az atombombához?

- ^{235}U (^{238}U nagy neutronfogyasztású)
- el kell különíteni: 0,7%-ról 90%-ra

Atombomba

Mi kell az atombombához?

- ^{235}U (^{238}U nagy neutronfogyasztású)
- el kell különíteni: 0,7%-ról 90%-ra
- láncreakciót nem kell fékezni!

Atombomba

Mi kell az atombombához?

- ^{235}U (^{238}U nagy neutronfogyasztású)
- el kell különíteni: 0,7%-ról 90%-ra
- láncreakciót nem kell fékezni!
- „a ^{235}U -ból készített atombomba nem akkora volna, mint egy ruhásszekrény, hanem akkora, mint egy ananász” (Wigner, Heisenberg)

Atombomba

Mi kell az atombombához?

- ^{235}U (^{238}U nagy neutronfogyasztású)
- el kell különíteni: 0,7%-ról 90%-ra
- láncreakciót nem kell fékezni!
- „a ^{235}U -ból készített atombomba nem akkora volna, mint egy ruhásszekrény, hanem akkora, mint egy ananász” (Wigner, Heisenberg)
- elegendően nagy tömeg \Rightarrow neutronok az uránon belül maradnak

Atombomba

Mi kell az atombombához?

- ^{235}U (^{238}U nagy neutronfogyasztású)
- el kell különíteni: 0,7%-ról 90%-ra
- láncreakciót nem kell fékezni!
- „a ^{235}U -ból készített atombomba nem akkora volna, mint egy ruhásszekrény, hanem akkora, mint egy ananász” (Wigner, Heisenberg)
- elegendően nagy tömeg \Rightarrow neutronok az uránon belül maradnak
- kritikus tömeg: urán esetében 7 kg (kb. fél liter!)

Atombomba

Hogyan robbantsuk fel?

- két *szubkritikus tömeg*

Atombomba

Hogyan robbantsuk fel?

- két *szubkritikus* tömeg
- hozzuk össze őket

Atombomba

Hogyan robbantsuk fel?

- két *szubkritikus* tömeg
- hozzuk össze őket
 - hagyományos robbantás összepréseli

Atombomba

Hogyan robbantsuk fel?

- két *szubkritikus* tömeg
- hozzuk össze őket
 - hagyományos robbantás összepréseli
 - középen neutronforrás (láncreakció beindítása)

Atombomba

Hogyan robbantsuk fel?

- két *szubkritikus* tömeg
- hozzuk össze őket
 - hagyományos robbantás összepréseli
 - közepén neutronforrás (láncreakció beindítása)
 - összerobbantás számításai: Neumann János

Atombomba

Hogyan robbantsuk fel?

- két *szubkritikus* tömeg
- hozzuk össze őket
 - hagyományos robbantás összepréseli
 - középen neutronforrás (láncreakció beindítása)
 - összerobbantás számításai: Neumann János
- Oak Ridge: urán dúsítás, kb. 10 kg

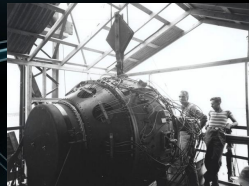
Trinity

- teszt előtti robbantás: 1945. május 7.



Trinity

- teszt előtti robbantás: 1945. május 7.
- „Trinity”, Új-Mexikó, 1945. július 16., 5:30



Trinity

- teszt előtti robbantás: 1945. május 7.
- „Trinity”, Új-Mexikó, 1945. július 16., 5:30
- 20 kt hatására 3 m mély, 330 m széles radioaktív üvegkráter



Trinity

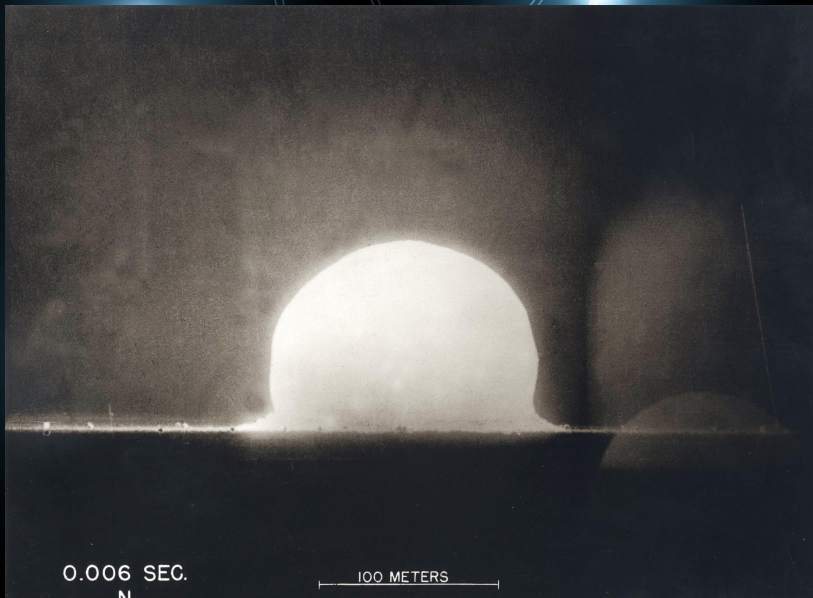
- teszt előtti robbantás: 1945. május 7.
- „Trinity”, Új-Mexikó, 1945. július 16., 5:30
- 20 kt hatására 3 m mély, 330 m széles radioaktív üvegkráter
- lökéshullám 160 km távolságban is érezhető!

Trinity

- teszt előtti robbantás: 1945. május 7.
- „Trinity”, Új-Mexikó, 1945. július 16., 5:30
- 20 kt hatására 3 m mély, 330 m széles radioaktív üvegkráter
- lökéshullám 160 km távolságban is érezhető!
- egy részeg katona 3-4 napra megvakult

Trinity

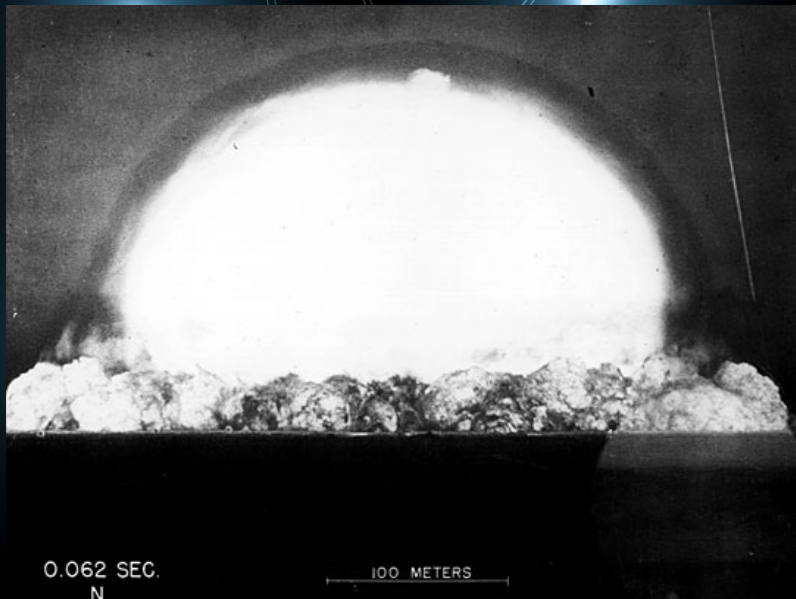
- teszt előtti robbantás: 1945. május 7.
- „Trinity”, Új-Mexikó, 1945. július 16., 5:30
- 20 kt hatására 3 m mély, 330 m széles radioaktív üvegkráter
- lökéshullám 160 km távolságban is érezhető!
- egy részeg katona 3-4 napra megvakult
- „aznap kétszer kelt fel a nap”





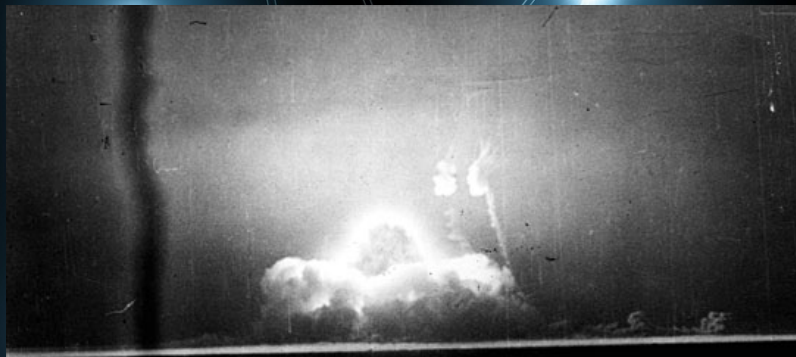
0.025 SEC.
N

100 METERS





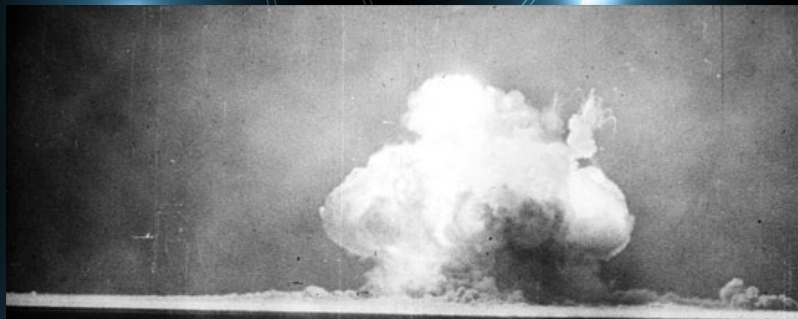




3.0 SEC.
N

100 METERS





7.0 SEC.
N

— 100 METERS



Hirosima

Little Boy

- Szilárd, Teller, és több tudós petíciót írtak (Leslie L. Groves tábornok)



Hirosima

Little Boy

- Szilárd, Teller, és több tudós petíciót írtak (Leslie L. Groves tábornok)
- $m = 4400 \text{ kg}$, $\ell = 3 \text{ m}$, $d = 71 \text{ cm}$



Hirosima

Little Boy

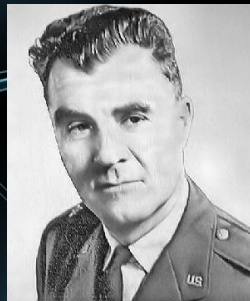
- Szilárd, Teller, és több tudós petíciót írtak (Leslie L. Groves tábornok)
- $m = 4400 \text{ kg}$, $\ell = 3 \text{ m}$, $d = 71 \text{ cm}$
- ^{235}U



Hirosima

Little Boy

- Szilárd, Teller, és több tudós petíciót írtak (Leslie L. Groves tábornok)
- $m = 4400 \text{ kg}$, $\ell = 3 \text{ m}$, $d = 71 \text{ cm}$
- ^{235}U
- Enola Gay (Paul W. Tibbets)



Hirosima

Little Boy

- Szilárd, Teller, és több tudós petíciót írtak (Leslie L. Groves tábornok)
- $m = 4400 \text{ kg}$, $\ell = 3 \text{ m}$, $d = 71 \text{ cm}$
- ^{235}U
- Enola Gay (Paul W. Tibbets)
- 1945. augusztus 6. (8:15)



Nagaszaki

Fat Man

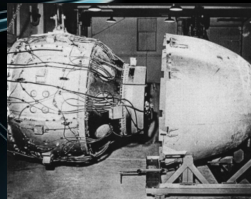
- ${}_{94}^{239}\text{Pu}$
 - jobb hasadóanyag
 - Földön nyomokban (urán spontán hasadásakor)
 - tapintásra langyos
 - urán-grafit tenyésztőreaktor



Nagaszaki

Fat Man

- $^{239}_{94}\text{Pu}$
- szintén összerobbantják



Nagaszaki

Fat Man

- ${}_{94}^{239}\text{Pu}$
- szintén összerobbantják
- nyomás: $100 \cdot 10^6$ atm nyomás (nagyobb, mint a Föld középpontjában!)



Nagaszaki

Fat Man

- ${}_{94}^{239}\text{Pu}$
- szintén összerobbantják
- nyomás: $100 \cdot 10^6$ atm nyomás (nagyobb, mint a Föld középpontjában!)
- nagyobb sűrűség \Rightarrow kisebb a kritikus tömeg (jelenleg akár < 1 kg!)



Nagaszaki

Fat Man

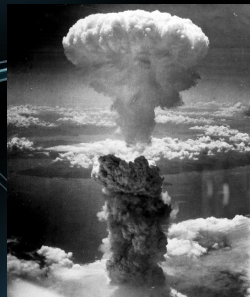
- ${}_{94}^{239}\text{Pu}$
- szintén összerobbantják
- nyomás: $100 \cdot 10^6$ atm nyomás (nagyobb, mint a Föld középpontjában!)
- nagyobb sűrűség \Rightarrow kisebb a kritikus tömeg (jelenleg akár < 1 kg!)
- $m = 4670$ kg, $l = 3,3$ m, $d = 1,5$ m



Nagaszaki

Fat Man

- ${}_{94}^{239}\text{Pu}$
- szintén összerobbantják
- nyomás: $100 \cdot 10^6$ atm nyomás (nagyobb, mint a Föld középpontjában!)
- nagyobb sűrűség \Rightarrow kisebb a kritikus tömeg (jelenleg akár < 1 kg!)
- $m = 4670$ kg, $l = 3,3$ m, $d = 1,5$ m
- 1945. augusztus 9.



Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)
- $Z < Z_{\text{vas}} \Rightarrow$ energiefelszabadulás

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)
- $Z < Z_{\text{vas}} \Rightarrow$ energiazabadozás
- Nap, csillagok: $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)
- $Z < Z_{\text{vas}} \Rightarrow$ energiazabadozás
- Nap, csillagok: $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Hidrogénbomba

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)
- $Z < Z_{\text{vas}} \Rightarrow$ energiazabadozás
- Nap, csillagok: $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Hidrogénbomba

- atombomba robbanása: $100 \cdot 10^6 \text{ K}$

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)
- $Z < Z_{\text{vas}} \Rightarrow$ energiazabadozás
- Nap, csillagok: $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Hidrogénbomba

- atombomba robbanása: $100 \cdot 10^6 \text{ K}$
- deutérium ill. deutérium-trícium fúzió!

Hidrogénbomba

Fúzió

- atomok egyesülnek
- kisebb rendszámúak ($Z = 1, 2, \dots$)
- $Z < Z_{\text{vas}} \Rightarrow$ energiazabadozás
- Nap, csillagok: $\text{H} \rightarrow \text{He}$

Hidrogénbomba

- atombomba robbanása: $100 \cdot 10^6$ K
- deutérium ill. deutérium-trícium fúzió!
- „A Nap legmélyebb energiáját lehoztuk a Földre. Prométheusz története többé nem csak legenda, hanem valósággá vált.”

Atomreaktor működése I.

nagyon nagy vonalakban

- kontrollált láncreakció

Atomreaktor működése I.

nagyon nagy vonalakban

- kontrollált lánreakció
- hőtermelődés

Atomreaktor működése I.

nagyon nagy vonalakban

- kontrollált láncreakció
- hőtermelődés
- víz → gőz

Atomreaktor működése I.

nagyon nagy vonalakban

- kontrollált láncreakció
- hőtermelődés
- víz → gőz
- turbina („mozgási indukció”)

Atomreaktor működése I.

nagyon nagy vonalakban

- kontrollált lánreakció
- hőtermelődés
- víz → gőz
- turbina („mozgási indukció”)

} hőerőművek elve

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol
 - visszaugráskor az energia felszabadul

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol
 - visszaugráskor az energia felszabadul
 - akár meg is gyulladhat

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol
 - visszaugráskor az energia felszabadul
 - akár meg is gyulladhat
 - Wigner-effektus, „wigneritisz”

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol
 - visszaugráskor az energia felszabadul
 - akár meg is gyulladhat
 - Wigner-effektus, „wigneritisz”
- nehézvíz

Atomreaktorok működése II.

Moderátor

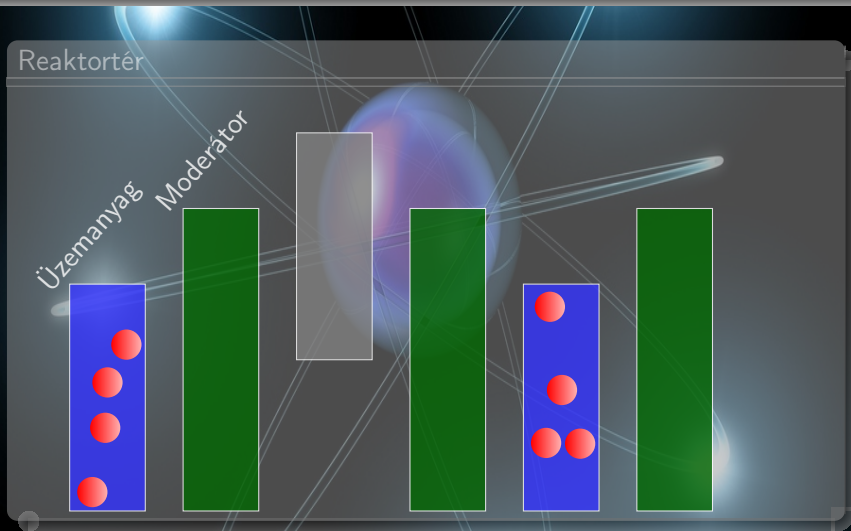
- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol
 - visszaugráskor az energia felszabadul
 - akár meg is gyulladhat
 - Wigner-effektus, „wigneritisz”
- nehézvíz
- forralóvizes („BWR”)

Atomreaktorok működése II.

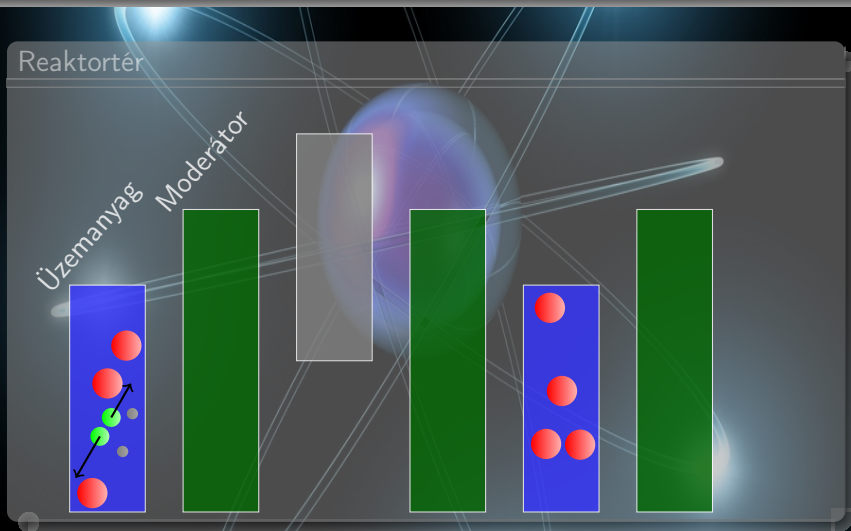
Moderátor

- lassú neutron: moderátor
- szén (grafit)
 - neutron szénatomot „üthet” ki a rácsból
 - kiütött szénatom energiát tárol
 - visszaugráskor az energia felszabadul
 - akár meg is gyulladhat
 - Wigner-effektus, „wigneritisz”
- nehézvíz
- forralóvizes („BWR”)
- nyomottvizes („PWR”): legelterjedtebb

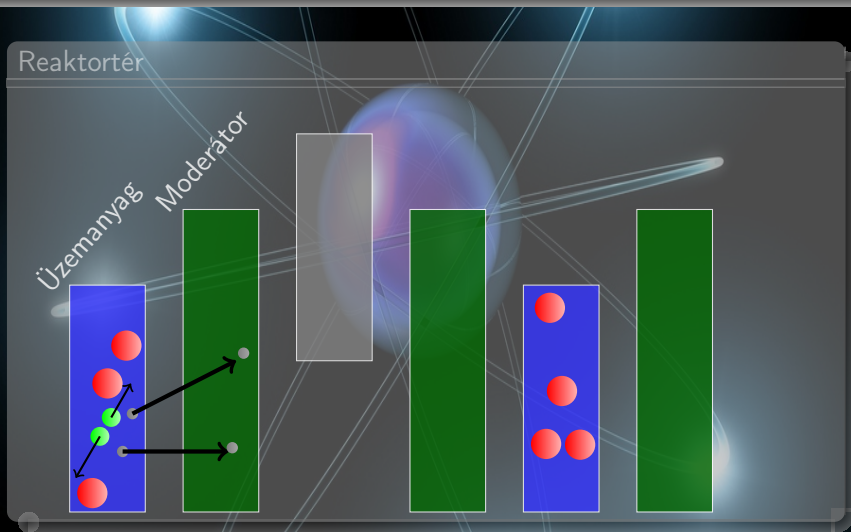
Atomreaktorok működése III.



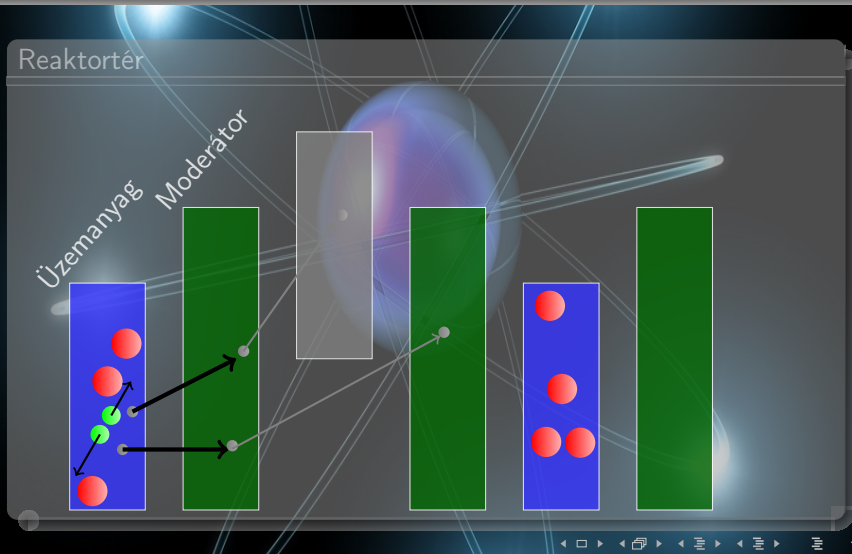
Atomreaktorok működése III.



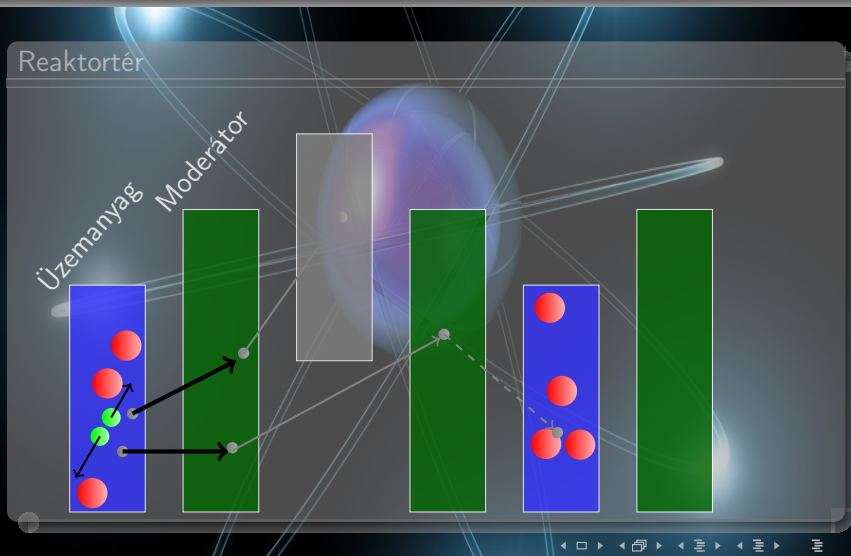
Atomreaktorok működése III.



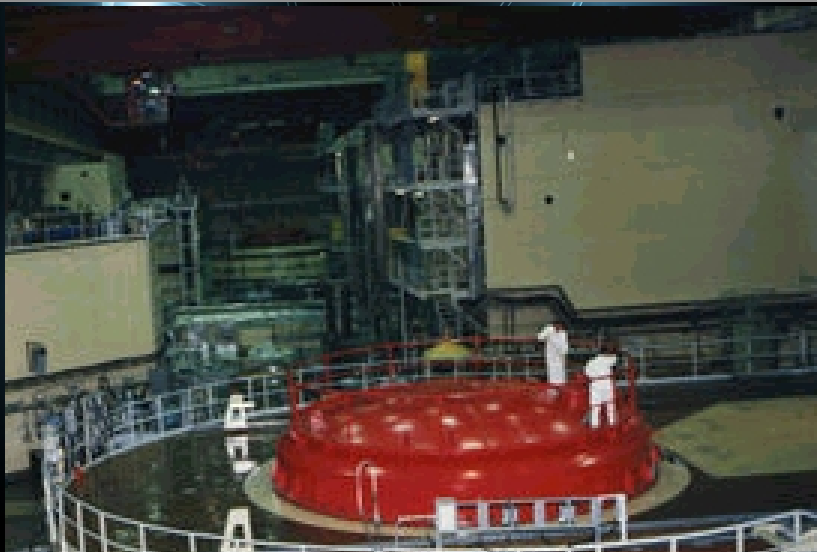
Atomreaktorok működése III.



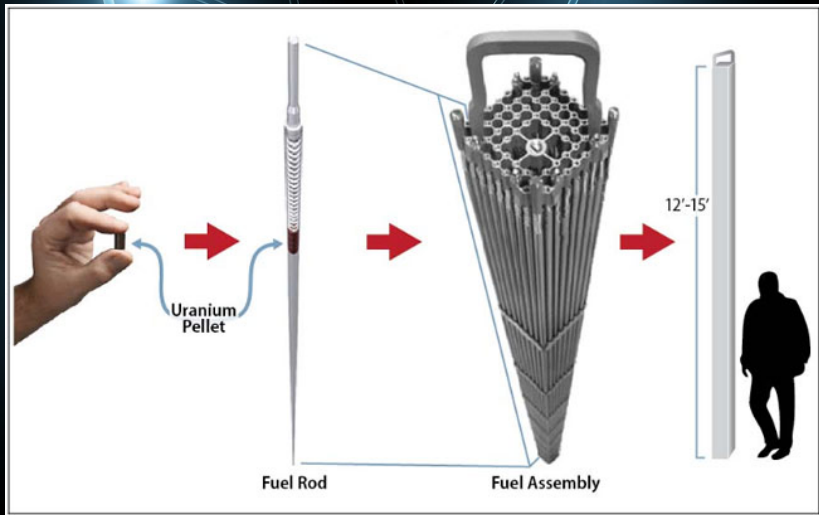
Atomreaktorok működése III.



Atomreaktor



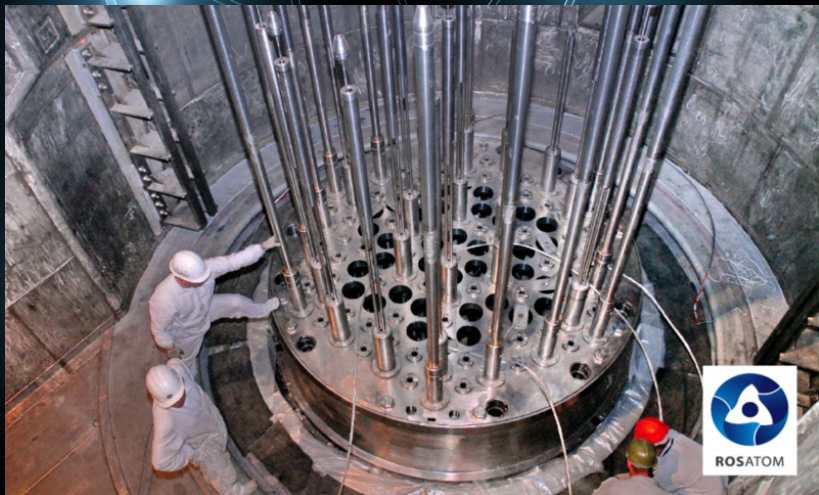
Atomreaktor



Atomreaktor



Atomreaktor



Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Biztonság

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Biztonság

- hasadás megszalad?

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórod + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Biztonság

- hasadás megszalad?
- a víz melegszik \Rightarrow forr

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Biztonság

- hasadás megszalad?
- a víz melegszik \Rightarrow forr
- buborékok jelennek meg

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Biztonság

- hasadás megszalad?
- a víz melegszik \Rightarrow forr
- buborékok jelennek meg
- moderátort veszít

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

Biztonság

- hasadás megszalad?
- a víz melegszik \Rightarrow forr
- buborékok jelennek meg
- moderátort veszít
- kevesebb lassú neutron

Nyomottvizes reaktor (PWR)

Működés

- moderátor: nagynyomású víz
- nyomás ≈ 100 bar \Rightarrow magas forráspont
- $T_{be} = 275^\circ\text{C}$, $T_{ki} = 315^\circ\text{C}$
- szabályzórúd + vízbe kevert bórsav
- bórsav mennyiségét csökkentik (üzemanyag kiégése)

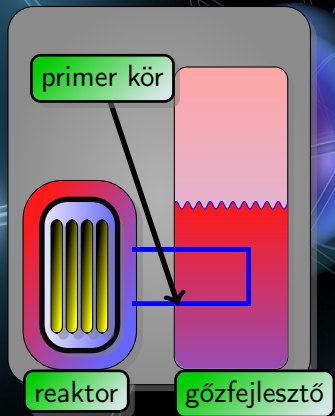
Biztonság

- hasadás megszalad?
- a víz melegszik \Rightarrow forr
- buborékok jelennek meg
- moderátort veszít
- kevesebb lassú neutron
- kevesebb hasadás

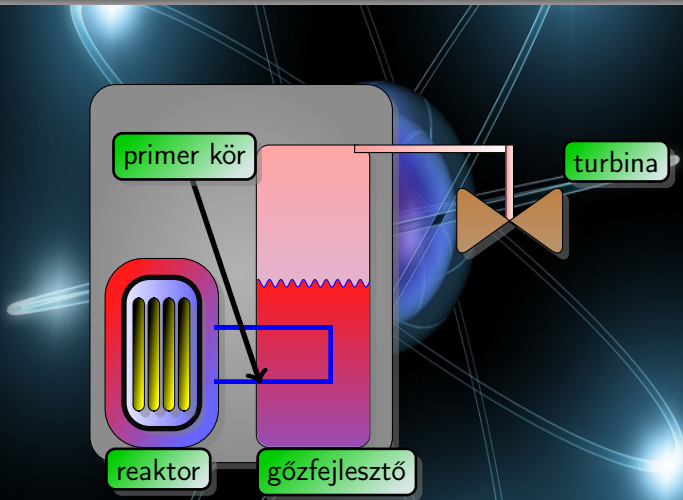
Atomerőművek felépítése



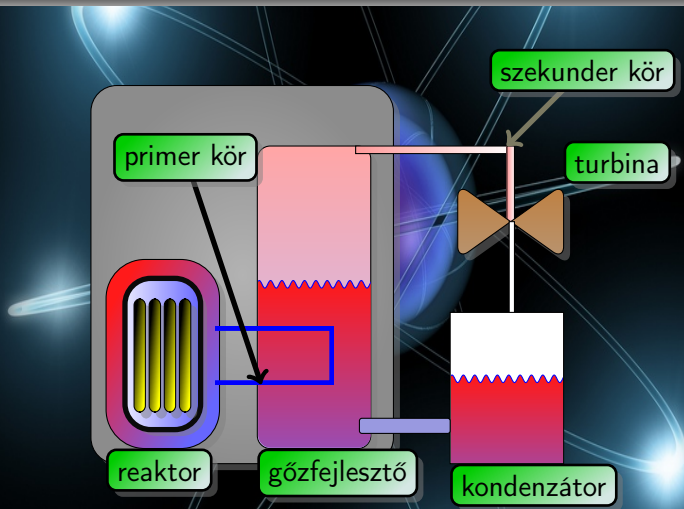
Atomerőművek felépítése



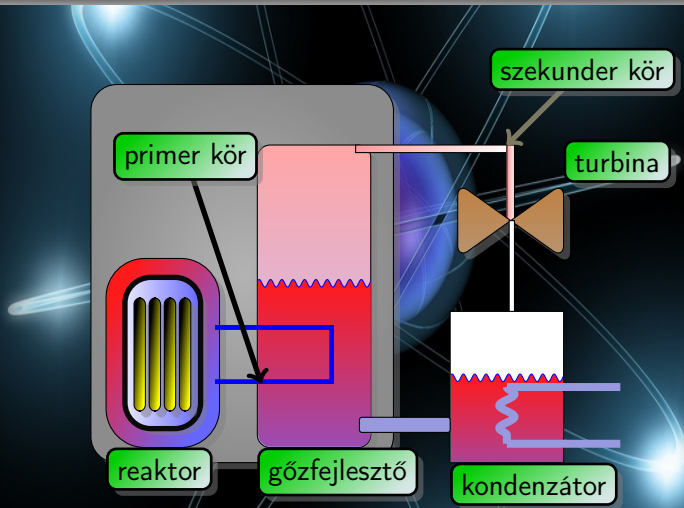
Atomerőművek felépítése



Atomerőművek felépítése



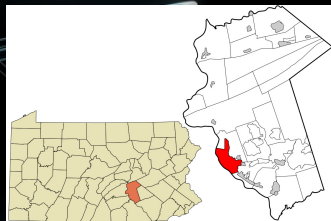
Atomerőművek felépítése



Three Mile Island

Three Mile Island

- Harrisburg, Pennsylvania, USA,
1979. március 28.



Three Mile Island

Three Mile Island

- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka



Three Mile Island

Three Mile Island

- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka
- nagy mértékű nyomás- és hőmérsékletnövekedés



Three Mile Island

Three Mile Island

- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka
- nagy mértékű nyomás- és hőmérsékletnövekedés
- időben sikerült megállítani



Three Mile Island

Three Mile Island

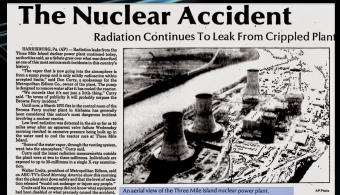
- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka
- nagy mértékű nyomás- és hőmérsékletnövekedés
- időben sikerült megállítani
- jelentős radioaktivitás nem került ki



Three Mile Island

Three Mile Island

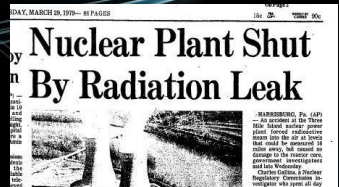
- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka
- nagy mértékű nyomás- és hőmérsékletnövekedés
- időben sikerült megállítani
- jelentős radioaktivitás nem került ki
- média szerepe!



Three Mile Island

Three Mile Island

- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka
- nagy mértékű nyomás- és hőmérsékletnövekedés
- időben sikerült megállítani
- jelentős radioaktivitás nem került ki
- média szerepe!



Three Mile Island

Three Mile Island

- Harrisburg, Pennsylvania, USA, 1979. március 28.
- tervezési hiba ill. szakszerűtlen karbantartási munka
- nagy mértékű nyomás- és hőmérsékletnövekedés
- időben sikerült megállítani
- jelentős radioaktivitás nem került ki
- média szerepe!



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

A gépek elég jól dolgoztak. Ha nem történt volna emberi mulasztás, az egész kis üzemzavar maradt volna. Minekutána ezt megértettük, vizsgálatunk irányt változtatott.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Keményen faggattuk az operátorokat, de ők egyre azt válaszolták, hogy senki nem képezte ki őket események ilyen sorozatára. „Ezt a gombot kell megnyomni”-típusú képzést kaptak.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Világossá vált, hogy nem a gépek hibáztak, hanem az emberek. Nagy üzemzavar gyors beavatkozást igényel, ezt magának a gépnek kell elvégeznie. A kisebb zavarok rendszerint lassan bontakoznak ki, ezek elhárítása rábízható az emberi döntésekre.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Az ilyen kisebb zavarok gyakoribbak, mint a nagy üzemzavarok, ezért megfelelő figyelmet kell rájuk fordítani.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Olyan operátorokra van szükség, akik alaposan értik az egész atomerőmű működését, következésképp megfelelő módon képesek reagálni a legkisebb zavarokra is.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Bizottságunk munkája közben elgondolkoztam, miként lesz képes ez az ország megoldani a ma komplex problémáit.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Ezek nem oldhatók meg morzsánként.
Megoldásukhoz széleskörű nyilvánosság
és egyetértés szükséges. Ezért nem
oldhatók meg a tömegkommunikációs
szervek támogatása nélkül.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

De a televíziós programok minden ügyet egy perc alatt elintéznek. Azt tapasztaltam, hogy a „mélyenszántó magyarázat” a televízióban öt percet jelent, amit csak kétszer szakít meg hirdetés.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

A legfelelősségteljesebb újságok kinyomtathatják a teljes szöveget, de az csak ahhoz az olvasóhoz jut el, aki figyelmesen elolvassa a 79. oldal alját is.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Ha valaki csak a felét olvassa el, ha csak a főcímek maradnak meg a fejében, akkor torzított benyomása támad az ügyről.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

A riporterek szeretik a véleménykülönbségeket. Egy nap majd ezt olvashatjuk az újságban:



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Három tudós, név szerint Galilei, Newton és Einstein arra következtetnek, hogy a Föld gömbölyű. De a New York Times értesült róla, hogy John Doe professzornak meggyőző bizonyítékok állnak rendelkezésére arra vonatkozóan, hogy a Föld sík.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

És a riport részrehajlás nélkül folytatódik, egyenlő teret biztosítva mindkét nézet kifejtéséhez.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Ez persze karikatúra, de extrém esetek ismételten előfordulnak a nukleáris vita során. Így nem is csodálkozom, hogy az amerikai társadalom össze van zavarodva ez ügyben.



Kemény János (1926-1992)

Visszaemlékezés

Persze tudom, hogy az egész országot érintő ügyben a Parlamentnek kell döntenie. Egyik éjjel Washingtonban vérfagyasztó álmom volt: az amerikai képviselőház 215 szavazattal 197 ellenében eltörölte Newton gravitációs törvényét.



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.
- Pripjaty város mellett, Vlagyimir Iljics Lenin erőmű



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.
- Pripjaty város mellett, Vlagyimir Iljics Lenin erőmű
- grafit moderátoros (RBMK típus): nincs „önszabályozás”



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.
- Pripjaty város mellett, Vlagyimir Iljics Lenin erőmű
- grafit moderátoros (RBMK típus): nincs „önszabályozás”
- 4-es blokk



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.
- Pripjaty város mellett, Vlagyimir Iljics Lenin erőmű
- grafit moderátoros (RBMK típus): nincs „önszabályozás”
- 4-es blokk
- hűtés: $28 \text{ m}^3/\text{h}$ víz



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.
- Pripjaty város mellett, Vlagyimir Iljics Lenin erőmű
- grafit moderátoros (RBMK típus): nincs „önszabályozás”
- 4-es blokk
- hűtés: $28 \text{ m}^3/\text{h}$ víz
- áramkimaradás esetén: dízelaggregátor



Csernobil

Általános információk

- Csernobil, Szovjetunió (jelenleg Ukrajna), 1986. április 26.
- Pripjaty város mellett, Vlagyimir Iljics Lenin erőmű
- grafit moderátoros (RBMK típus): nincs „önszabályozás”
- 4-es blokk
- hűtés: $28 \text{ m}^3/\text{h}$ víz
- áramkimaradás esetén: dízelaggregátor
- 60-80 másodperc



Csernobil

Teszt

- ötlet: leálló turbógenerátor hajtja a keringtetőszivattyúkat (amíg az aggregátorok beindulnak)

Csernobil

Teszt

- ötlet: leálló turbógenerátor hajtja a keringtetőszivattyúkat (amíg az aggregátorok beindulnak)
- sikertelen tesztek (1982, 1984, 1985)

Csernobil

Teszt

- ötlet: leálló turbógenerátor hajtja a keringtetőszivattyúkat (amíg az aggregátorok beindulnak)
- sikertelen tesztek (1982, 1984, 1985)
- további finomítások \Rightarrow újabb teszt

Csernobil

Teszt

- ötlet: leálló turbógenerátor hajtja a keringtetőszivattyúkat (amíg az aggregátorok beindulnak)
- sikertelen tesztek (1982, 1984, 1985)
- további finomítások \Rightarrow újabb teszt
- 1986. április 25., 1:00, hőteljesítmény csökkentés

Csernobil

Teszt

- ötlet: leálló turbógenerátor hajtja a keringtetőszivattyúkat (amíg az aggregátorok beindulnak)
- sikertelen tesztek (1982, 1984, 1985)
- további finomítások \Rightarrow újabb teszt
- 1986. április 25., 1:00, hőteljesítmény csökkentés
- 13:00-ra: 3,2 GW \rightarrow 1,6 GW

Csernobil

Teszt

- ötlet: leálló turbógenerátor hajtja a keringtetőszivattyúkat (amíg az aggregátorok beindulnak)
- sikertelen tesztek (1982, 1984, 1985)
- további finomítások \Rightarrow újabb teszt
- 1986. április 25., 1:00, hőteljesítmény csökkentés
- 13:00-ra: 3,2 GW \rightarrow 1,6 GW
- 23:10-re: lekapcsolják a 4-es blokkot a hálózatról

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása
- 01:03-kor: stabil 200 MW

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása
- 01:03-kor: stabil 200 MW
- 01:23:04: kísérlet kezdete

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása
- 01:03-kor: stabil 200 MW
- 01:23:04: kísérlet kezdete
- reaktorban nő a gőz mennyisége

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása
- 01:03-kor: stabil 200 MW
- 01:23:04: kísérlet kezdete
- reaktorban nő a gőz mennyisége
- nem nyel el neutron

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása
- 01:03-kor: stabil 200 MW
- 01:23:04: kísérlet kezdete
- reaktorban nő a gőz mennyisége
- nem nyel el neutron
- teljesítmény gyorsan nő

Csernobil

Robbanás

- 00:28-kor: 30 MW (miért?)
- szabályzórudak kihúzása
- 01:03-kor: stabil 200 MW
- 01:23:04: kísérlet kezdete
- reaktorban nő a gőz mennyisége
- nem nyel el neutron
- teljesítmény gyorsan nő
- 01:23:40 „AZ-5” (szabályzórudak, SCRAM)

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)
- nagy hő \Rightarrow rudak deformálódtak

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)
- nagy hő \Rightarrow rudak deformálódtak
- rudak megakadtak \Rightarrow nem állította le a láncreakciót

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)
- nagy hő \Rightarrow rudak deformálódtak
- rudak megakadtak \Rightarrow nem állította le a láncreakciót
- 01:23:47 30 GW (eredeti: \approx 3 GW)

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)
- nagy hő \Rightarrow rudak deformálódtak
- rudak megakadtak \Rightarrow nem állította le a láncreakciót
- 01:23:47 30 GW (eredeti: \approx 3 GW)
- megolvadó üzemanyagrudak, növekvő gőznyomás

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)
- nagy hő \Rightarrow rudak deformálódtak
- rudak megakadtak \Rightarrow nem állította le a láncreakciót
- 01:23:47 30 GW (eredeti: \approx 3 GW)
- megolvadó üzemanyagrudak, növekvő gőznyomás
- *gőz*robbanás

Csernobil

Robbanás

- rudak üreges végei növelik a reakció mértékét
- 01:23:43 hirtelen teljesítménynövekedés (540 MW)
- nagy hő \Rightarrow rudak deformálódtak
- rudak megakadtak \Rightarrow nem állította le a láncreakciót
- 01:23:47 30 GW (eredeti: \approx 3 GW)
- megolvadó üzemanyagrudak, növekvő gőznyomás
- gőzrobbanás
- tető megsemmisül \Rightarrow radioaktív anyag a légkörbe

Csernobil, időrend

1986. április 25.

- 1:00: hőteljesítmény csökkentése
- 13:00: 3,2 GW \rightarrow 1,6 GW
- 23:10: 4-es blokk lekapcsolva

1986. április 26.

- 00:28: 30 MW, majd 01:03: stabil 200 MW
- 01:23:04: kísérlet kezdete
- 01:23:40: „AZ-5”
- 01:23:43: 540 MW
- 01:23:47: 30 GW
- gőzrobbanás

Majak

Kistim

- nukleáris fűtőanyag termelése és újrafeldolgozása



Majak

Kistim

- nukleáris fűtőanyag termelése és újrafeldolgozása
- kb. 90 km² (Szegvár: 86,22 km², Mártély: 41,21 km²)



Majak

Kistim

- nukleáris fűtőanyag termelése és újrafeldolgozása
- kb. 90 km² (Szevvár: 86,22 km², Mártély: 41,21 km²)
- Kistim-tragédia: 1957. szeptember 29.



Majak

Kistim

- nukleáris fűtőanyag termelése és újrafeldolgozása
- kb. 90 km² (Szegevár: 86,22 km², Mártély: 41,21 km²)
- Kistim-tragédia: 1957. szeptember 29.
- nitrátsók elektromos szikrától berobbantak



Majak

Kistim

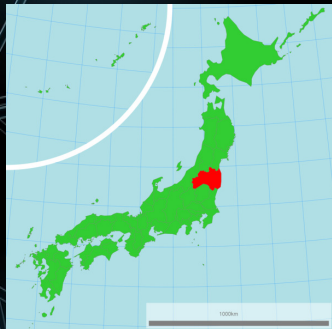
- nukleáris fűtőanyag termelése és újrafeldolgozása
- kb. 90 km² (Szegevár: 86,22 km², Mártély: 41,21 km²)
- Kistim-tragédia: 1957. szeptember 29.
- nitrátsók elektromos szikrától berobbantak
- radioaktív anyag kiszabadul (Csernobil duplája)



Fukusima

Természet

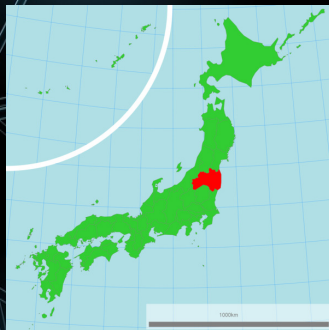
- 2011. március 11, földrengés és cunami



Fukusima

Természet

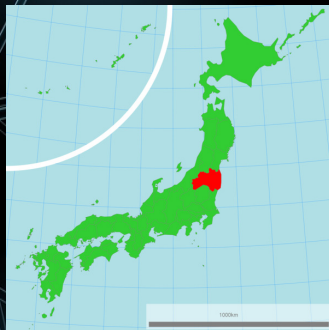
- 2011. március 11, földrengés és cunami
- 4., 5. és 6. blokk karbantartás miatt állt



Fukusima

Természet

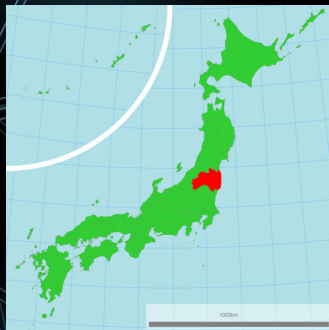
- 2011. március 11, földrengés és cunami
- 4., 5. és 6. blokk karbantartás miatt állt
- 1., 2. és 3. blokk a rengés kezdetén *automatikusan* leálltak



Fukusima

Természet

- 2011. március 11, földrengés és cunami
- 4., 5. és 6. blokk karbantartás miatt állt
- 1., 2. és 3. blokk a rengés kezdetén *automatikus*an leálltak
- a reaktorokat folyamatosan hűteni kell (hasadás folyamatos)



Fukusima

Robbanás

- „áramszünet” esetén dízelaggregátorok

Fukusima

Robbanás

- „áramszünet” esetén dízelaggregátorok
- leállítás után 55 perccel cunami: berendezések tönkrementek

Fukusima

Robbanás

- „áramszünet” esetén dízelaggregátorok
- leállítás után 55 perccel cunami: berendezések tönkrementek
- nincs hűtés!

Fukusima

Robbanás

- „áramszünet” esetén dízelaggregátorok
- leállás után 55 perccel cunami: berendezések tönkrementek
- nincs hűtés!
- 6 órával a földrengés után $\approx 2800\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fukusima

Robbanás

- „áramszünet” esetén dízelaggregátorok
- leállás után 55 perccel cunami: berendezések tönkrementek
- nincs hűtés!
- 6 órával a földrengés után $\approx 2800\text{ }^{\circ}\text{C}$
- radioaktivitás korlátozott területet érintett

Fukusima

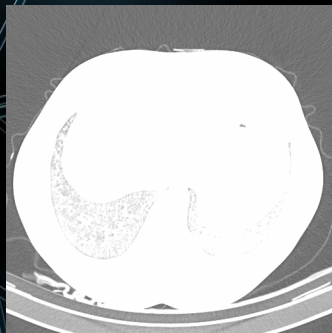
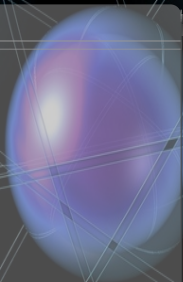
Robbanás

- „áramszünet” esetén dízelaggregátorok
- leállás után 55 perccel cunami: berendezések tönkrementek
- nincs hűtés!
- 6 órával a földrengés után $\approx 2800\text{ }^{\circ}\text{C}$
- radioaktivitás korlátozott területet érintett
- 2021-ig az erőművet leszerelik

Orvosi alkalmazás

Orvosi

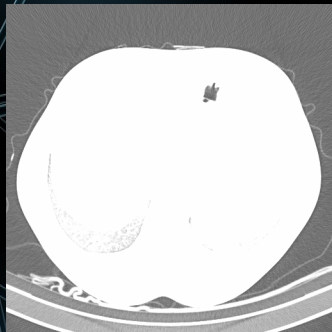
- diagnosztikai



Orvosi alkalmazás

Orvosi

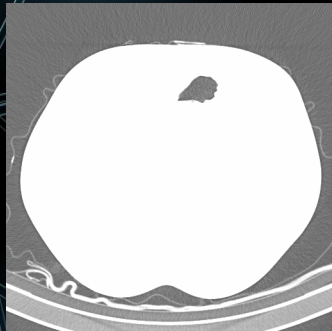
- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György



Orvosi alkalmazás

Orvosi

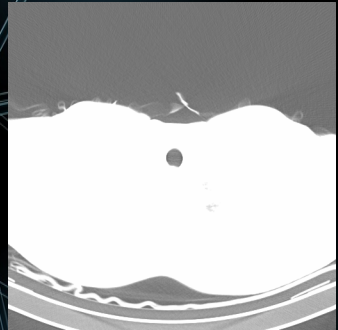
- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése



Orvosi alkalmazás

Orvosi

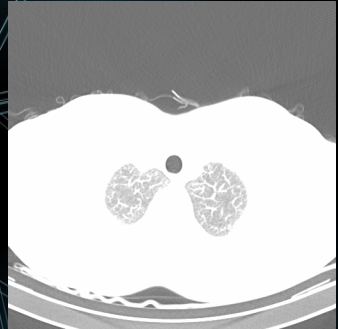
- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás



Orvosi alkalmazás

Orvosi

- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET



Orvosi alkalmazás

Orvosi

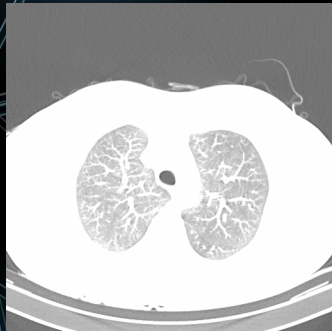
- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET



Orvosi alkalmazás

Orvosi

- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET



Orvosi alkalmazás

Orvosi

- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET



Orvosi alkalmazás

Orvosi

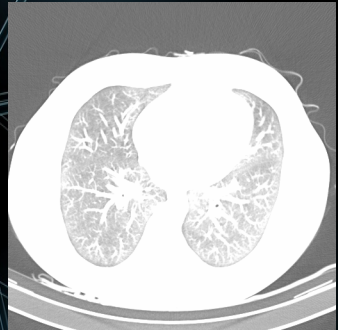
- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET



Orvosi alkalmazás

Orvosi

- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET



Orvosi alkalmazás

Orvosi

- diagnosztikai
 - nyomjelzés (tracer): Hevesy György
 - β -sugárzó anyag nyomonkövetése
 - kísérő γ -sugárzás
 - PET
- terápia
 - pajzsmirigy túlműködése I-izotóppal
 - daganatok (^{60}Co , Ra)

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás
 - $^{210}_{84}\text{Po}$

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás
 - $^{210}_{84}\text{Po}$
 - napi 16 szál egy évig \approx Csernobil egy magyarra

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás
 - $^{210}_{84}\text{Po}$
 - napi 16 szál egy évig \approx Csernobil egy magyarrá
- magyar energia (www.mavir.hu)

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás
 - $^{210}_{84}\text{Po}$
 - napi 16 szál egy évig \approx Csernobil egy magyarrá
- magyar energia (www.mavir.hu)
 - szükséglet: kb. 5000 MW

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás
 - $^{210}_{84}\text{Po}$
 - napi 16 szál egy évig \approx Csernobil egy magyarrá
- magyar energia (www.mavir.hu)
 - szükséglet: kb. 5000 MW
 - termelt: kb. 3600 MW

Érdekességek

Érdekességek

- dohányzás
 - $^{210}_{84}\text{Po}$
 - napi 16 szál egy évig \approx Csernobil egy magyarrá
- magyar energia (www.mavir.hu)
 - szükséglet: kb. 5000 MW
 - termelt: kb. 3600 MW
 - hiányzik: kb. 1400 MW!

Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987



Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987
- 4 blokk (első: 1983. augusztus 10.)



Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987
- 4 blokk (első: 1983. augusztus 10.)
- tervezett leállás: 2032-2037



Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987
- 4 blokk (első: 1983. augusztus 10.)
- tervezett leállítás: 2032-2037
- energiatermelés kb. 2000 MW
($\approx 50\%$)



Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987
- 4 blokk (első: 1983. augusztus 10.)
- tervezett leállítás: 2032-2037
- energiatermelés kb. 2000 MW
($\approx 50\%$)



Paks II.

Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987
- 4 blokk (első: 1983. augusztus 10.)
- tervezett leállás: 2032-2037
- energiatermelés kb. 2000 MW
($\approx 50\%$)



Paks II.

- 2×1200 MW

Paksi erőmű

Adatok

- építés: 1969-1987
- 4 blokk (első: 1983. augusztus 10.)
- tervezett leállás: 2032-2037
- energiatermelés kb. 2000 MW
($\approx 50\%$)



Paks II.

- 2×1200 MW
- napelem: Sellye, 0,5 MW, 2,5 ha \rightarrow 2400 MW, 12 000 ha
(Szeged: 28 000 ha, Balaton: 60 000 ha)

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Az élet szénből, vízből, levegőből támadt, abból táplálkozik és szeret. Ehhez az atommagokat csillagok termonukleáris reaktora gyártotta le.

Élvezted a tavaszi napsütést? A napfényt testté váltó erdők zöldjét? Mindezt a magerők folyamatos munkája szolgáltatja, 8 fényperc távolságban, a Nap centrumában.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Mártóztál-e már a Lukács-fürdő vagy a Hévízi-tó langyos vizében? Ezeket a hajdanvolt szupernóva urán-, tórium-, kálium-magba zárt, lassan kiszivárgó melege fűti.

Olvastál-e téli estén, lámpafény mellett egy lelket megtisztító szépségű költeményt? Hallgattad-e lemezzátszón vagy rádión az öröm-ódát Beethoven-től? Ehhez a villany felét a Paksi Atomerőmű szolgáltatja.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Kezelték-e gyógyító kezek valamelyik rokonodat sugárterápiával?
Ehhez atomreaktorban állították elő a radioaktív izotópot.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

A modern technika nem kockázatmentes. De a tudással és felelőséggel kezelt atomenergetika kockázata eltörpül más, nehezebben kordában tartható (főleg kémiai-biológiai) kockázatokhoz (Pb, As, NO_x, SO₂, CO₂, influenza, AIDS) viszonyítva.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Az emberiséget érő sugárdózis 35%-a természetes eredetű, 40% származik a lakásban összegyűlő radontól, 24% az orvosi ellátással kapcsolatos. 1%-nál kevesebb a nukleáris technika folyamánya, még Csernobilt is beleszámítva.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

A kínai császár egykoron személyesen vizsgáztatta munkába álló hivatalnokait, ő döntötte el, melyik felelet helyes, melyik helytelen. Később is akadtak vezetők, akik egymaguk kívántak határozni népek sorsáról, kényelmi-hatalmi érdekből tudatlanságban tartván az embereket. De az ilyen országok veszítettek a nemzetközi versenyben.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Az óriási Perzsa Birodalom seregét legyőzte a demokratikus Athén.
A Földközi-tenger fölötti uralmat az Oszmán Birodalomtól
hódította el a polgárosodó Velencei Köztársaság.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

A 20. század forró és hideg háborúit demokráciák nyerték, amelyek polgárai ismerték a tényeket, és azok ismeretében együttesen döntöttek. A 21. századba lépő nemzedéknek is meg kell majd hoznia a maga felelős döntéseit béke és háború, kényelem és biztonság, jólét és környezetszennyezés, éghajlatváltozás és globális felelősség tekintetében. Mindehhez nukleáris kultúrára is szükség lesz.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Nem minden politikus, tábornok, döntéshozó, állampolgár volt tudatilag fölkészülve a nukleáris energia mindennél gazdagabb lehetőségére.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Ötven esztendeje uránbombát dobtak Hirosimára,
plutóniumbombát robbantottak Nagaszaki fölött.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Azóta is katonásdit játszva az Egyesült Államok 193, a Szovjetunió 142, Franciaország 44, Kína 23, Anglia 21 kísérleti atombomba-robbantást hajtott végre bolygónk légkörében.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Katonák, magtechnikusok, orvosok gondatlanságból tovább szennyezték radioaktivitással Földünk légkörét és vizeit Csernobilban és másutt. Az áldozatok száma egymilliót is haladhat. Ez a veszteség elkerülhető lett volna.

Zárszó

Marx György: Atommagközelben

Nem az atommag a veszélyes, hanem a butaság.