



Modern kori alkímia: aranycsinálás az ALICE kísérlettel a CERN Nagy Hadronütköztetőjében

Barnaföldi Gergely Gábor, HUN-REN Wigner FK, CERN ALICE

Támogatások: NKFIH ADVANCED_25_1_345, 2024-1.8.5-TET-2024-00022,
2021-4.1.2-NEMZ_KI-2024-00031, NEMZ_KI-2025-00005

AtomCsill, ELTE, Budapest, 2025. december 18.



Tartalom

Mi az alkímia?

Az aranycsinálás rövid története

A CERN és az Nagy Hadronütköztető

Mit mér a CERN LHC ALICE kísérlete?

Hogyan csináljunk ólomból aranyat?



Alkímia

Alkímia

Az okori egyiptomi “fekete föld vidéke”  = kmt hieroglifából származtatják, ami az egyiptomi [gazdag vidékét és tudományt] jelentette. Ez került át görög és arab közvetítéssel az európai nyelvekbe, magába olvasztva az arab ‘al’ határozott névelőt.

→ Dioclecianus császár (296) elégetette az egyiptomi alkímista könyveket



Alkímia

A 4. században Alexandriában újraéledt, a középkorban kiteljesedett 3 fő célban:

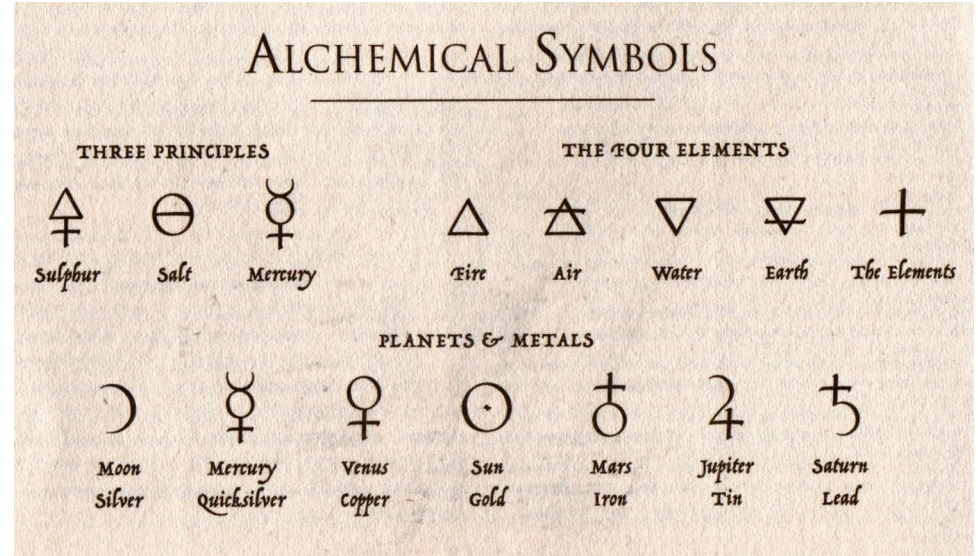
- 1) az arany előállítása közönséges fémekből a bölcsek kövének segítségével;
- 2) olyan elixír felkutatása, amely örök életet, pontosabban örök ifjúságot biztosít;
- 3) olyan módszerek elsajátítása, amellyel mesterségesen életet lehet teremteni, mint a homunkuluszok létrehozása vegyi úton.



Alkímia

Az "Opus Magnum" vagyis a Nagy Mű kitartó keresése, és a sok kísérletezés a célokat ugyan nem teljesítette, de a kémiai elemek megismerésének, a mai kémiai reakciók kutatási módszereit és laboratóriumi eszközöket adtak:

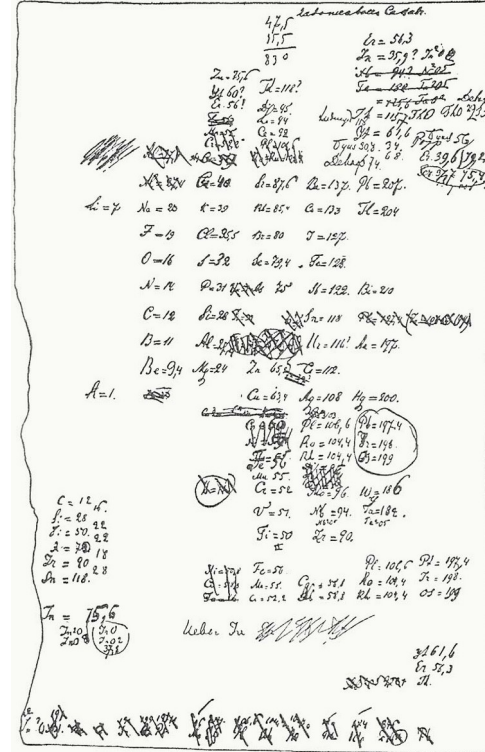
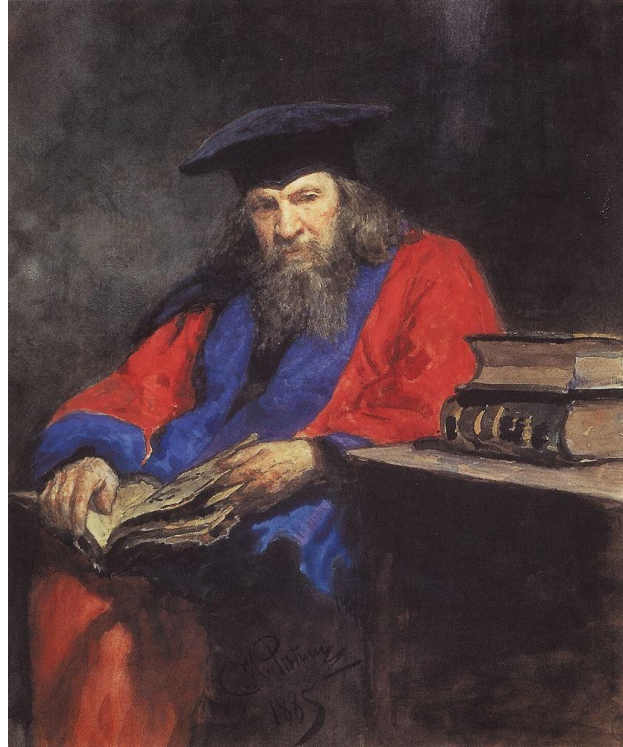
→ Desztilláció, kristályosítás, savak előállítása, stb.



Alkímia

A kémiai elemeket Mendelejev szerkeztette a ma ismét periódusos rendszer ősébe. Az elemeket a bennük található protonok száma határozza meg: a kémiai reakciókban az atommagok elektronjai hatnak kölcsön egymással.

→ Kémiai úton az elem
protonszáma nem változik
meg.



Aranycsinálás

Aranycsinálás

Miért az arany?

Régen: nemesfém, nem oxidál, könnyen észrevehető érc, munkálható, ritka.

Ma: kiváló vezetési képesség, kémiai ellenállóság (királyvíz) + sok gazdasági hype



Miért Ólom?

Régen: könnyen észrevehető érc és munkálható, nehéz, alacsony olvadáspont, gyakori

Ma: mérgező, akkumulátorokban és kutatásokban fontos.



Aranycsinálás

Miért az arany?

Régen: nemesfém, nem oxidál, könnyen észrevehető érc, munkálható, ritka

Ma: kiváló vezetési képesség, kémiai ellenállóság (királyvíz) + sok gazdasági hype

Miért Ólom?

Régen: könnyen észrevehető érc és munkálható, nehéz, alacsony olvadáspont, gyakori.

Ma: mérgező, akkumulátorokban és kutatásokban fontos.

→ Van hasonlóság

Általános	
Név, vegyjel, rendszám	ólom, Pb, 82
Latin megnevezés	plumbum
Elemi sorozat	Másodfajú fémek
Csoport, periódus, mező	14, 6, p
Megjelenés	kékesfehér
	
Atomtömeg	207,2(1) g/mol
Elektronszerkezet	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²
Elektronok héjanként	2, 8, 18, 32, 18, 4
Fizikai tulajdonságok	
Halmazállapot	szilárd
Sűrűség (szobahőm.)	11,34 g/cm ³
Sűrűség (folyadék) az o.p.-on	10,66 g/cm ³
Olvadáspont	600,61 K (327,46 °C, 621,43 °F)
Forráspont	2022 K (1749 °C, 3180 °F)
Olvadáshő $\Delta_{fus} H^\ominus$	4,77 kJ/mol
Párolgáshő $\Delta_{vap} H^\ominus$	179,5 kJ/mol
Moláris hőkapacitás	(25 °C) 26,650 J/(mol·K)



Általános	
Név, vegyjel, rendszám	arany, Au, 79
Latin megnevezés	aurum
Elemi sorozat	átmenetifémek
Csoport, periódus, mező	11, 6, d
Megjelenés	fémes sárga
	
Atomtömeg	196,966569(4) g/mol
Elektronszerkezet	[Xe] 4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ¹
Elektronok héjanként	2, 8, 18, 32, 18, 1
Fizikai tulajdonságok	
Halmazállapot	szilárd
Sűrűség (szobahőm.)	19,300 g/cm ³
Sűrűség (folyadék) az o.p.-on	17,31 g/cm ³
Olvadáspont	1337,33 K (1064,18 °C, 1947,52 °F)
Forráspont	3129 K (2856 °C, 5173 °F)
Olvadáshő $\Delta_{fus} H^\ominus$	12,55 kJ/mol
Párolgáshő $\Delta_{vap} H^\ominus$	324 kJ/mol
Moláris hőkapacitás	(25 °C) 25,418 J/(mol·K)

Aranycsinálás

Az ólom rendszáma pl. 82 (tehát 82 proton van az atommagjában), míg az aranyé 79.

Az aranycsinálás, azaz egyik elem másik elemé történő kémiai átalakítása, a transzmutáció, nem valósult meg: Ólomból vagy higanyból nem lesz arany kémia úton.

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
↓Period																			
1	1 H																	2 He	
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57 La	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	*	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
				*	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
				*	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

Aranycsinálás

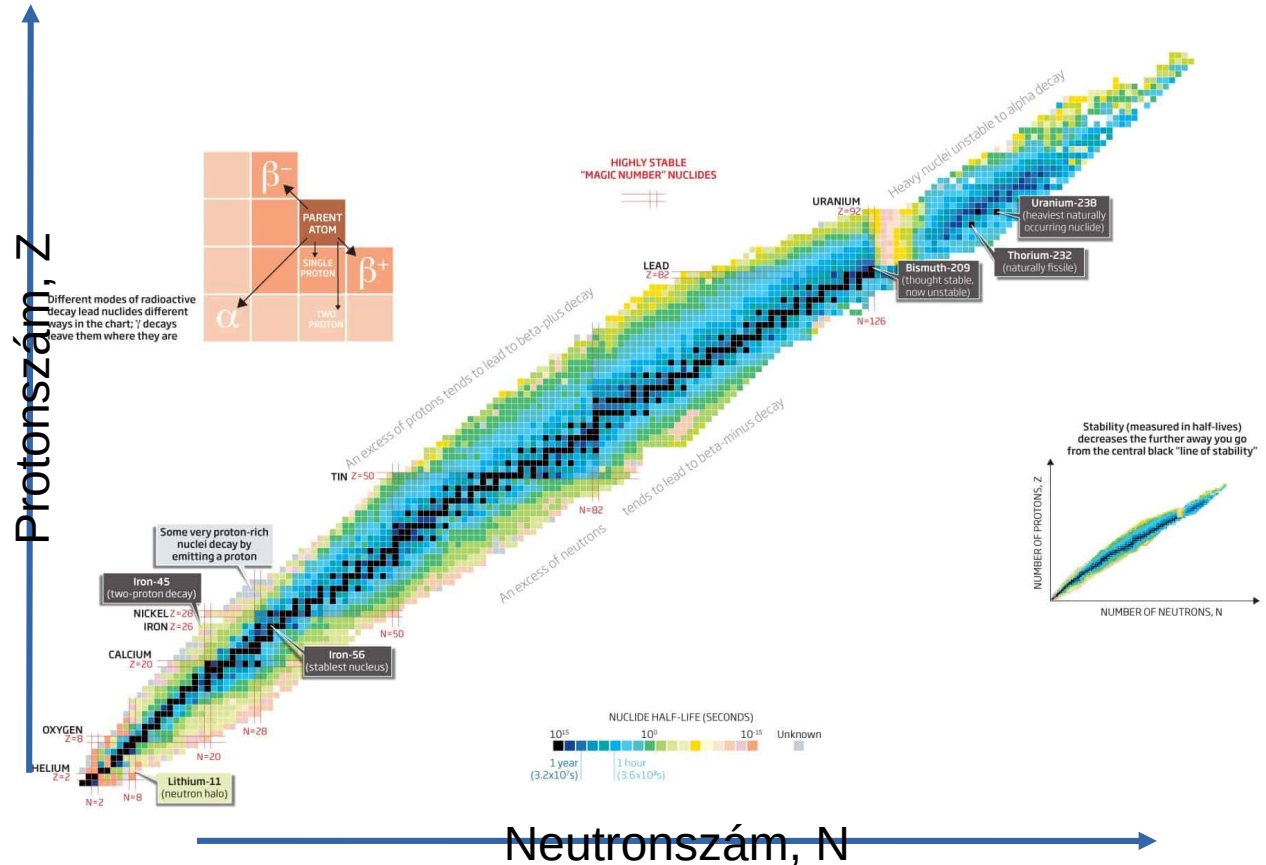
Az ólom rendszáma pl. 82 (tehát 82 proton van az atommagjában), míg az aranyé 79.

Az aranycsinálás, azaz egyik elem másik elemé történő kémiai átalakítása, a transzmutáció, nem valósult meg: Ólomból vagy higanyból nem lesz arany kémia úton.

Group→	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
↓Period																			
1	1 H																	2 He	
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	57 La	*	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	**	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
				*	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
				**	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	

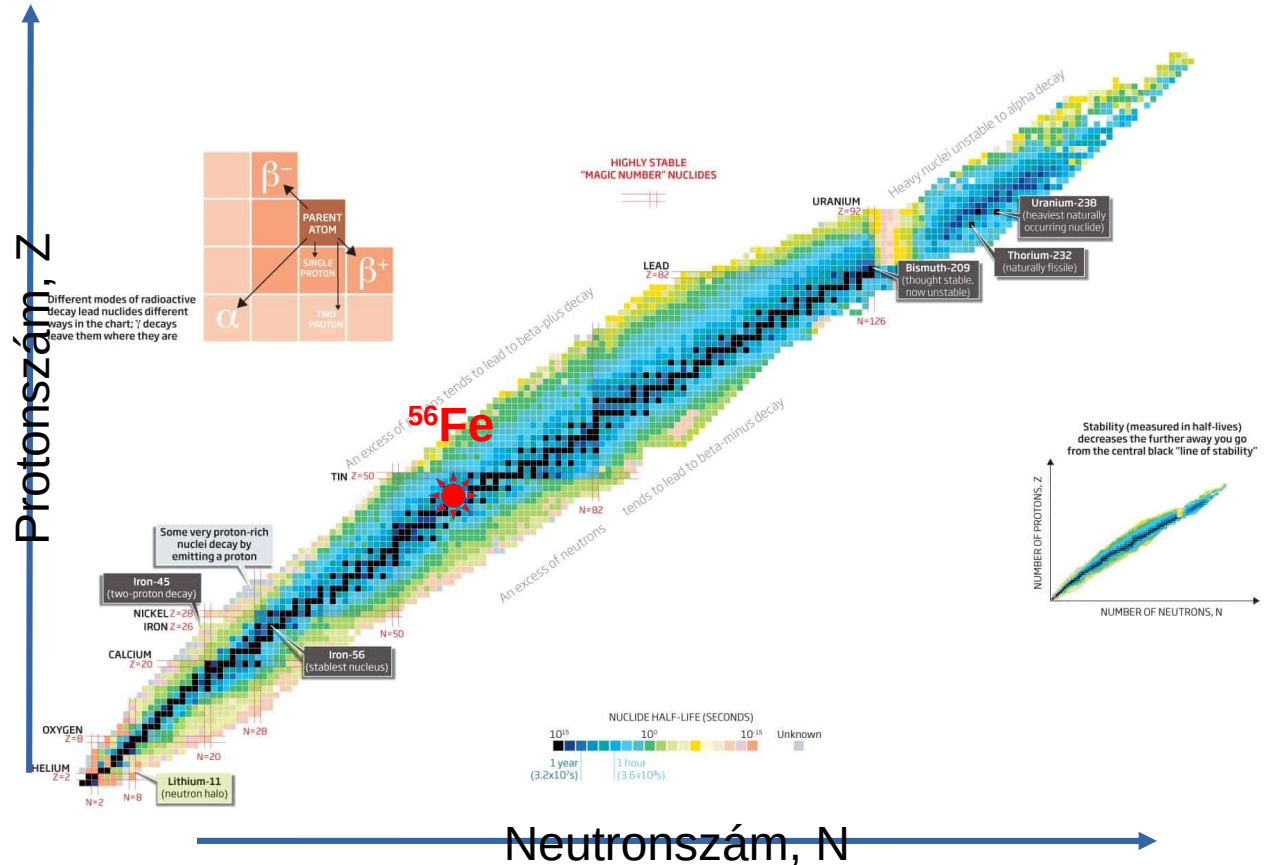
Aranycsinálás

A transzmutáció egy magfizikai folyamat, ahol az atommagban lévő protonok és neutronok száma változik meg.



Aranycsinálás

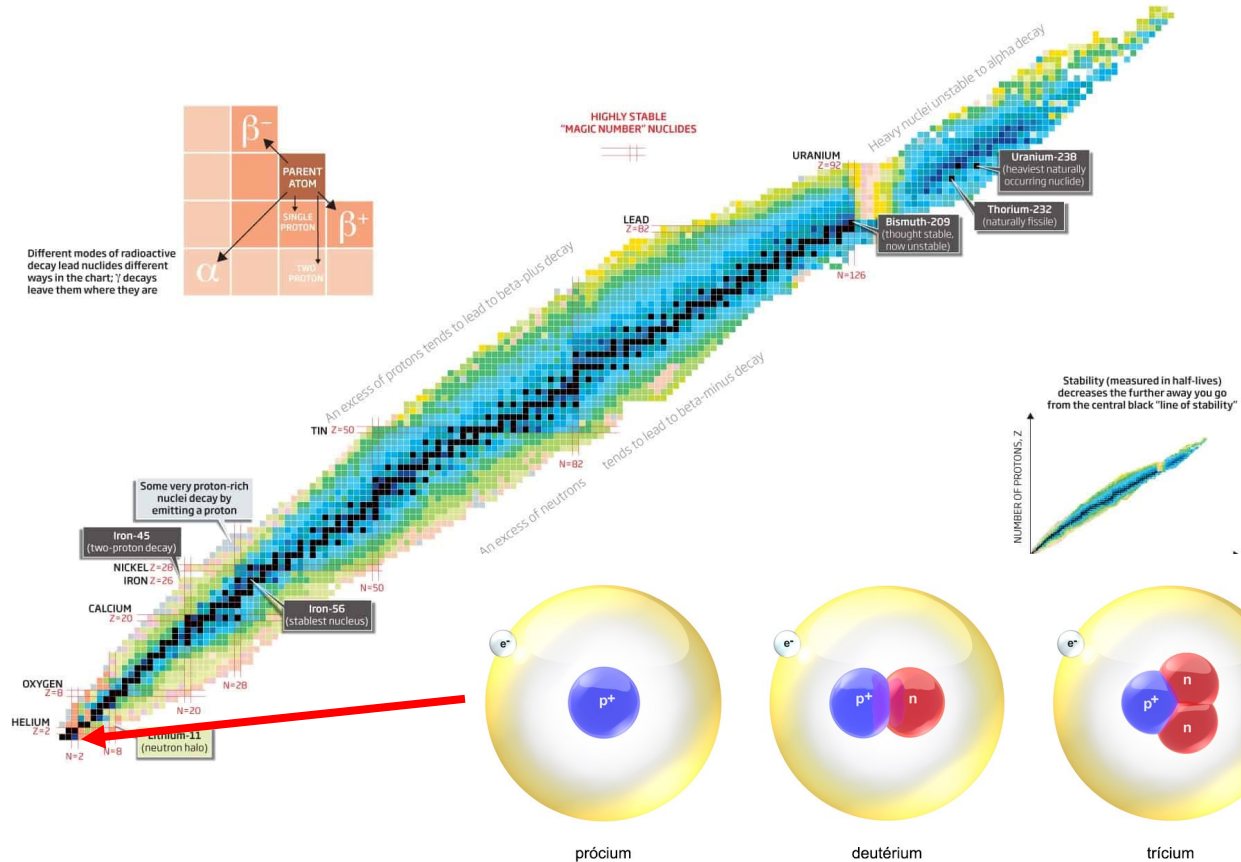
A transzmutáció egy magfizikai folyamat, ahol az atommagban lévő protonok és neutronok száma változik meg.



Aranycsinálás

A **transzmutáció** egy magfizikai folyamat, ahol az atommagban lévő protonok és neutronok száma változik meg.

Izotópok: Azonos protonszám (kémiai elem), de más a neutronszáma. Pl: Proton, Deutérium, Trícium



A **transzmutáció** egy magfizikai folyamat, ahol az atommagban lévő ptoronok és neutronok száma változik meg.

Ólomból vagy
higanyból magfizikai
folyamat során lehet
aranyat előállítani.

[illegible]

AI: Ólomból aranyat...



Ön

Másolás

Hogyan kell ólomból aranyat csinálni?



GPT 4.1 nano

Az ólomból aranyat nem lehet egyszerű kémiai vagy fizikai módszerekkel előállítani. Az arany és az ólom kémiaiag nagyon különböző elemek, és az aranyat alkotó atomok száma (79 proton) jelentősen eltér az ólométól (82 proton). Az egyik elem átalakítása a másikká atommagfúzióval vagy -átalakítással lehetséges, de ezek rendkívül bonyolultak, energiaigényesek és jelenleg nem megvalósíthatóak a gyakorlatban, különösen nem háztartási körülmények között.

Az atommagfúzió a csillagokban természetes módon zajlik, ahol könnyebb elemek, például hidrogén fúziója révén keletkezik az arany, de ez a folyamat hatalmas energiát igényel, és csak speciális, nagy energiájú berendezésekben, például részecskefizikai kutatóintézetekben valósítható meg.

Összefoglalva: jelenlegi tudományos és technológiai szinten nincs mód arra, hogy ólomból aranyat készítsünk. Az ilyen elképzelések az alkímisták régi vágyai, de a modern kémia és fizika szerint ez nem lehetséges háztartási vagy átlagos laboratóriumi körülmények között.

AI: Ólomból aranyat...



Ön

Hogyan kell ólomból aranyat csinálni?



GPT 4.1 nano

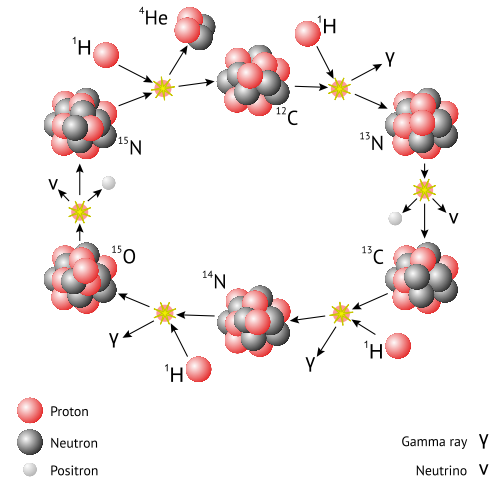
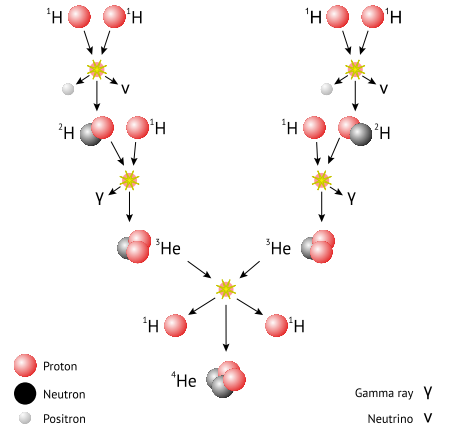
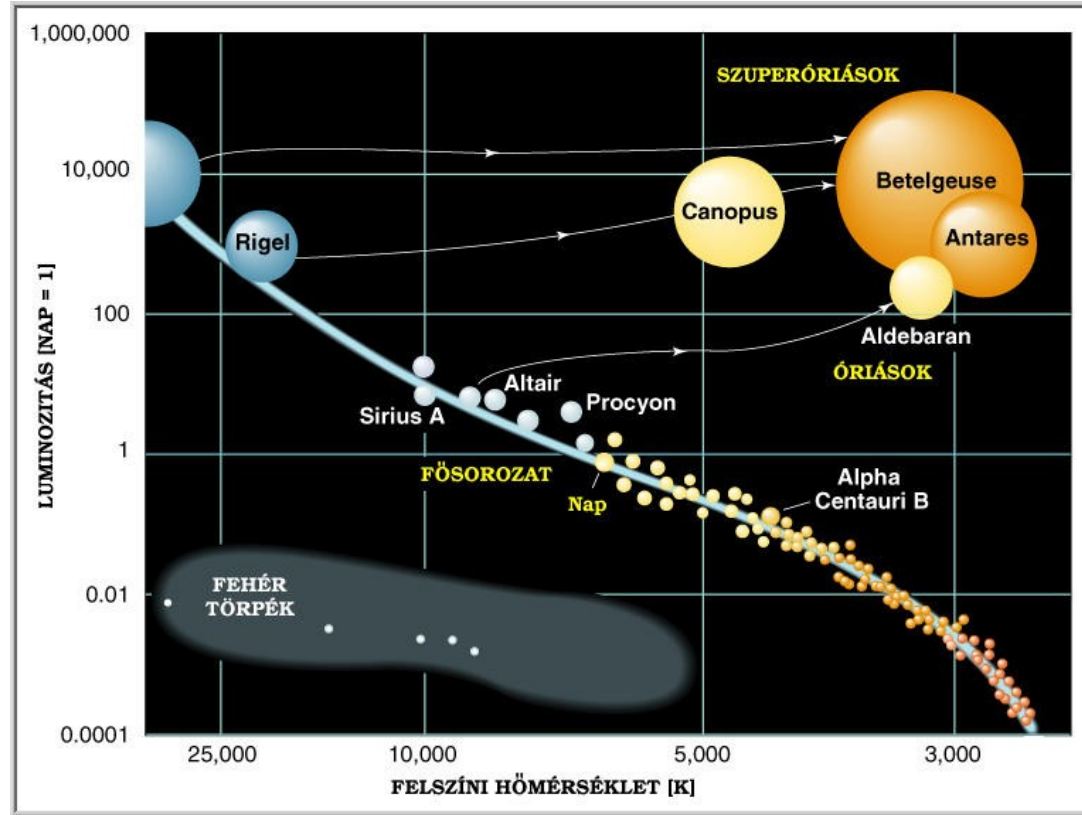
Az ólomból aranyat nem lehet egyszerű kémiai vagy fizikai módszerekkel előállítani. Az arany és az ólom kémiaiag nagyon különböző elemek, és az aranyat alkotó atomok száma (79 proton) jelentősen eltér az ólométól (82 proton). Az egyik elem átalakítása a másikká atommagfúzióval vagy -átalakítással lehetséges, de ezek rendkívül bonyolultak, energiaigényesek és jelenleg nem megvalósíthatóak a gyakorlatban, különösen nem háztartási körülmények között.

Az atommagfúzió a csillagokban természetes módon zajlik, ahol könnyebb elemek, például hidrogén fúziója révén keletkezik az arany, de ez a folyamat hatalmas energiát igényel, és csak speciális, nagy energiájú berendezésekben, például részecskefizikai kutatóintézetekben valósítható meg.

Összefoglalva: jelenlegi tudományos és technológiai szinten nincs mód arra, hogy ólomból aranyat készítsünk. Az ilyen elképzelések az alkímisták régi vágyai, de a modern kémia és fizika szerint ez nem lehetséges háztartási vagy átlagos laboratóriumi körülmények között.



Aranycsinálás a természetben: kis tömegű csilladokra

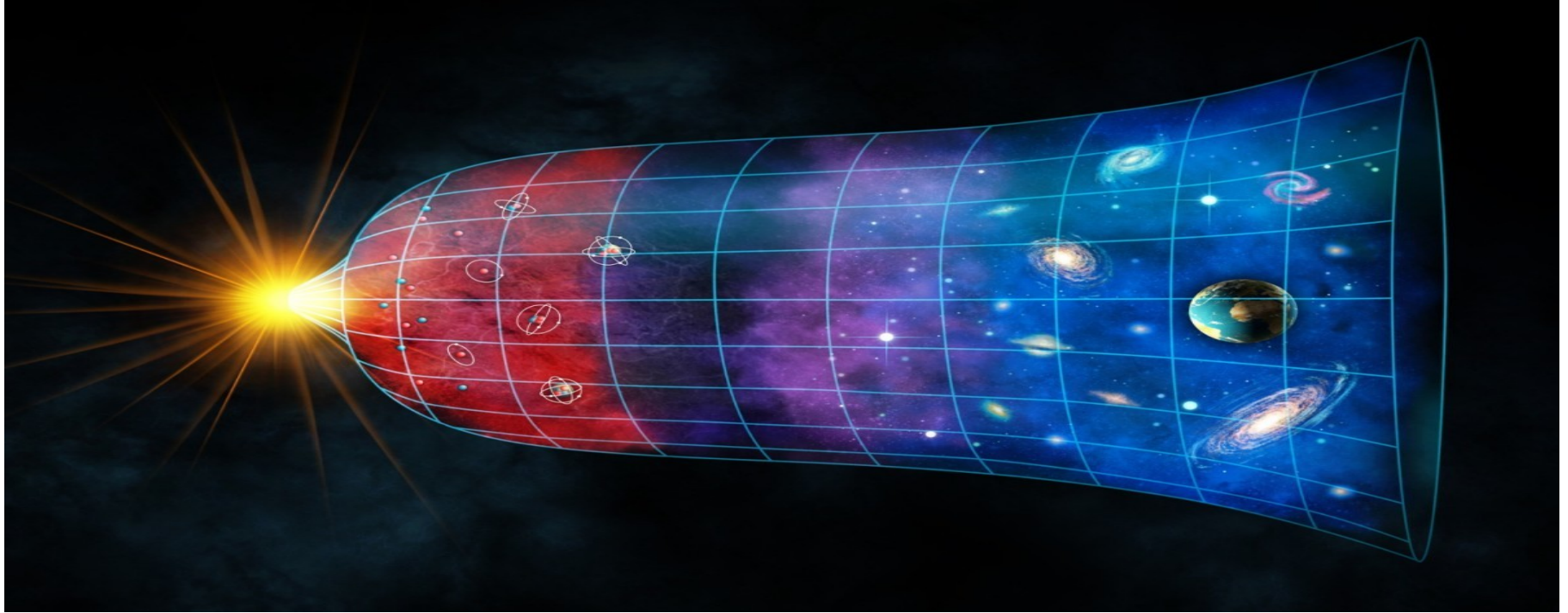


Aranycsinálás a természetben: nagy tömegű csillagokra



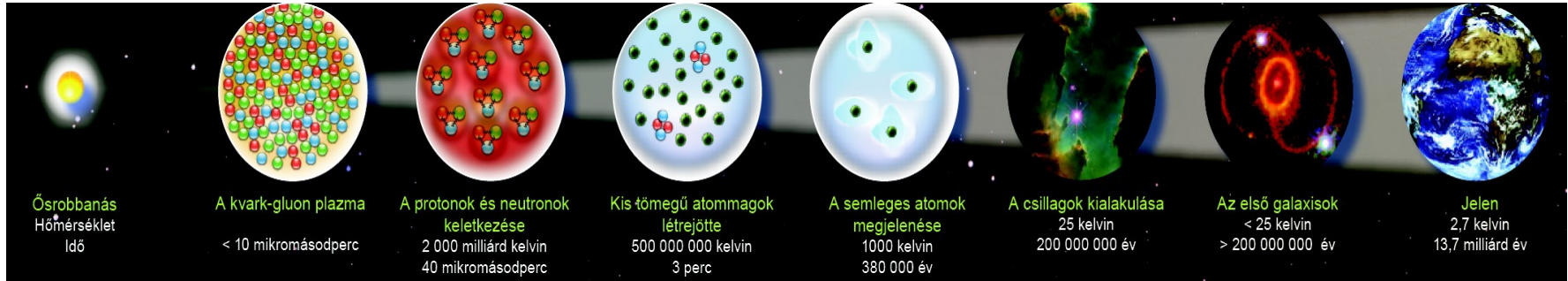
A CERN LHC ALICE kísérlete

Cél: A korai Univerzum anyagi állapotának vizsgálata



A Világegyetem 13,7 milliárd éves most. Milyen volt az anyaga az Ősrobbanás utáni pillanatokban?

Cél: A korai Univerzum anyagi állapotának vizsgálata



Az Ősrobbanás után az anyag tágult és folyamatosan lehűlt. Eközben a szerkezete megváltozott. Ma a látható (barionos) anyag alkot minket, a földi életet, bolygókat, csillagokat, galaxisokat...

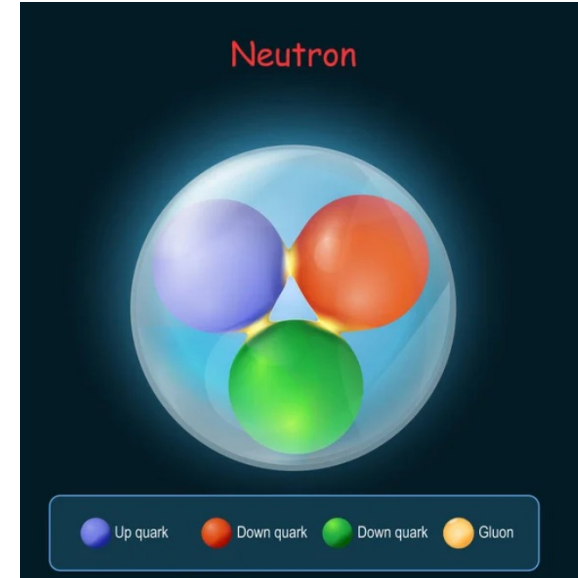
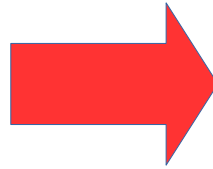
Az első milliomod-másodpercekben a kvarkleves alkotta a Világegyetemet ez a **forró** és **sűrű** anyag a **kvarkokból** és **gluonokból** álló **kvark-gluon plazma**.

Az anyag részecskék alkotják

Az anyag tulajdonságai tükrözik a részecskék tulajdonságait....

Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)				interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III		
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	0	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon	H higgs
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 γ photon	SCALAR BOSONS
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e electron	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	0 1 Z Z boson	
LEPTONS	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W W boson	
				Gauge bosons VECTOR BOSONS	

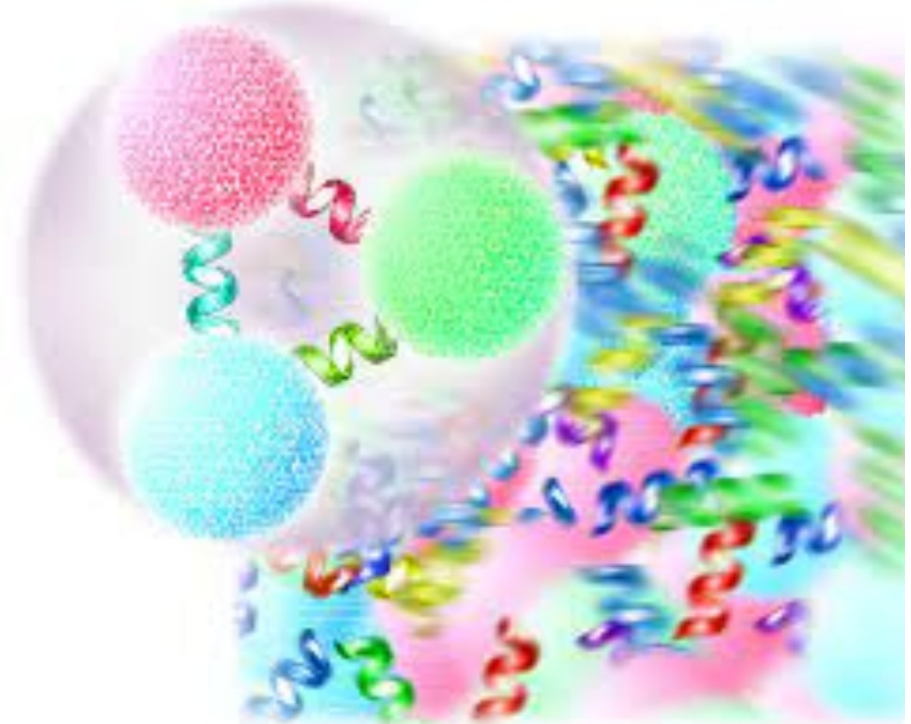


Az anyag részecskék alkotják

...de az anyag tulajdonságai kollektív viselkedést is mutatnak....

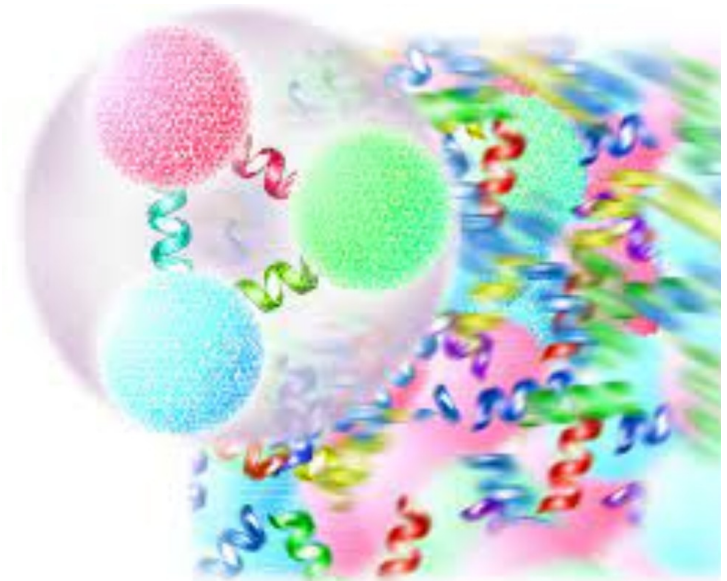
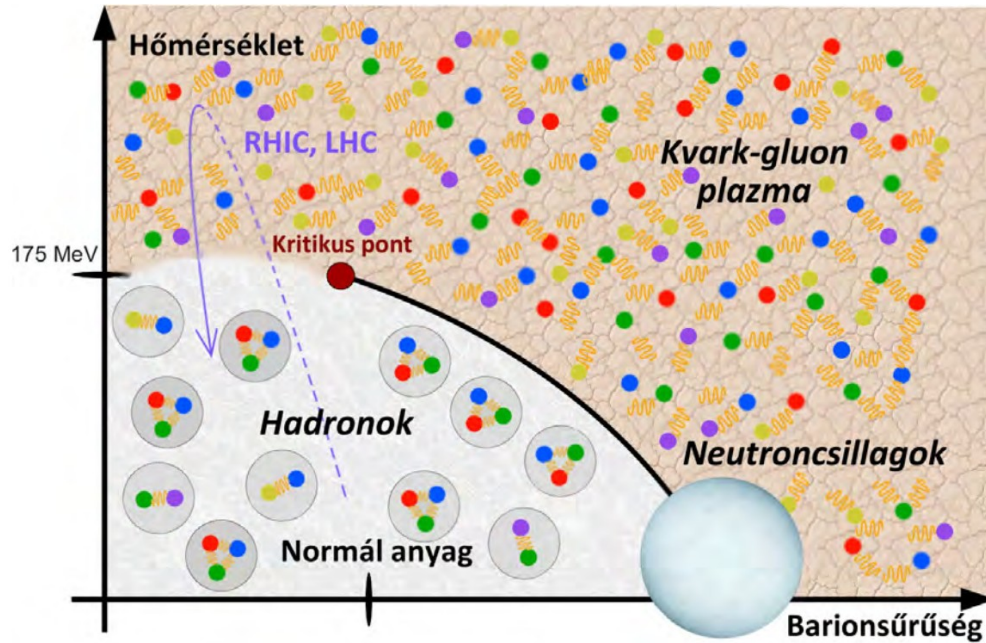
Standard Model of Elementary Particles

three generations of matter (fermions)			interactions / force carriers (bosons)	
	I	II	III	
mass	$\approx 2.2 \text{ MeV}/c^2$	$\approx 1.28 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 173.1 \text{ GeV}/c^2$	$\approx 124.97 \text{ GeV}/c^2$
charge	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
spin	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0
QUARKS	u up	c charm	t top	g gluon
	$\approx 4.7 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	$\approx 96 \text{ MeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	$\approx 4.18 \text{ GeV}/c^2$ $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 γ photon
	$\approx 0.511 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ e electron	$\approx 105.66 \text{ MeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ μ muon	$\approx 1.7768 \text{ GeV}/c^2$ -1 $\frac{1}{2}$ τ tau	$\approx 91.19 \text{ GeV}/c^2$ 0 1 Z Z boson
LEPTONS	$< 1.0 \text{ eV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_e electron neutrino	$< 0.17 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ muon neutrino	$< 18.2 \text{ MeV}/c^2$ 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ tau neutrino	$\approx 80.39 \text{ GeV}/c^2$ ± 1 1 W W boson
				SCALAR BOSONS
				GAUGE BOSONS VECTOR BOSONS

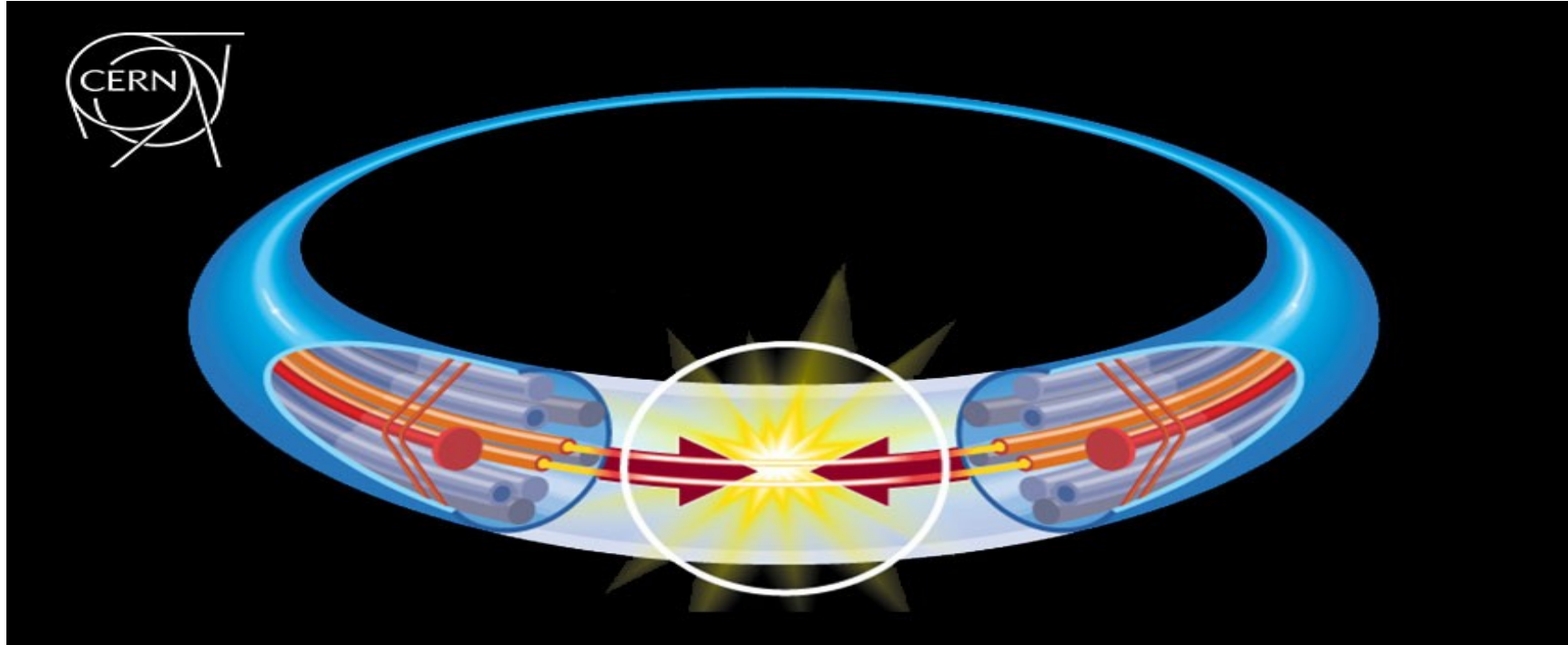


A korai Univerzum anyaga: a forró sűrű Ősanyag

Az erősen kölcsönható (kvarkok és gluonok) anyagának fázisdiagramja



Hogyan állíthatjuk elő a forró sűrű Ősanyagot?



A korai univerzum állapotai állíthatjuk elő: ólom atommagokat felgyorsítunk és ütköztetünk: 5 000 000 000 000 eV energián.

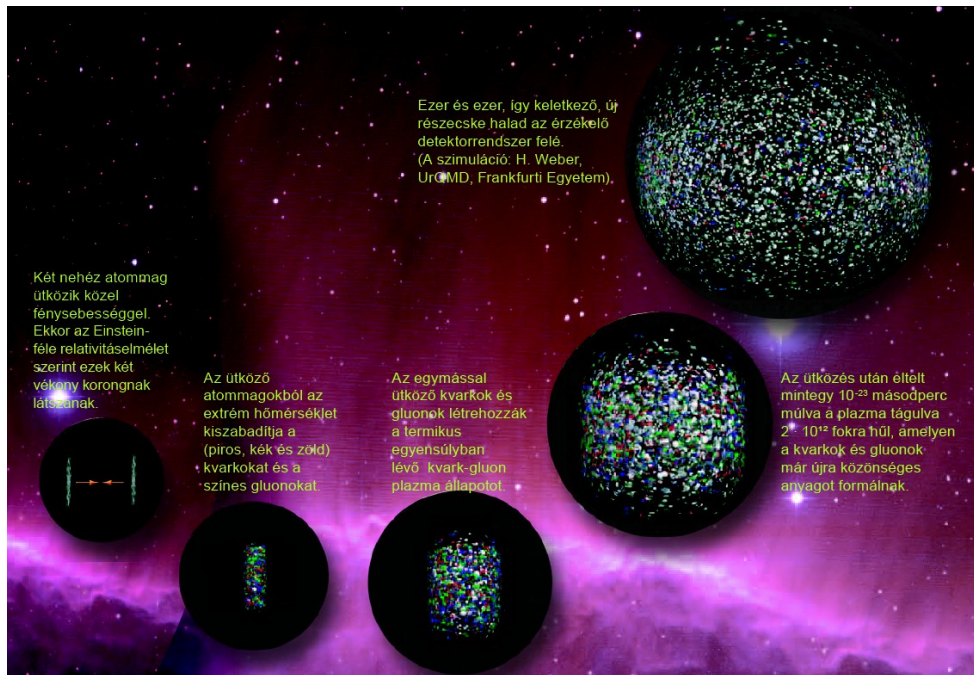
Hogyan állíthatjuk elő a forró sűrű Ősanyagot?

Így készül a kvarkleves...

Atommagokat gyorsítunk az LHC gyűrűben, majd összeütköztetjük az ALICE kísérletben.

Ólom atommagokat szembe ütköztetve olyan sűrű és forró állapot jöhet létre, mint az Ősrobbanás után.

Az ütközésben millió új részecske keletkezik, amelyeket megmérünk, és meghatározzuk a kvarkleves, azaz a kvark-gluon plazma tulajdonságait.

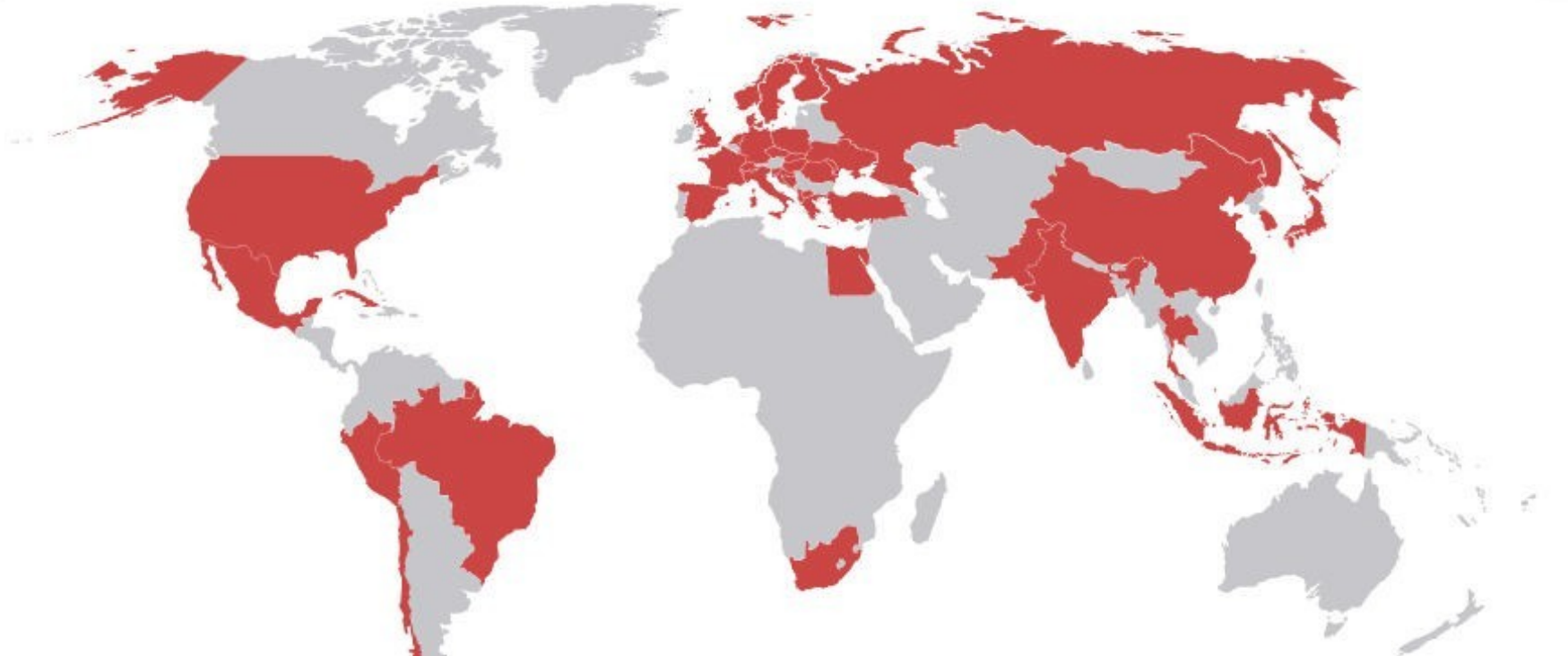


Eszköz: A Large Ion Collider Experiment, CERN LHC

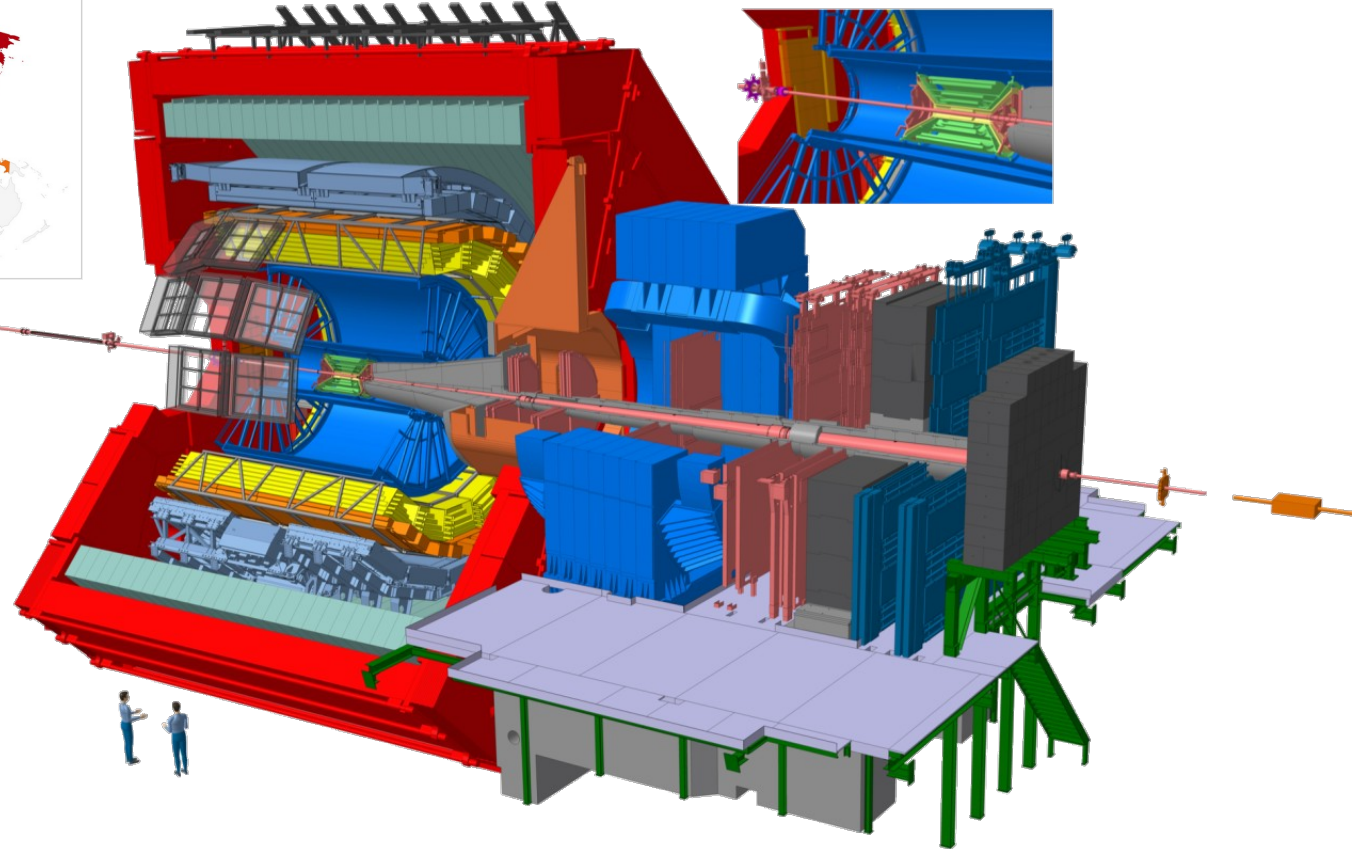
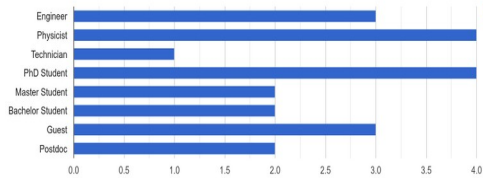
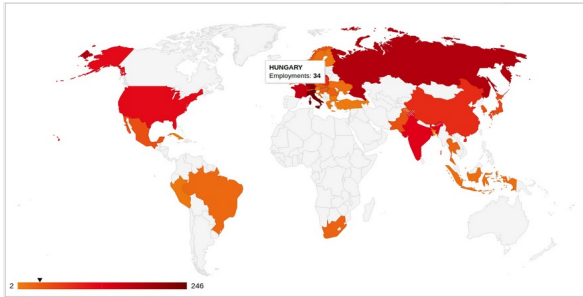


ALICE – A Nagy Ionütköztető Kísérlet

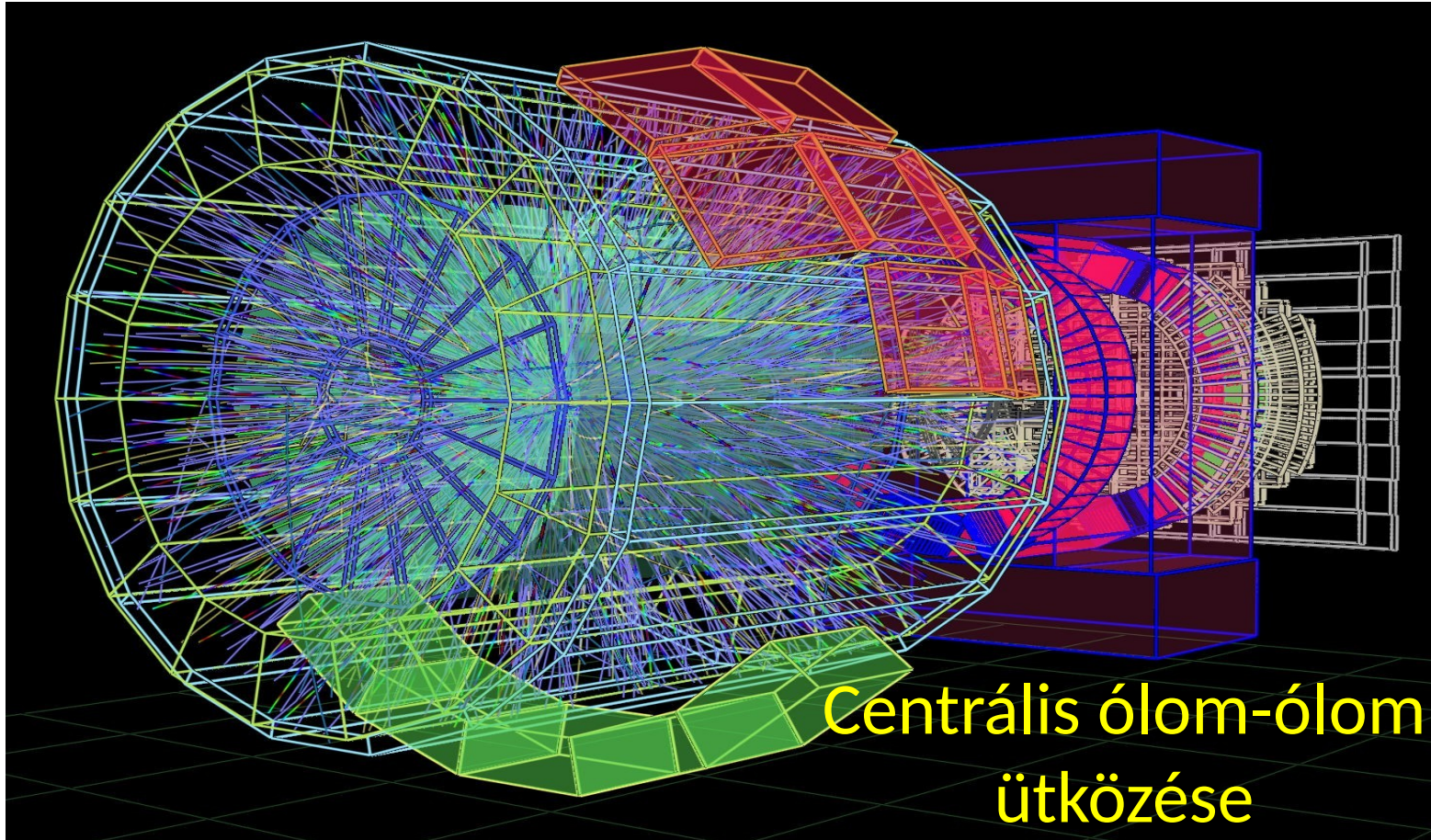
2000 fő, 39 ország, 171 kutatóintézet, 160kCHF/év



Eszköz: A Large Ion Collider Experiment, CERN LHC

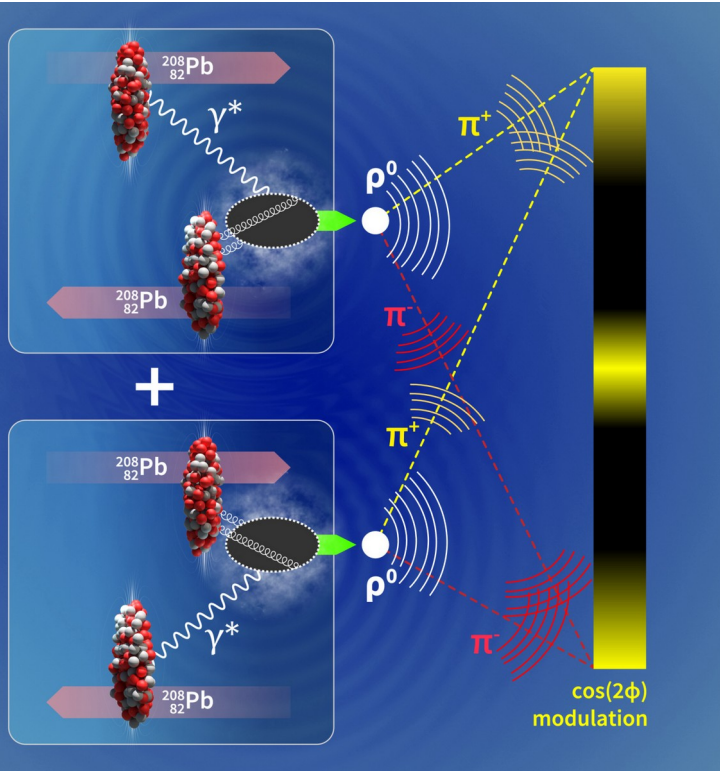


ALICE: Centrális ólom-ólom ütközés: Kvark-gluon plazma



ALICE: Ultra-periférikus ütközések

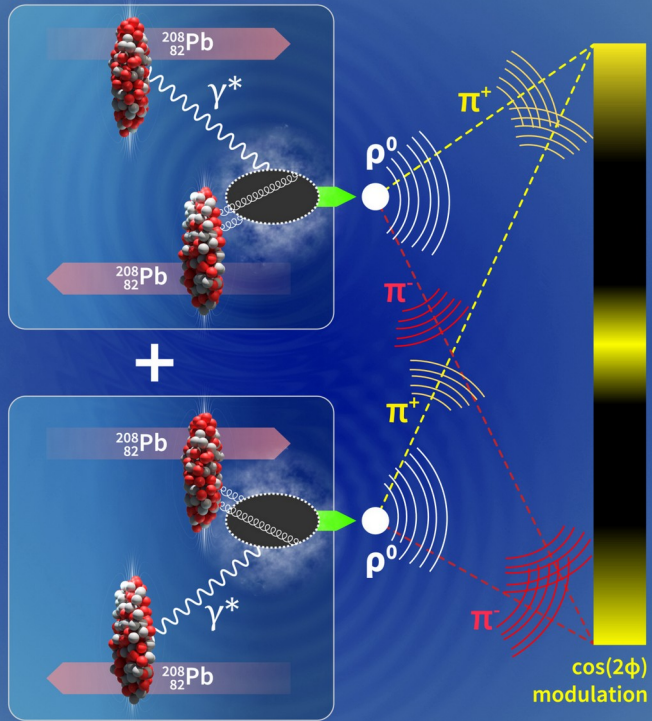
Nagyon erős elektromágneses terek...



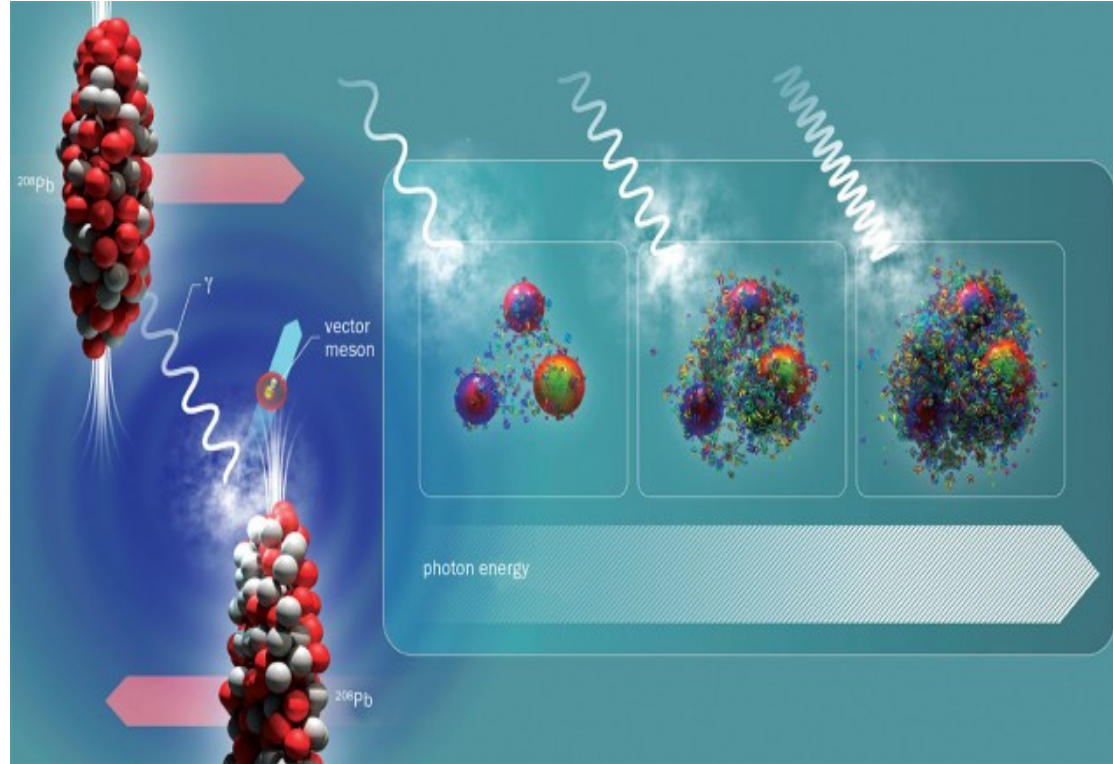
Femtoszkópikus 2-réses kísérlet

ALICE: Ultra-periférikus ütközések

Nagyon erős elektromágneses terek...



Femtoszkópikus interferencia



atommagon belüli árnyékolás

Hogyan csináljunk ólomból aranyat ...

Ólomból aranyat ...



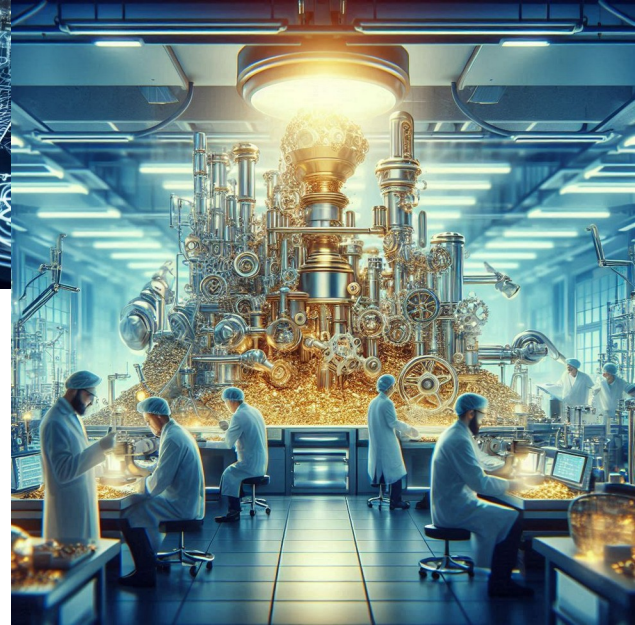
Ólomból aranyat csinálnak fizikusok...



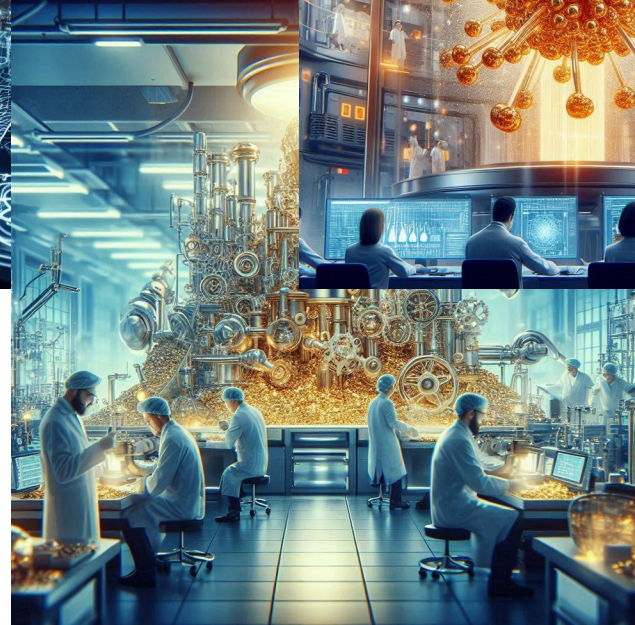
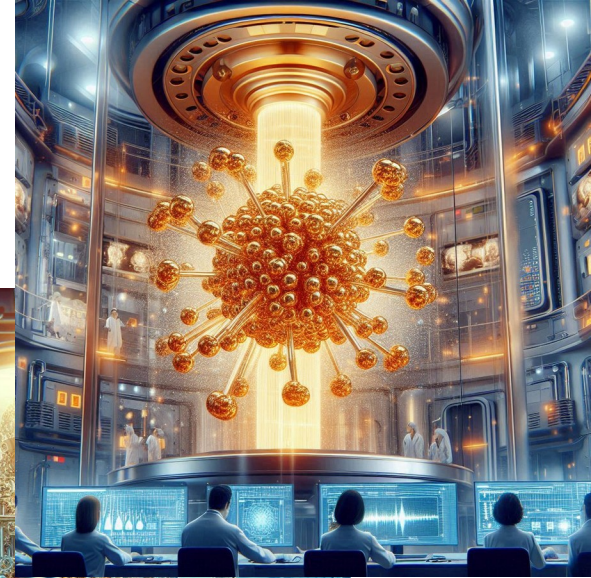
Ólomból aranyat csinálnak részecskefizikusok ...



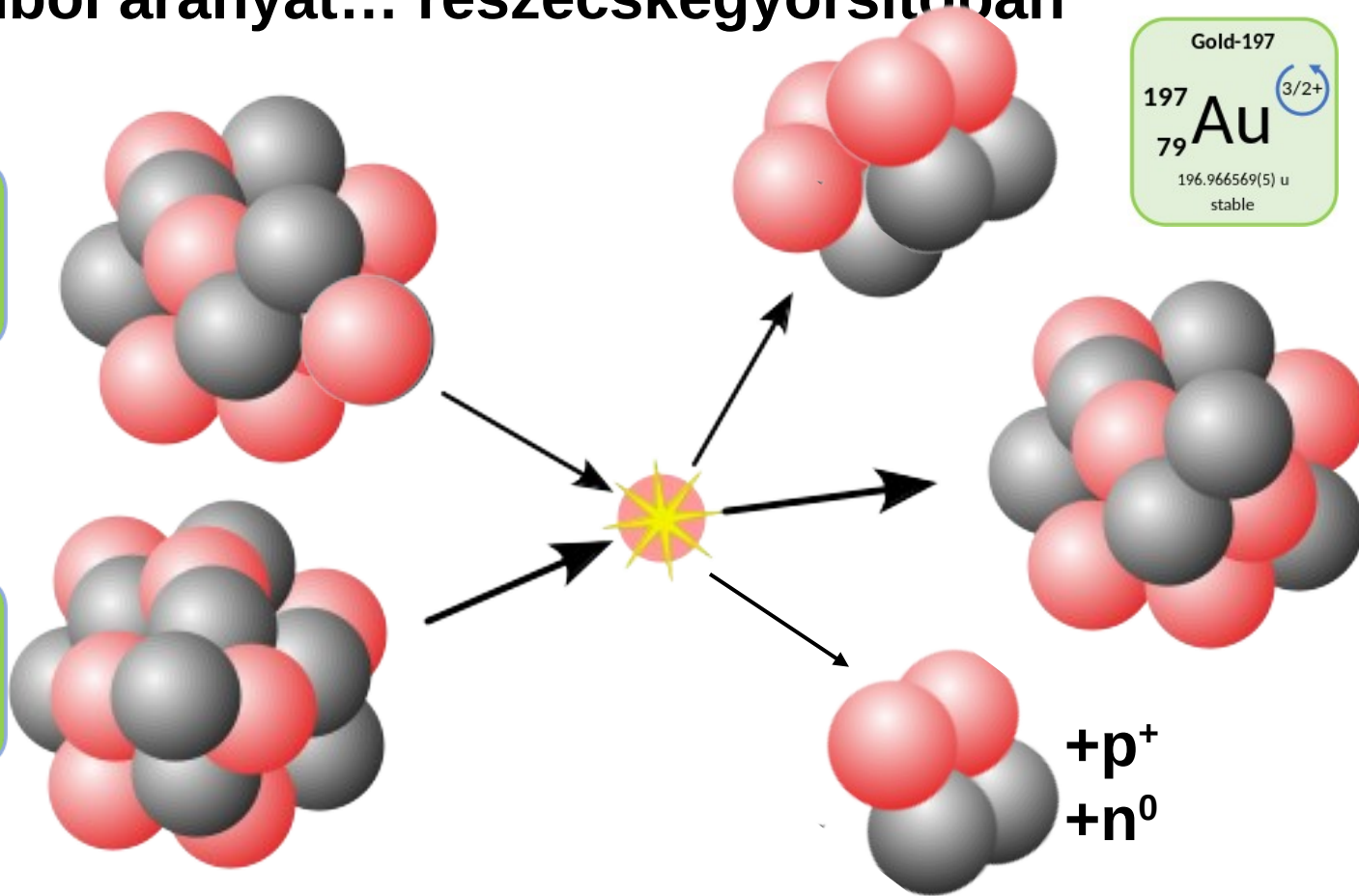
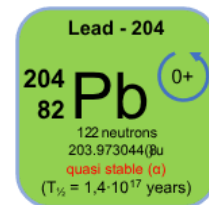
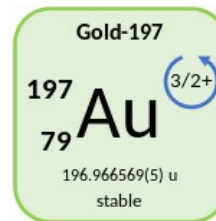
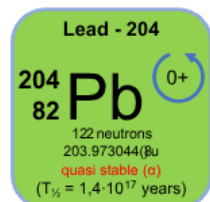
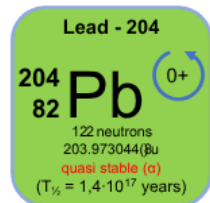
Ólomból aranyat csinálnak részecskefizikusok a CERNben



Ólomból aranyat csinálnak részecskefizikusok a CERN ALICE kísérletben



Ólomból aranyat... részecskegyorsítóban



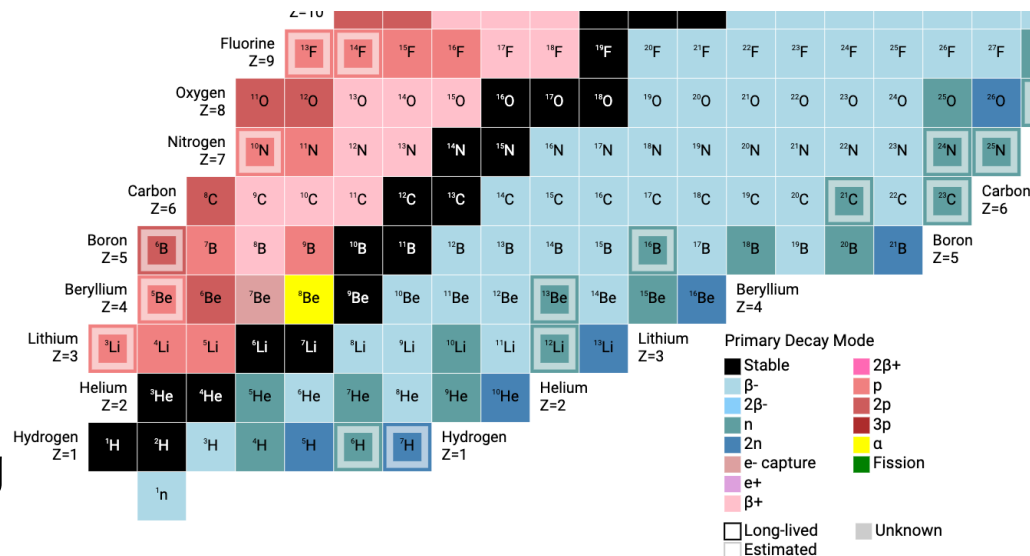
Ólomból aranyat... nagyenergiás ütközésekben

Első hazai ultra-periférikus ütközési kísérlet

Kell egy alkalmas atommag

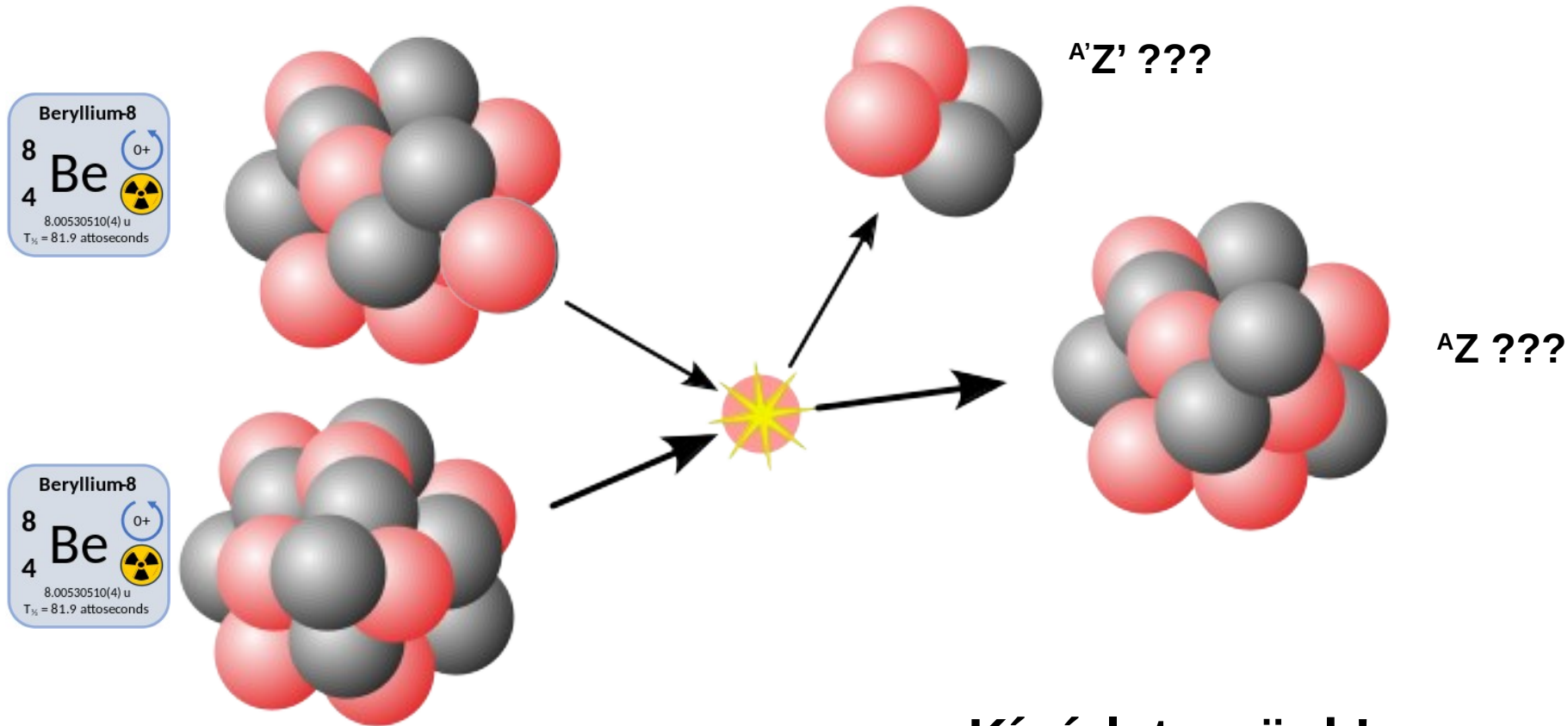
Kell egy jó csapat hozzá!

Fontos: senki se sérüljön meg



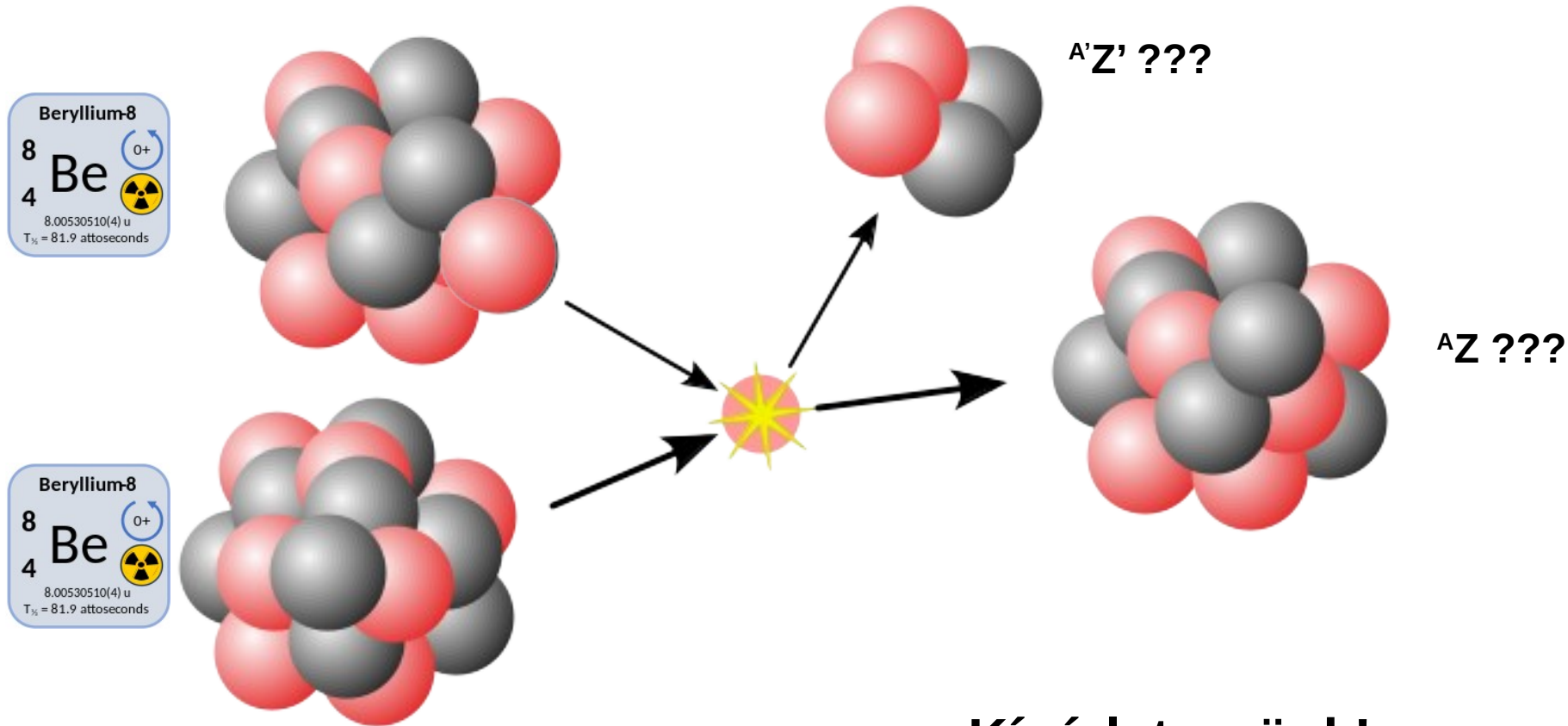
→ A kísérlet akkor is tanulságos, ha nem sikerül!

Ólomból aranyat... részecskegyorsítóban, helyett ^8Be



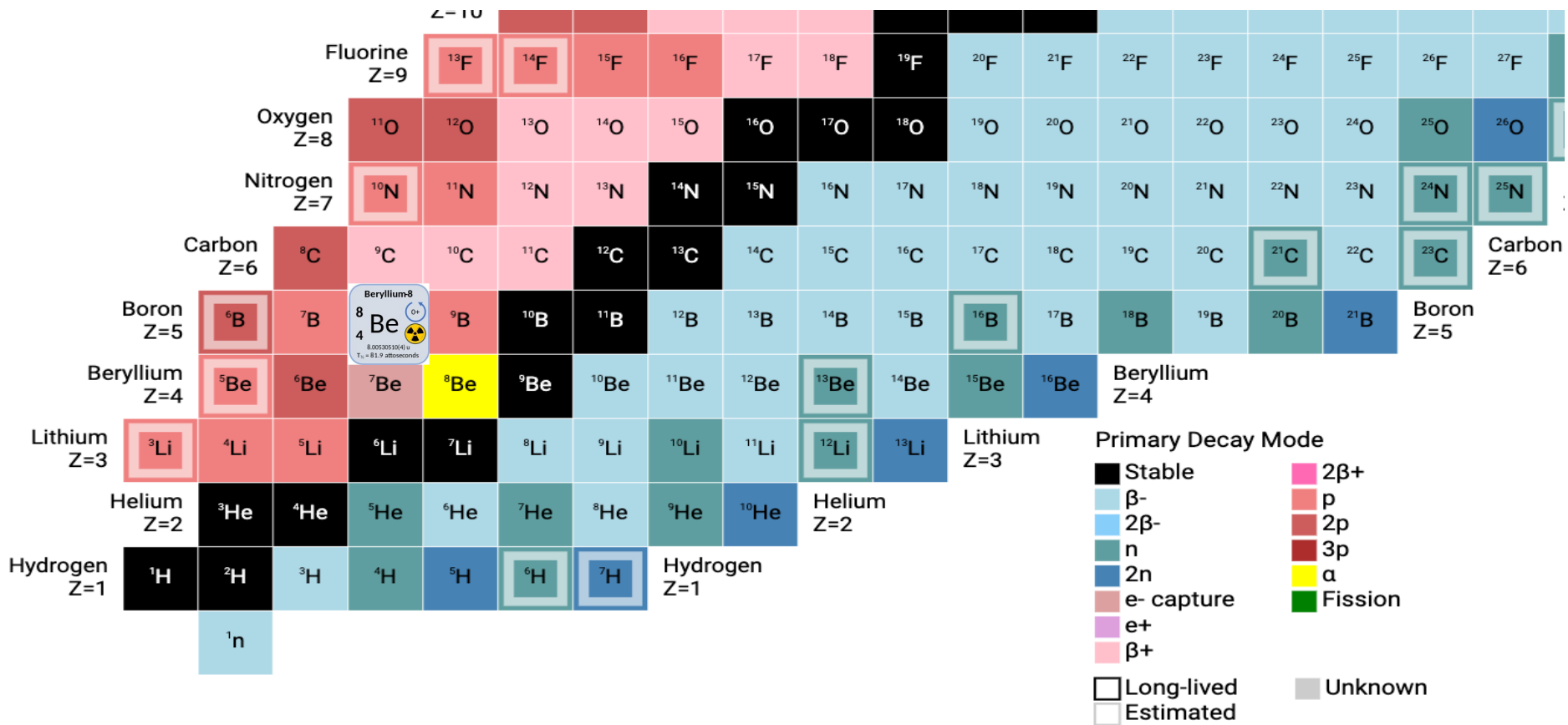
Kísérletezzünk!

Ólomból aranyat... részecskegyorsítóban, helyett ^8Be

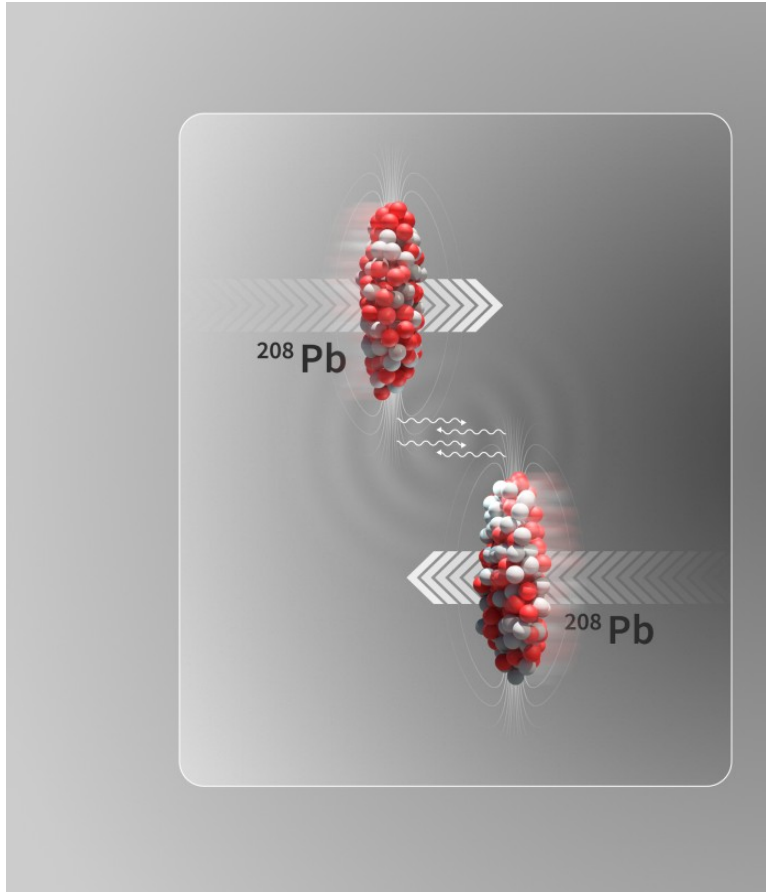


Kísérletezzünk!

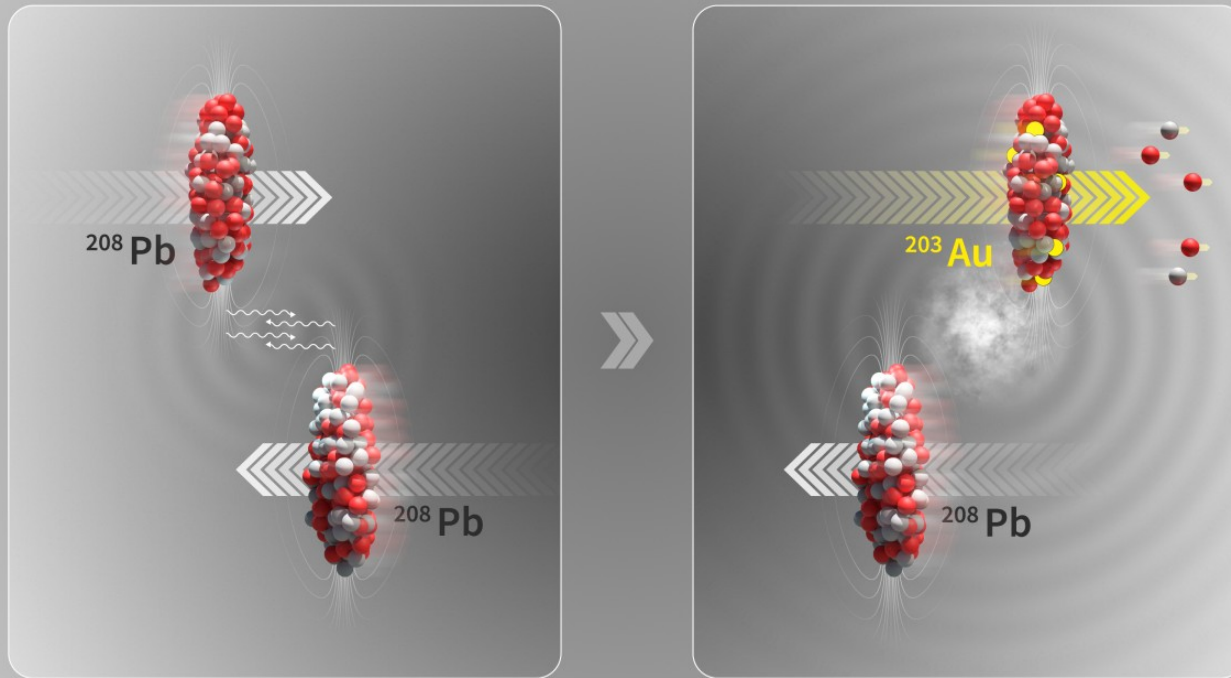
Ólomból aranyat... részecskegyorsítóban, helyett: ^8Be



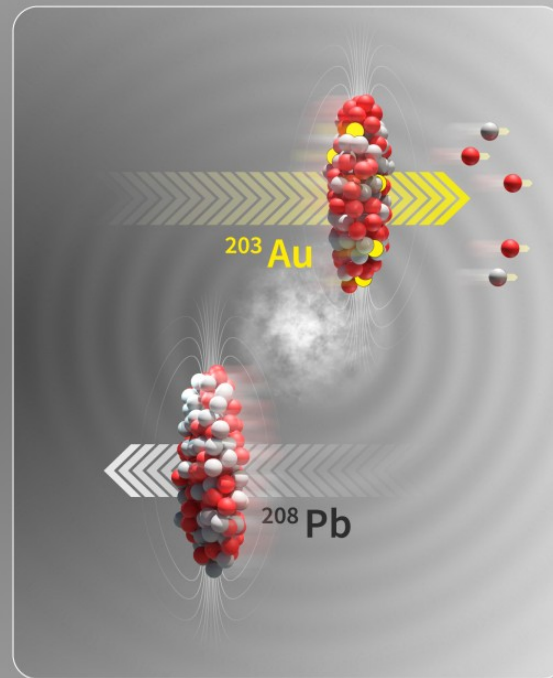
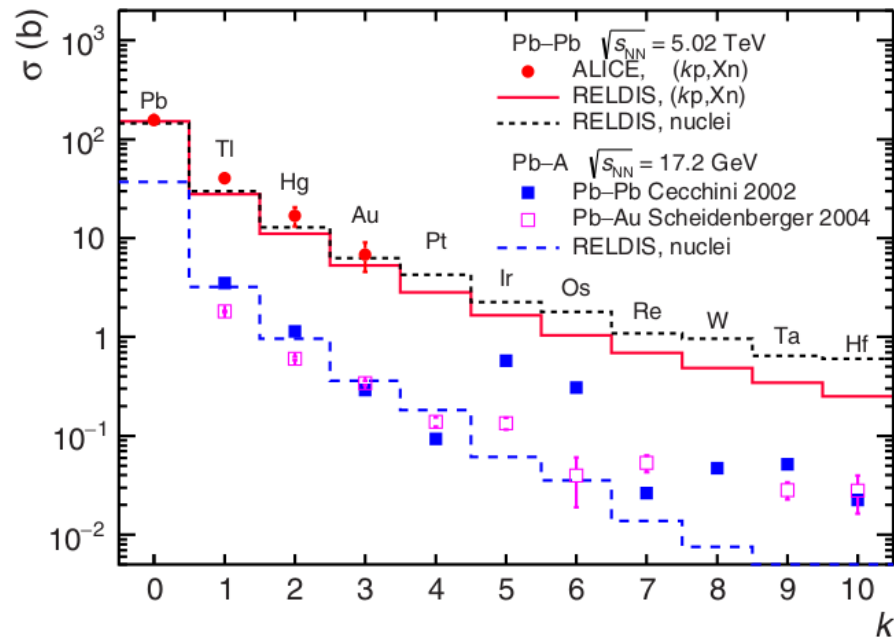
ALICE: Aranycsinálás – ultra-periférikus ütközésekben



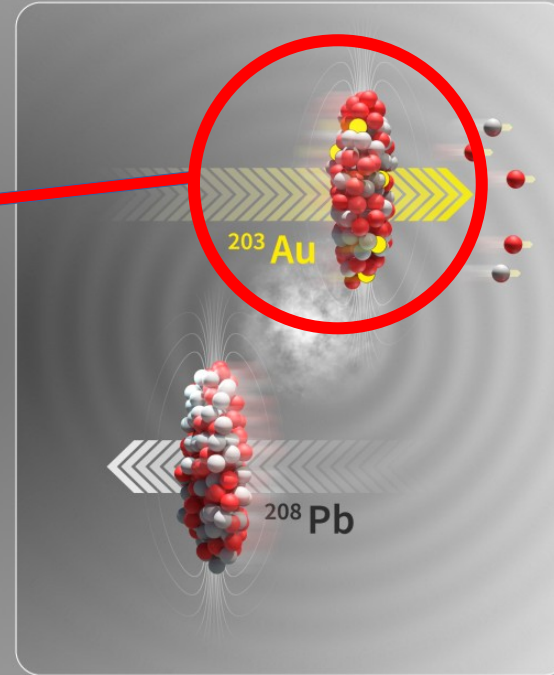
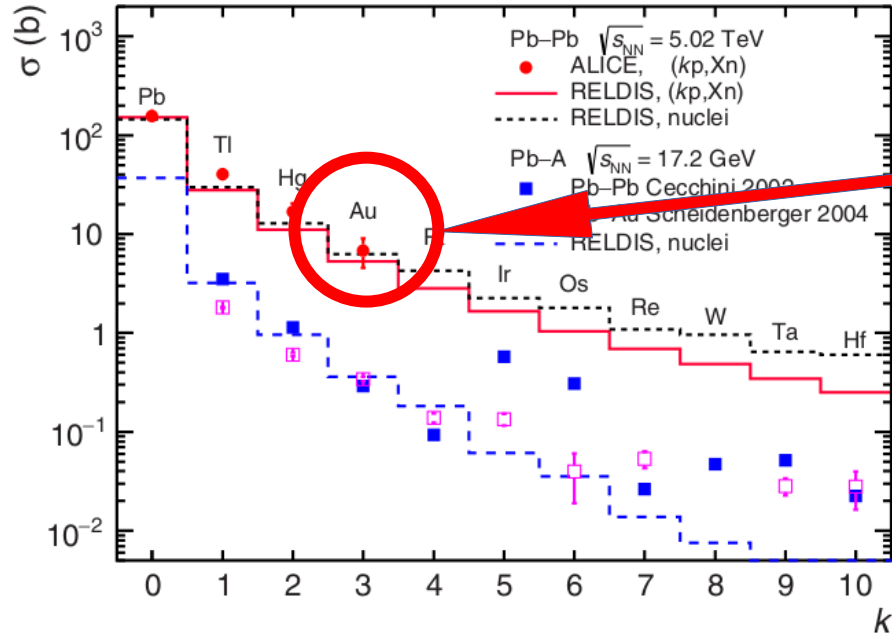
ALICE: Aranycsinálás – ultra-periférikus ütközésekben



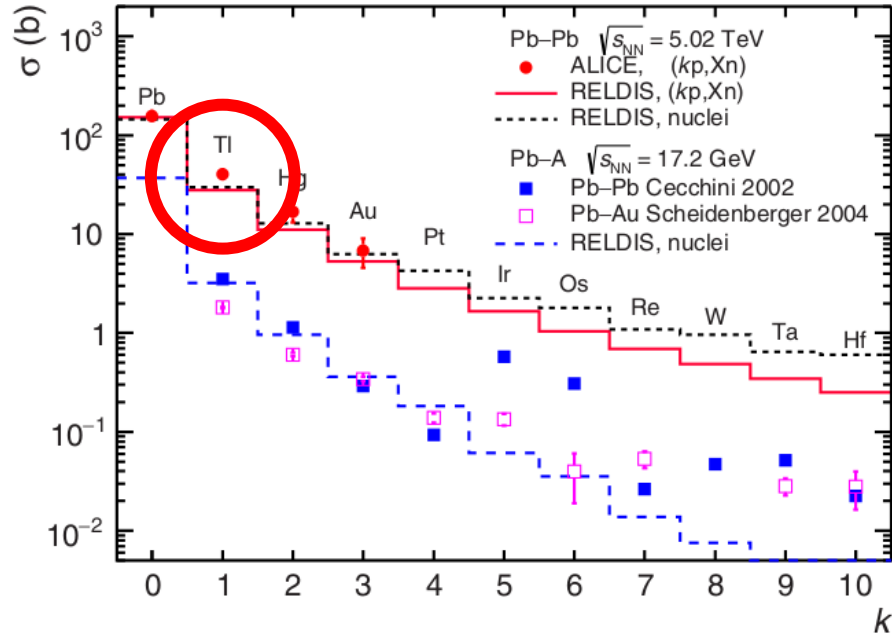
ALICE: Aranycsinálás – ultra-periférikus ütközésekben



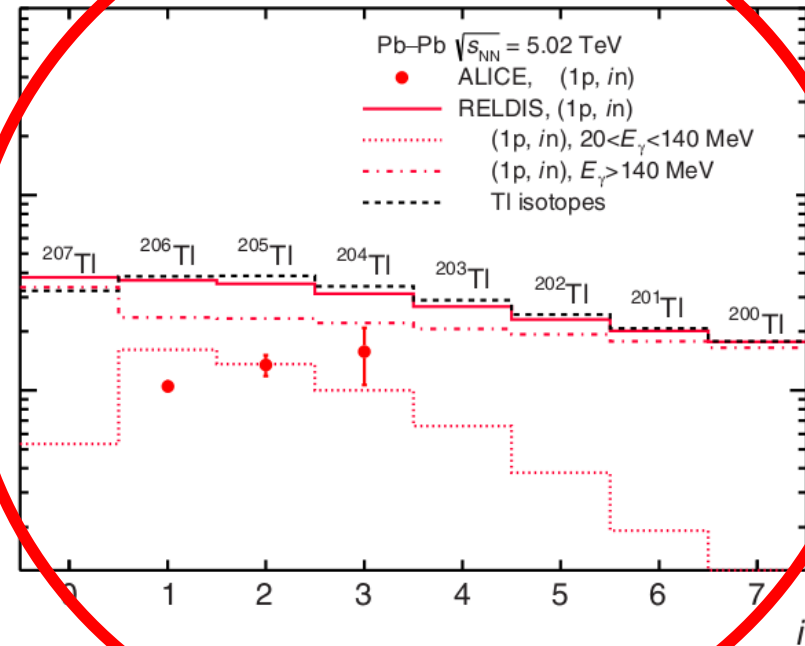
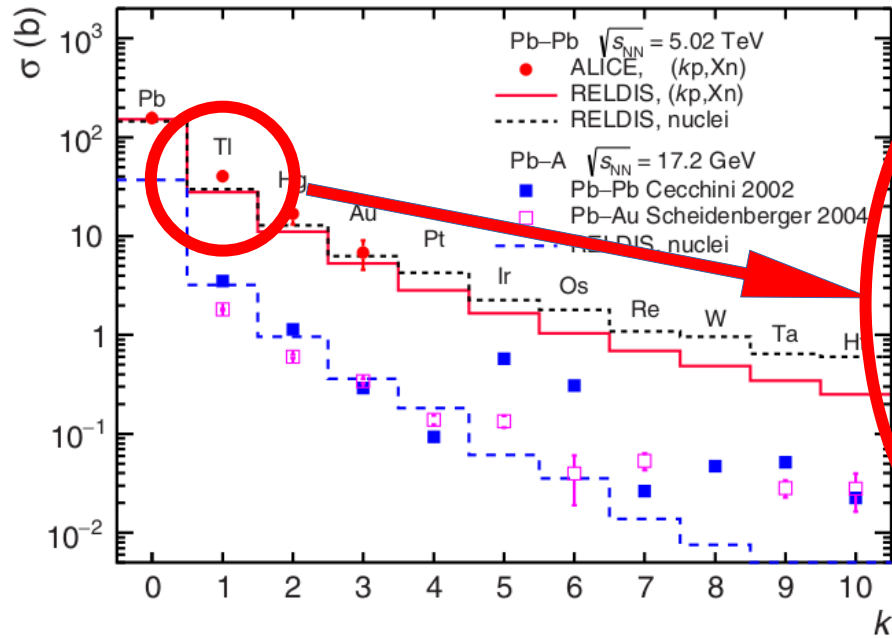
ALICE: Aranycsinálás – ultra-periférikus ütközésekben



ALICE: Aranycsinálás – ultra-periférikus ütközésekben



ALICE: Aranycsinálás – ultra-periférikus ütközésekben

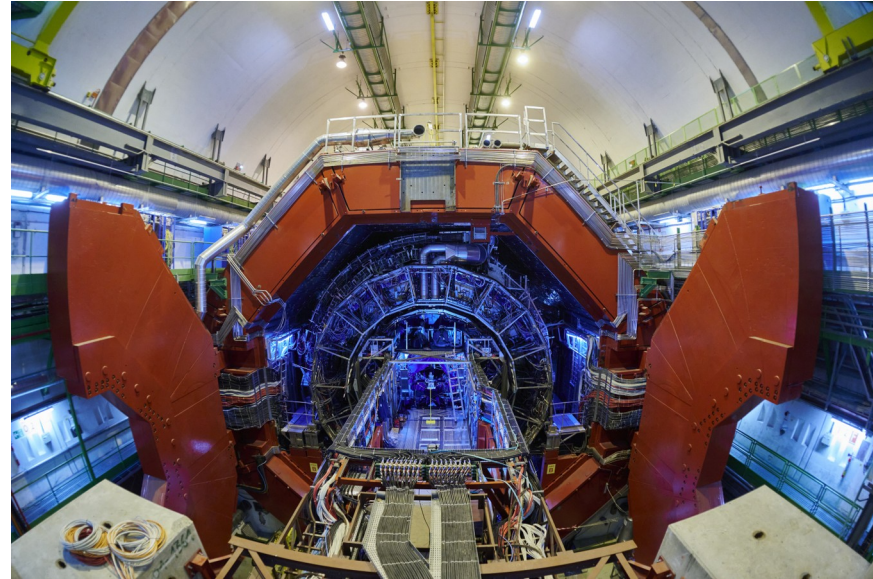


Modern kori alkímia...

A reakciókban: ólom, tallium, higany és arany is keletkezik. A tallium és higany a gyakoribb. Az ALICE az ólom-ólm ütközésekben → **89 000 aranymagot mért másodpercenként.**

A keletkező magok nagy energiával ütköznek, az LHC nyalábcsővével vagy a nyalábformáló kollimátorokkal, ahol szétbomlanak protonokra, neutronokra és más részecskékre. → **A létrejött arany csupán a másodperc töredékéig létezik.**

Az LHC Run 2 mérésorozata (2015-2018) során a négy nagy kísérletben összesen → **kb. 86 milliárd aranymag keletkezett. Ez összesen 29 pikogram ($2,9 \times 10^{-11}$ g)**



Modern kori alkímia...

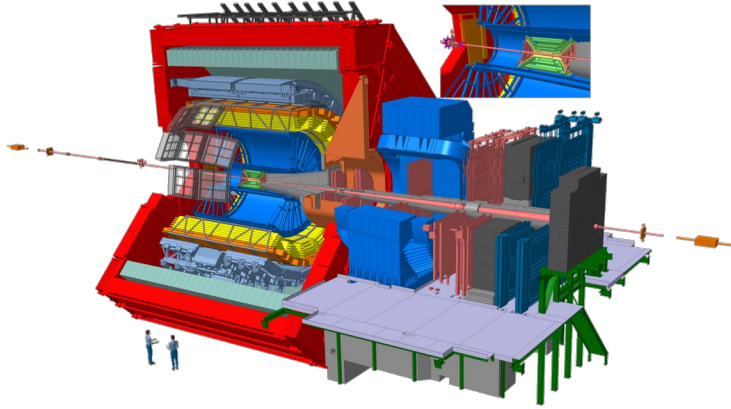
A reakciókban: ólom, tallium, higany és arany is keletkezik. A tallium és higany a gyakoribb. Az ALICE az ólom-ólom ütközésekben → **89 000 aranymagot mért másodpercenként.**

A keletkező magok nagy energiával ütköznek, az LHC nyalábcsövével vagy a nyalábformáló kollimátorokkal, ahol szétbomlanak protonokra, neutronokra és más részecskékre. → **A létrejött arany csupán a másodperc töredékéig létezik.**

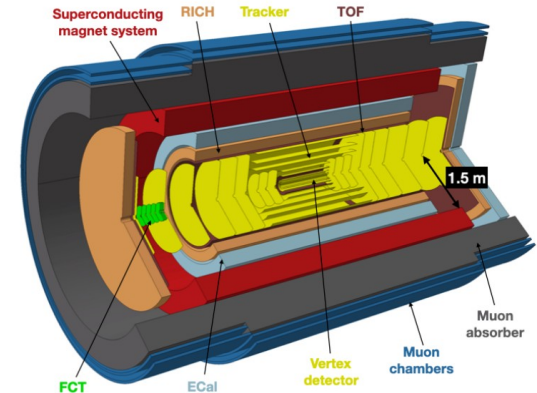
Az LHC Run 2 mérésorozata (2015-2018) során a négy nagy kísérletben összesen → **kb. 86 milliárd aranymag keletkezett. Ez összesen 29 pikogram ($2,9 \times 10^{-11}$ g)**

A jelenlegi Run 3 adatgyűjtás során kb. kétszer ennyi arany keletkezik → **ez még mindig billiószor kevesebb, mint amennyi akár egyetlen aranyékszerhez kellene.**

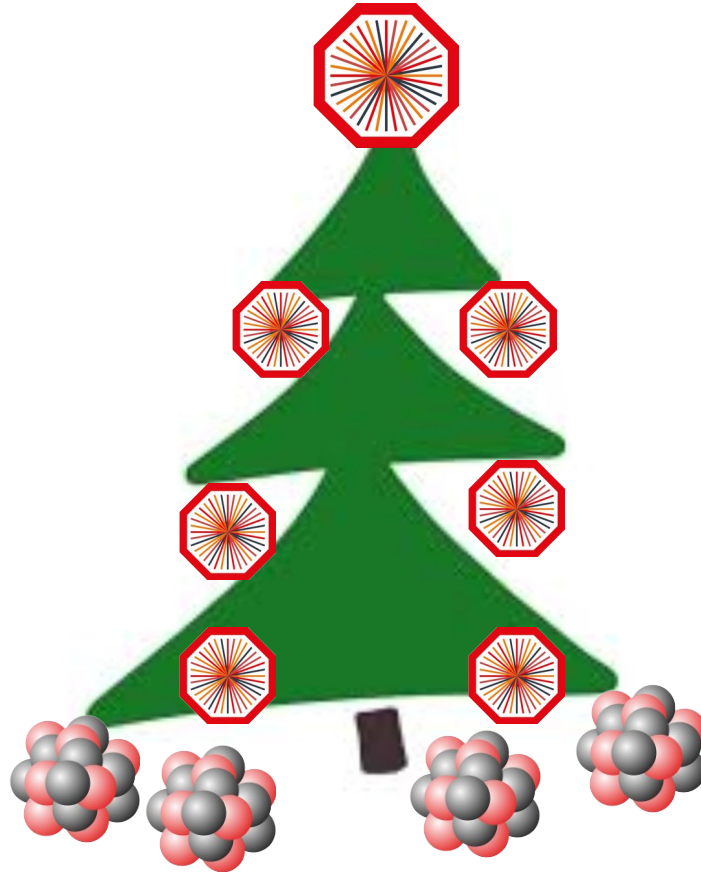




A középkori alkimisták álma technikailag valóra vált, a gazdagság reménye ismét szertefoszlott...



**Boldog karácsonyt és (ütközési)
eseményekben gazdag új évet!**



Csatlakozz hozzánk: Magyar ALICE Csoport (2002-25)



Támogatás: NKFIH ADVANCED_25 15345, NEMZ_KI, TÉT
Web: <http://alice.wigner.hu>, <http://alice.web.cern.ch>

