



Az atomoktól a csillagokig

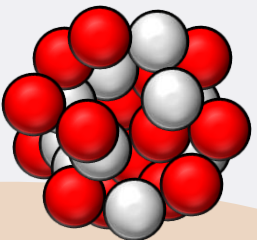
Közérthető fizika, nem csak középiskolásoknak

A millió tonnás dobókocka

... avagy az atommagoktól a csillagokig

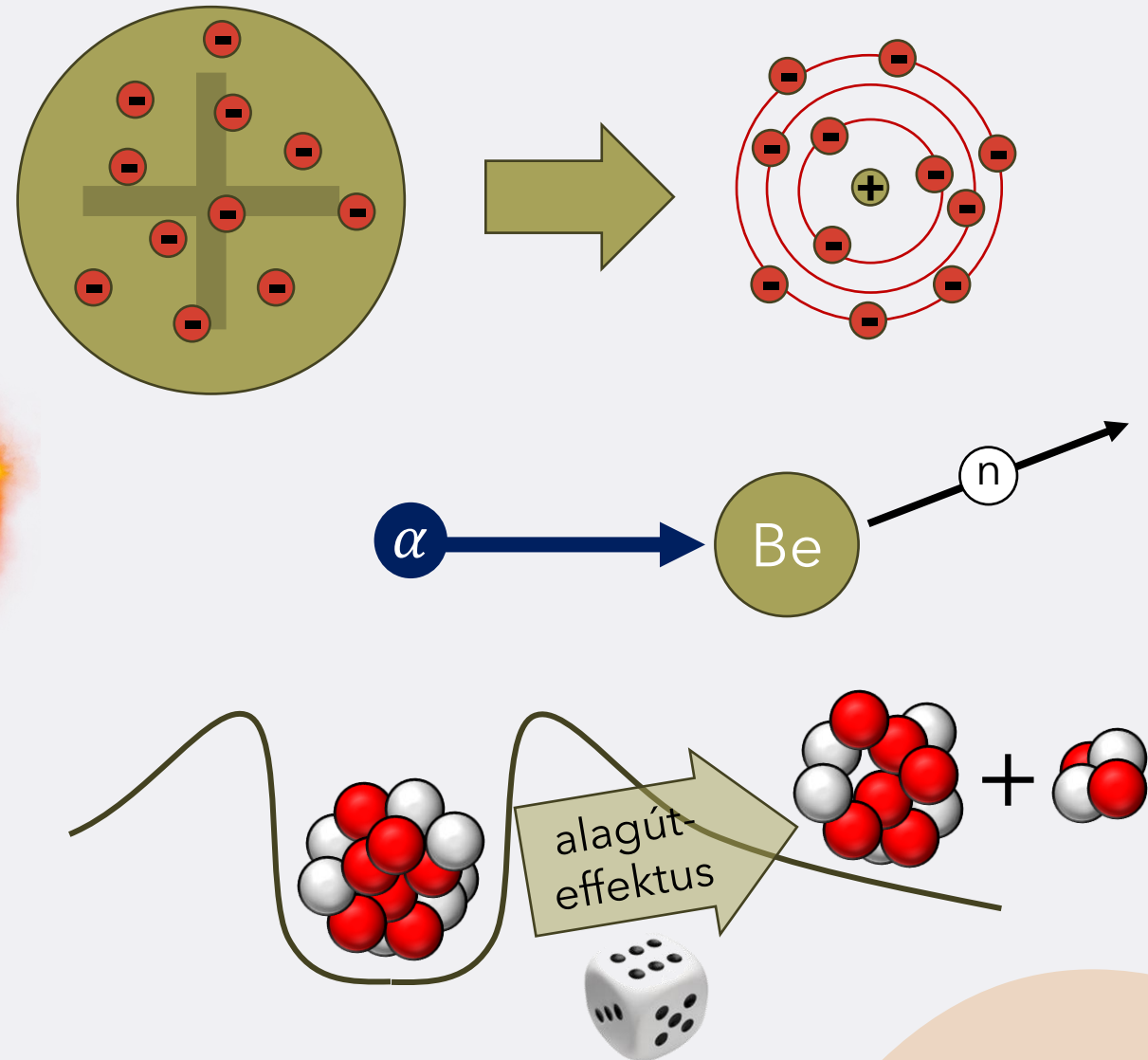
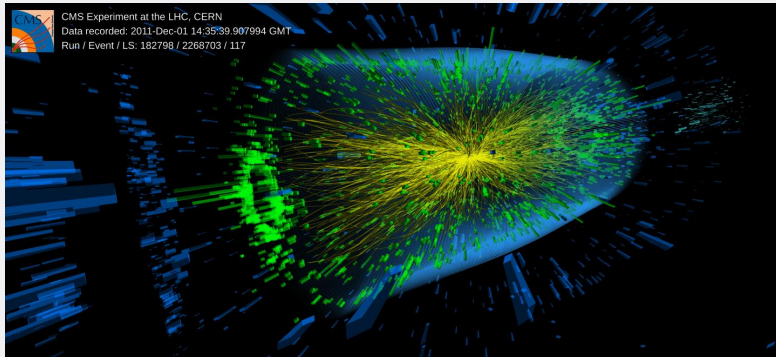
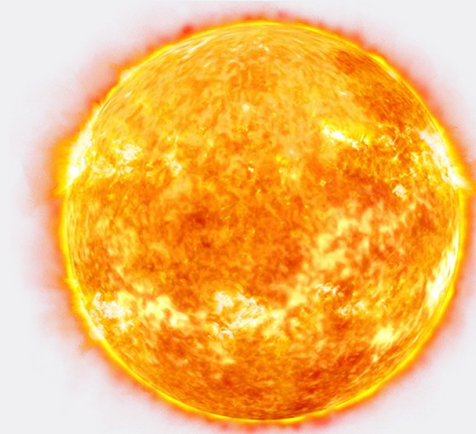
Csanád Máté, Atomfizikai Tanszék

<http://csanad.web.elte.hu/>



Az előadás vázlatja

- Az atomok és az atommag felfedezése
- A neutron felfedezése
- A magerő
- Izotópok és izotóptérkép
- Kötési energia, bomlások
- Hasadás és atombomba
- Magfúzió, a csillagok élete
- Részecskegyorsítók, az olvadt maganyag

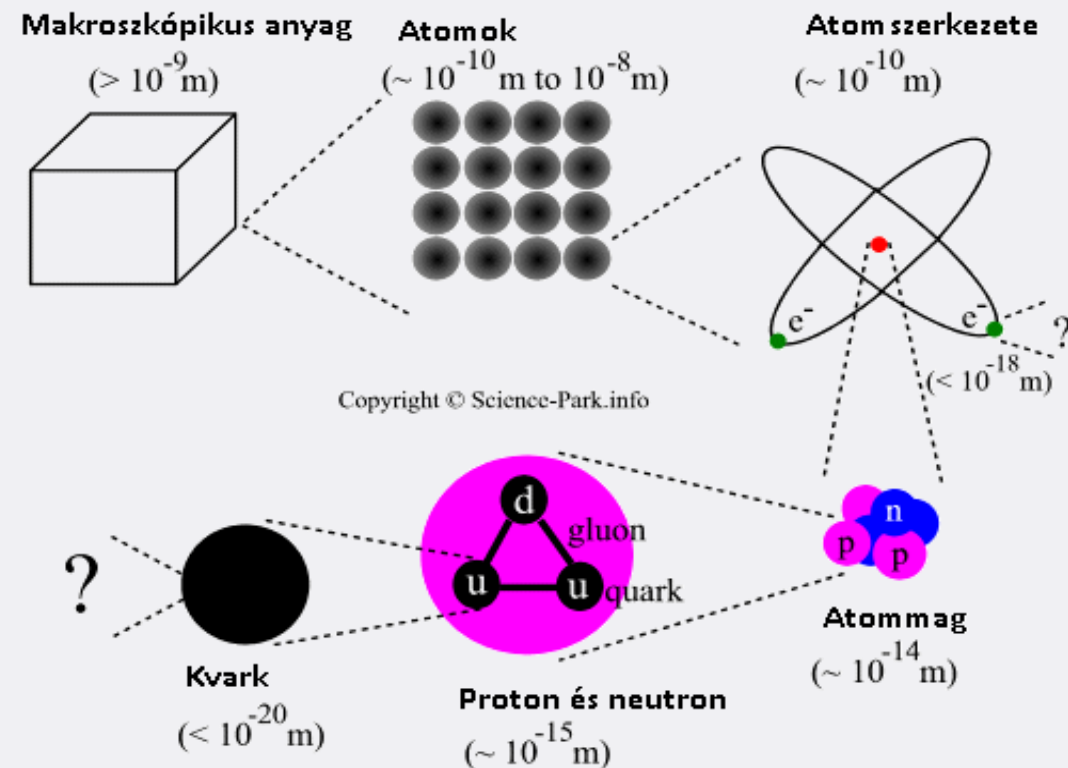


Nem ez az első előadás minderről ☺

- Az előadás témájában például:
 - [A kvarkoktól az atomerőműig – kirándulás a nukleáris völgybe](#) (Dávid Gyula, 2011)
 - [A lehűléstől forrósodó téglá – avagy a csillagok termodinamikája, 1. rész](#) (Dávid Gyula, 2012)
 - [Hamuval fűteni – avagy a csillagok termodinamikája, 2. rész](#) (Dávid Gyula, 2013)
 - [Szupernova, avagy a felrobbanó hűtőgép – a csillagok termodinamikája, 3. rész](#) (Dávid Gyula, 2013)
 - [Természeti reaktor egy afrikai uránbányában](#) (Horváth Ákos, 2021)
 - Stb... (lásd a hivatkozásokat a diákon is)
- További magfizikai részletek az AtomCsillen:
 - <http://atomcsill.elte.hu/NEW/events/tags/magfizika/>
- A kvantummechanikáról:
 - <http://atomcsill.elte.hu/NEW/events/tags/kvantumelmélet/>
- Részecskefizikai előadások (kísérlet és elmélet):
 - <http://atomcsill.elte.hu/NEW/events/tags/elmeleti-reszecskefizika/>
 - <http://atomcsill.elte.hu/NEW/events/tags/kiserleti-reszecskefizika/>

Miből van a világ?

- Ókor: négy elem, majd rengeteg különböző anyag
- 1789: Dalton elemei 33
- 1869: atomok, periódusos rendszer ~100
- 1930: proton, neutron, elektron 3
- 1930-1960: „hadronok” ~100
- 1975: standard modell 4
- ~2000: elemi részek sok altípusa ~100
- Még elemibb részecskék? ??
- Részecskék száma:
ingadozik az idő függvényében
- Hova tart a távoli jövőben??
- A 2050-es AtomCsillen megtudjuk

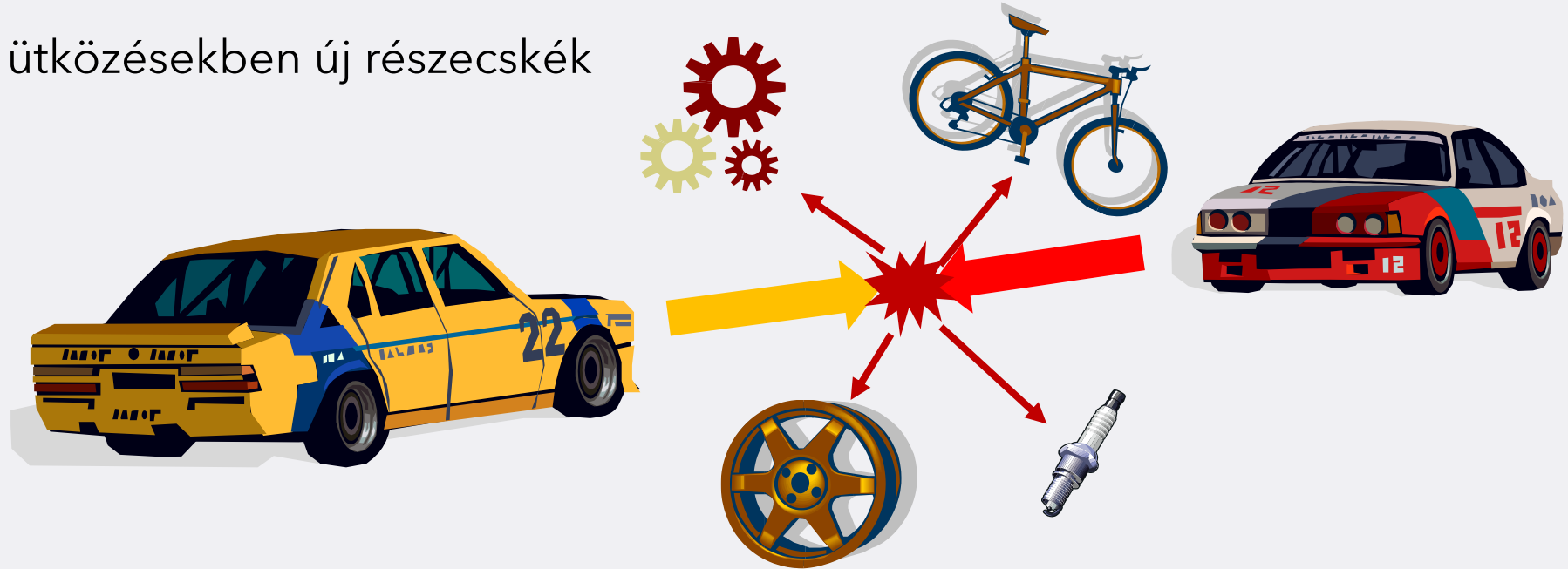


„Elemek” száma az idők folyamán

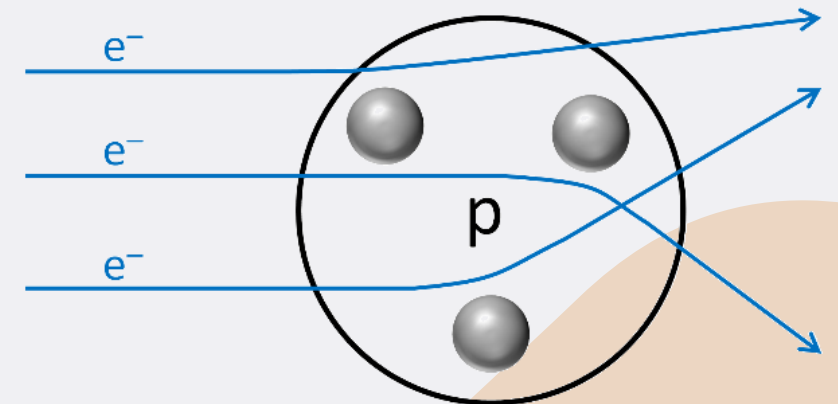


A részecskefizika módszere

- Nagyenergiás ütközésekben új részecskék
- Hasonlat:



- Szétrepülő alkatrészek, ritkán új modellek állnak össze
- Így vizsgálták az atomok és az atommagok szerkezetét is
- Felbontás: $\sim 1/E$, atomszerkezet: MeV, magszerkezet: GeV
- Részecskegyorsítók!



„Új természeti törvények felfedezéséről”

„Általában az alábbi módon keressük az új természeti törvényeket.

Első lépésben felteszünk egy elméletet.

Aztán megvizsgáljuk a feltételezésünk következményeit, hogy lássuk, mit jelentene, ha az elméletünk igaz lenne.

Majd a számítások eredményeit összehasonlítjuk a Természettel, közvetlenül a megfigyelésekkel, kísérlet vagy tapasztalat által, hogy lássuk, működik-e.

Ha ellentmond a kísérleteknek, akkor az elméletünk hibás.

Ebben az egyszerű állításban van a tudomány kulcsa.

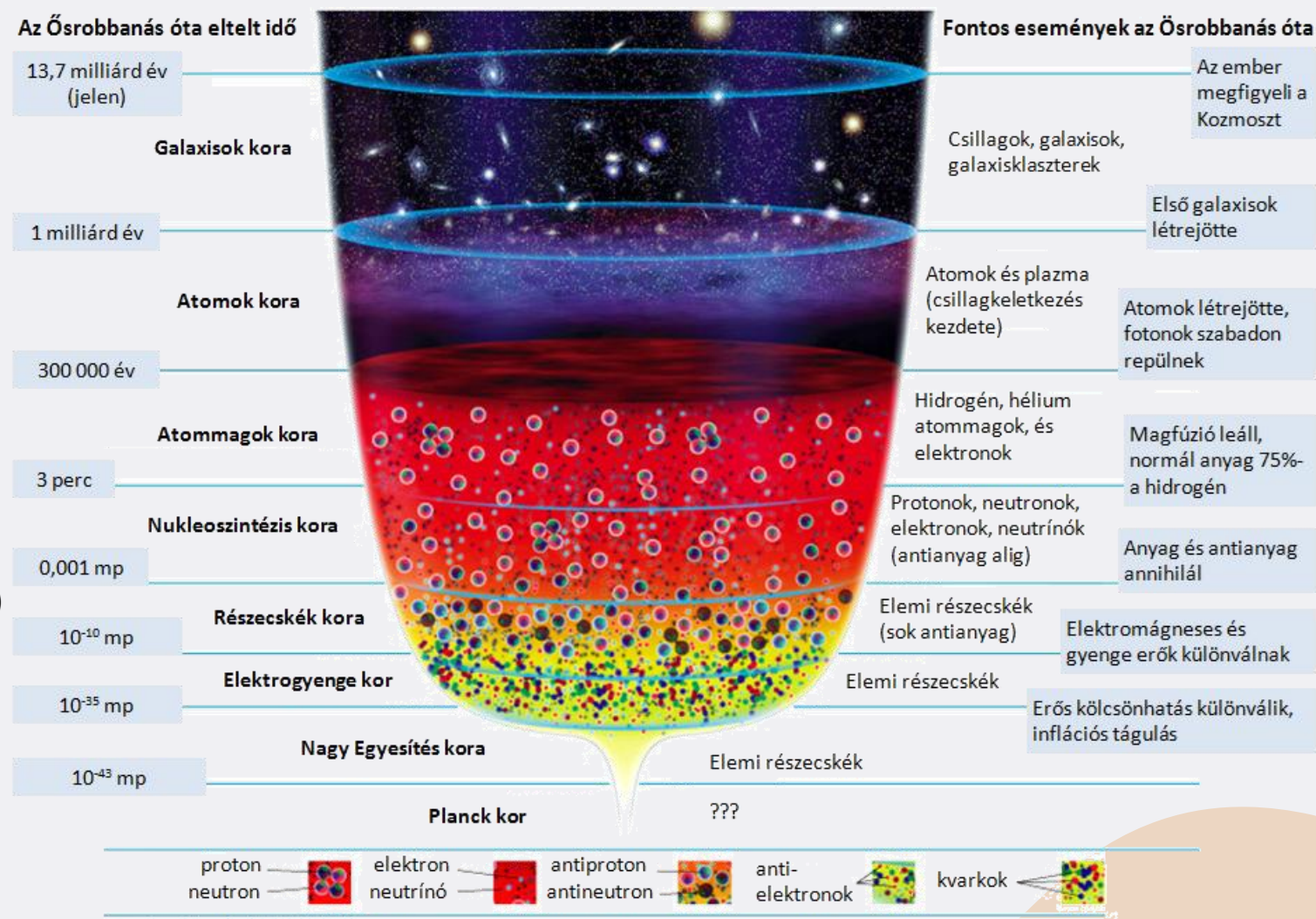
Nem számít, milyen szép az elméletünk, nem számít, milyen okosak vagyunk, hogy ki találta ki az elméletet, hogy őt hogy hívják – ha ellentmond a kísérleteknek, akkor hibás.”

/Richard P. Feynman/



A Világegyetem története dióhéjban

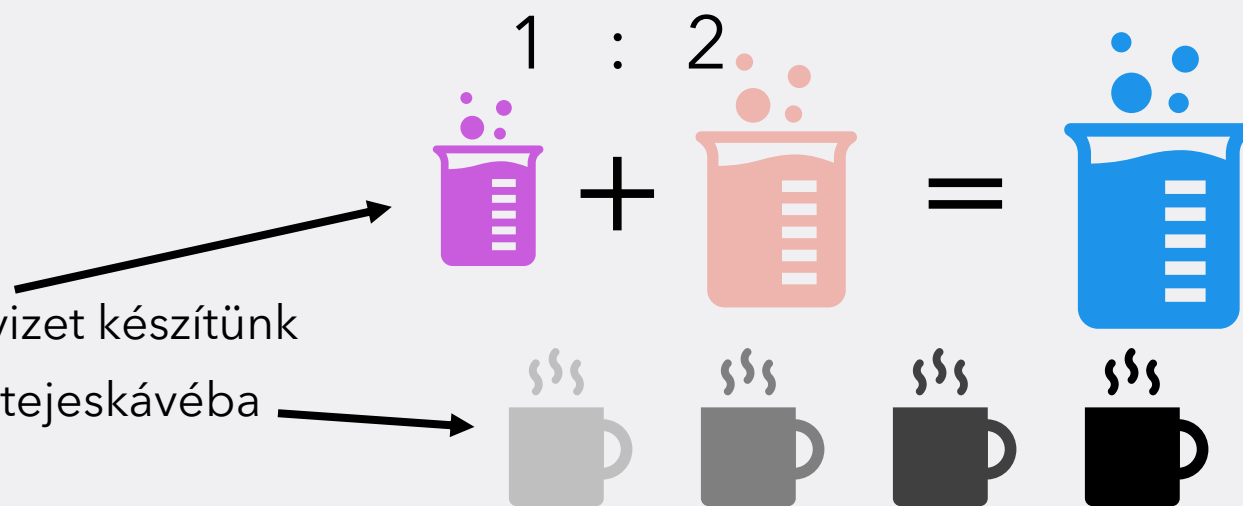
- Ősrobbanás
 - 13,8 milliárd éve
- Univerzum ma:
 - Csillagok, galaxisok, galaxishalmazok
 - Ezekben atomok, atommagok
- Régen nagyon máshogy nézett ki
- Első 400 ezer év
 - Elektromágneses plazma (> 5000 fok)
- Első 3 perc:
 - Magfúzió ($>$ millió fok)
- Első milliomod másodperc:
 - Kvarkanyag ($>$ billió fok)
- Honnan tudjuk mindezt?



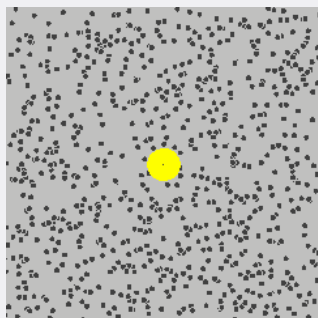
© Addison-Wesley Longman
fordítás: PHENIX-Hu

Honnan tudjuk, hogy atomok léteznek?

- Kémiai felfedezések (Lavoisier, Dalton)
 - Reakciókban a tömeg megmarad
 - Arányok rögzítettek: nem adhatunk „egy kicsit több” oxigént a hidrogénhez, ha vizet készítünk
 - Éles ellentétben a hétköznapi tapasztalattal: tejeskávéba mindig tehetünk egy kicsit több tejet
- Erős bizonyíték: Brown-mozgás (Einstein)



Dalton elemei

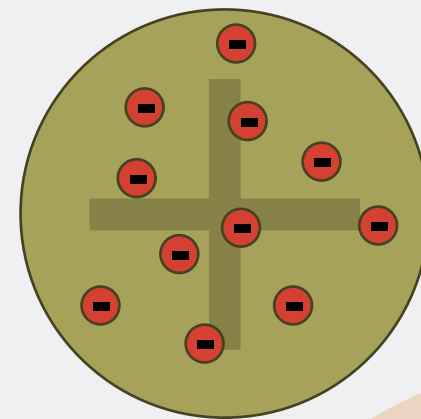
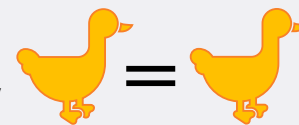
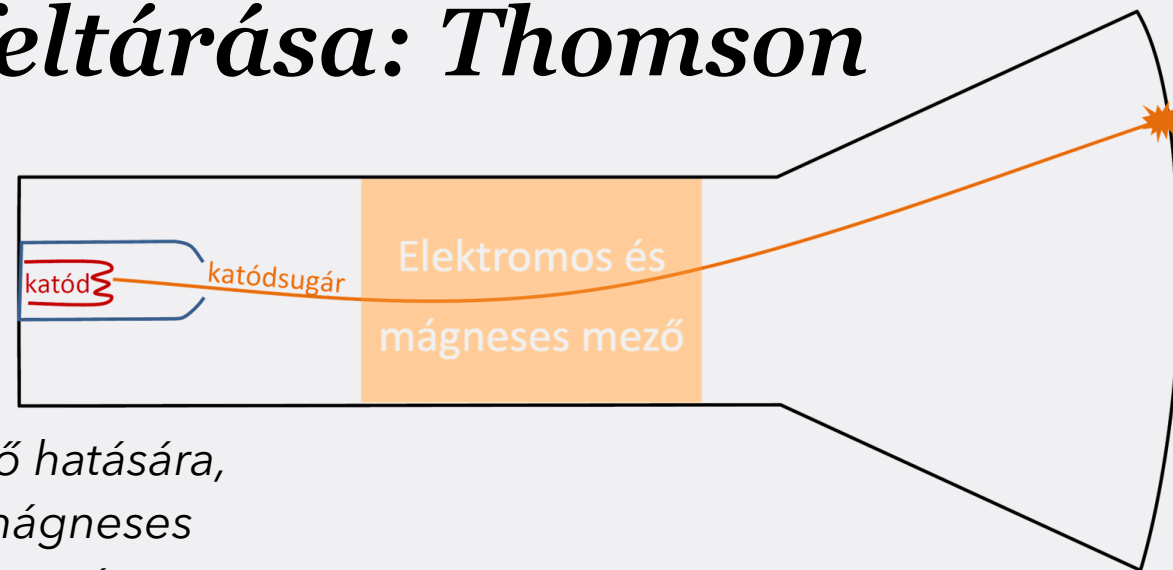


ELEMENTS. Plate							
1	2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15	16
		17	18	19	20		
		Binary					
21	22	23	24	25			

EXPLANATION OF THE PLATES. 219			
PLATE IV. This plate contains the arbitrary marks or signs chosen to represent the several chemical elements or ultimate particles.			
Fig.		Fig.	
1 Hydrog. its rel. weight 1	11 Strontites	-	46
2 Azote, - - - - 5	12 Barytes	-	68
3 Carbone or charcoal, - 5	13 Iron	-	38
4 Oxygen, - - - - 7	14 Zinc	-	56
5 Phosphorus, - - - 9	15 Copper	-	56
6 Sulphur, - - - - 13	16 Lead	-	95
7 Magnesia, - - - - 20	17 Silver	-	100
8 Lime, - - - - 23	18 Platina	-	100
9 Soda, - - - - 28	19 Gold	-	140
10 Potash, - - - - 42	20 Mercury	-	167
21. An atom of water or steam, composed of 1 of			

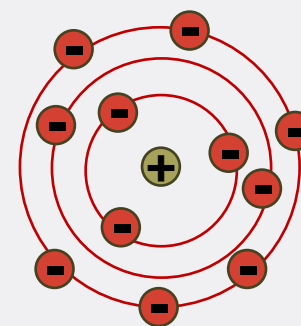
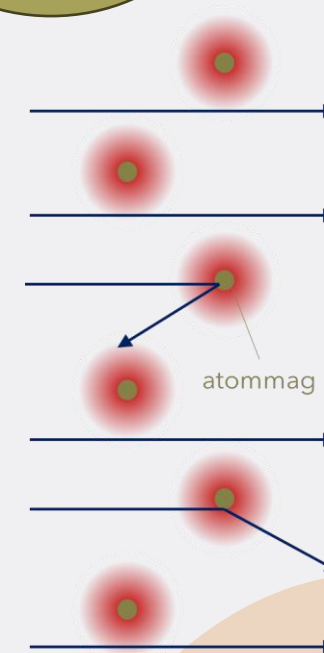
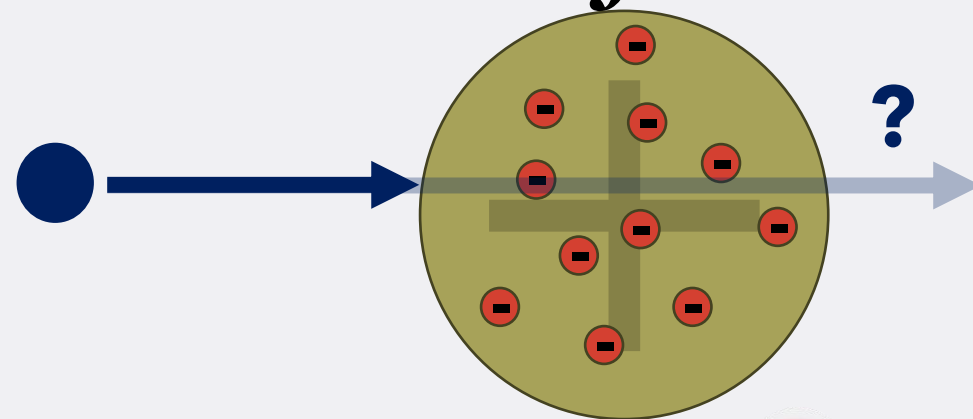
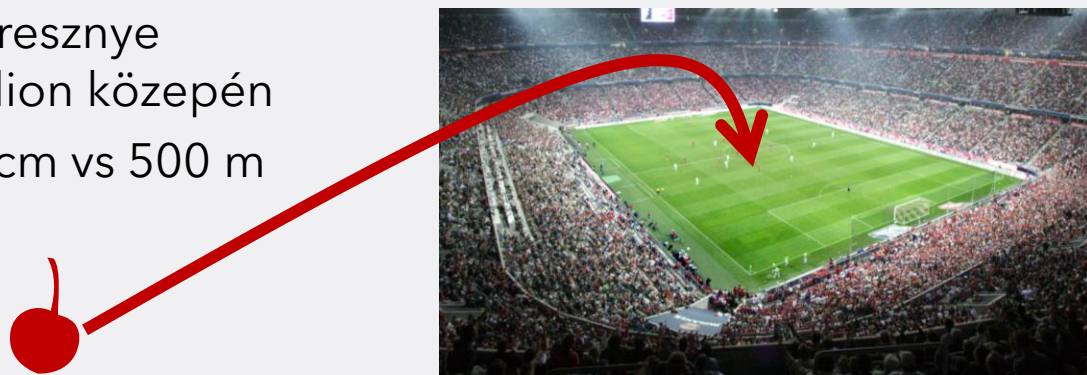
Az atomok szerkezetének feltárása: Thomson

- Az elektron felfedezése katódsugarakban
- Elterülés elektromos mezőben: kis, töltött részecske
- Valószínűleg benne volt az atomban
- „A katódsugarak [...] eltérülnek az elektrosztatikus erő hatására, mint ha negatív elektromosságuk lenne, hat rájuk a mágneses erő éppen úgy, mint ahogy hasonló pályán mozgó negatív töltésű testekre hatna. Nem látok tehát más lehetőséget, mint hogy arra következtessünk, hogy a katódsugarak negatív töltést hordozó anyagi részecskékből állnak.” (J. J. Thomson, Cathode rays, Philosophical Magazine, 44, 1897).
- „Ha úgy néz ki, mint egy kacsa, ha úgy úszik, mint egy kacsa, és úgy hápog, mint egy kacsa, akkor az egy kacsa.”
- Atom: pozitív felhőben kis negatív töltések
- Thomson: Nobel-díj, 1906



Az atomok szerkezetének feltárása: Rutherford

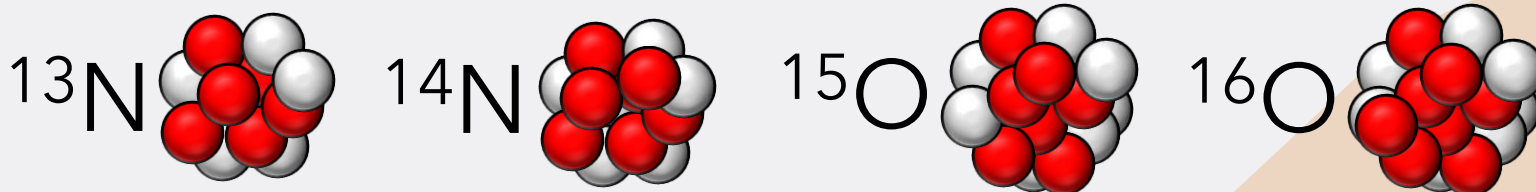
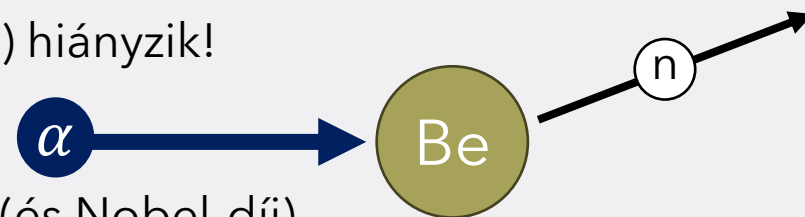
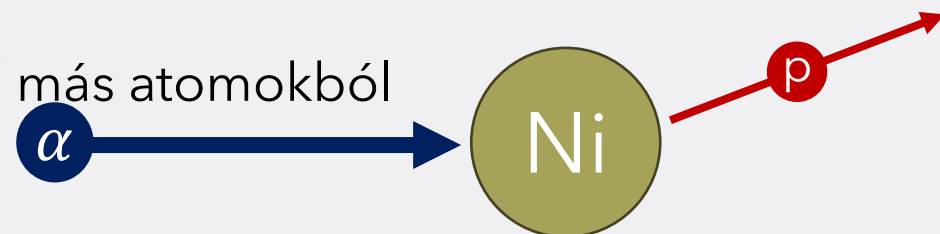
- Feltárható-e az atom belső szerkezete?
 - Valamilyen sugárzás szórásának vizsgálata
- Rutherford: alfa-sugárzás részecskái aranyfólián
 - Elterülés az atom belső szerkezetétől függ
 - Felfedezés: gyakori nagyszögű visszaverődés
 - Thomson-modell alapján nem ez várható!
 - Szórás eloszlása olyan, mint ha egy apró, nehéz „mag” lenne
- Atom: 10^{-10} m (0,1 nm), atommag: 10^{-15} m (1 femtométer)
 - Cseresznye stadion közepén
 - 0.5 cm vs 500 m



- Rutherford (Nobel-díj, 1908), „bolygómodell”

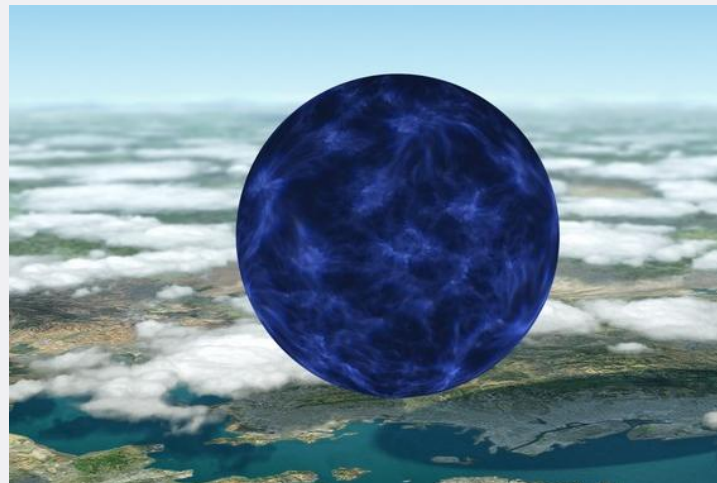
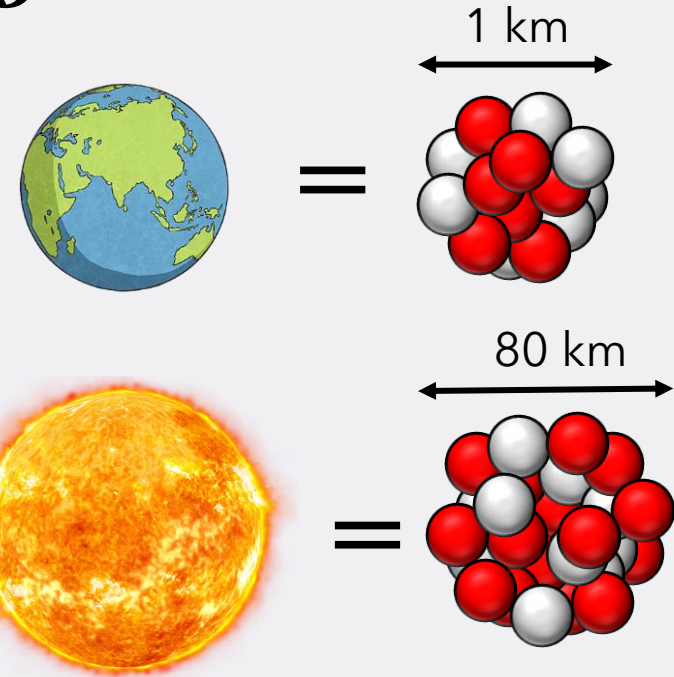
A proton és a neutron felfedezése

- Proton felfedezése: Rutherford, hidrogénmag „kilökhető” más atomokból
 - Valószínűleg benne volt! Hidrogénmag neve legyen proton
- Atomok kémiai jellemzői, elektronok száma → rendszám, pl. szén: 6, oxigén: 8, arany: 79
 - Semleges atom: ugyanannyi proton mint elektron
- Atomok tömege kémiai reakciókból ismert → tömegszám, pl. szén: 12, oxigén: 16, arany: 197
 - Proton tömege is ismert - az atom tömegének fele (vagy még több) hiányzik!
- Chadwick, semleges sugárzás is „kilökhető” más atomokból
 - A kilökött részecske tömege a protonéval megegyező → neutron! (és Nobel-díj)
- Atommag: protonok és neutronok összessége
 - Jelölés: A - tömegszám, Z - rendszám → A_ZX atom, ahol X az elem vegyjele; elég AX módon írni
 - Adott elem = adott Z (adott X)
 - Adott elem izotópjai:
 ${}^{13}\text{N}$ és ${}^{14}\text{N}$, ${}^{15}\text{O}$ és ${}^{16}\text{O}$



A maganyag nagyban: neutroncsillagok

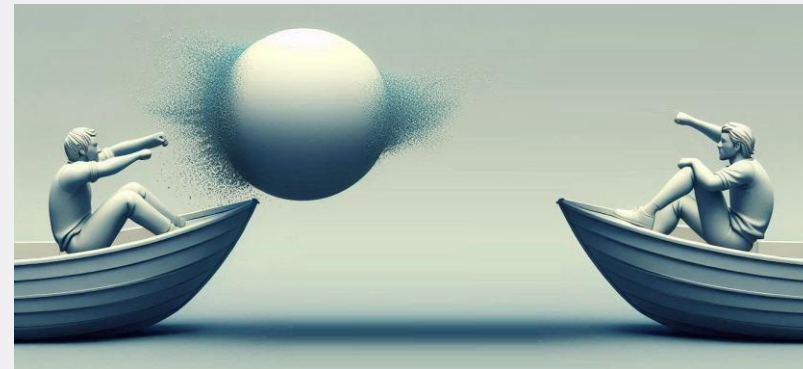
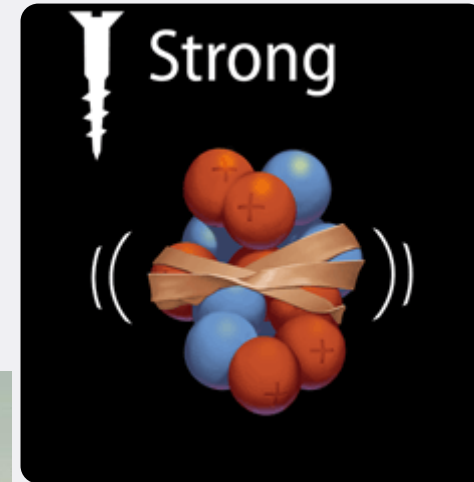
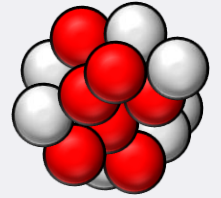
- Atommag mérete: 100 000x kisebb, mint az atom (10^5)
- Térfogat: 10^{15} x kisebb $\rightarrow$ sűrűség: 10^{15} kg/m³ nagyságrend
 - Egy köbcentiméter ebből: egymilliárd kg (egymillió tonna)
 - Föld tömege: $6 \cdot 10^{24}$ kg $\rightarrow$ 1 km sugarú gömb lenne
 - Nap tömege: $2 \cdot 10^{30}$ kg $\rightarrow$ 80 km sugarú gömb lenne
- Egyes csillagok életük végén összezuhannak
- Ami marad: „atommag-csillag” (avagy „neutroncsillag”)
 - Városméretű, „kompakt” csillag
 - Szerkezete jórészt ismeretlen





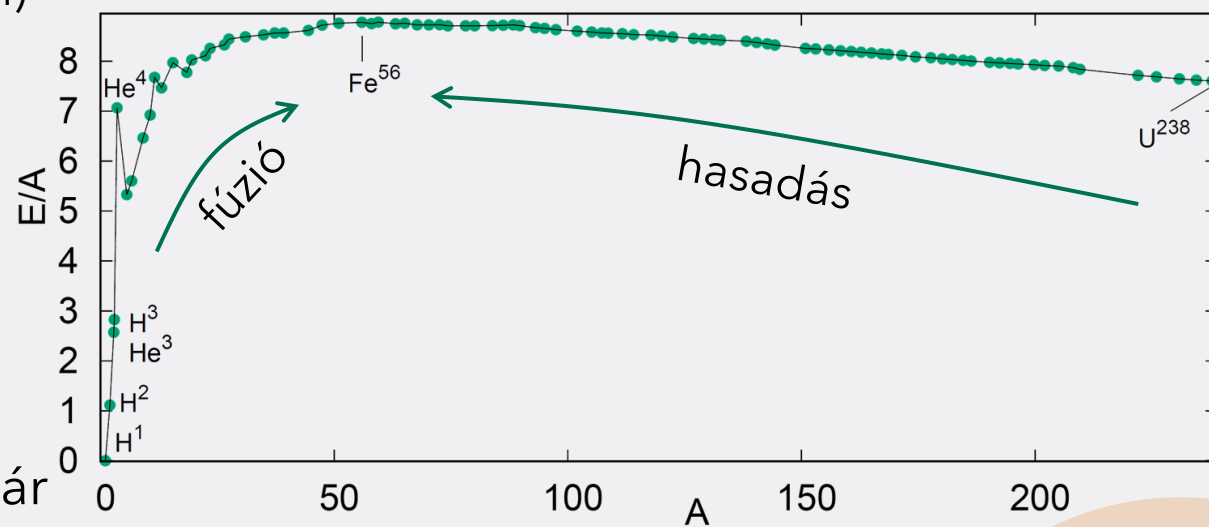
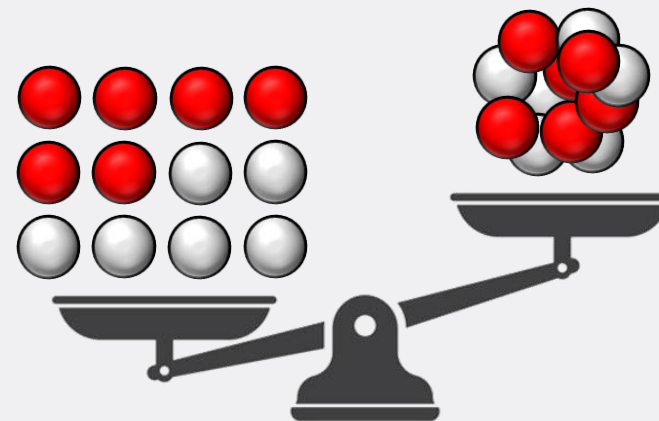
De mi tartja össze az atommagot?

- A proton pozitív, a neutron semleges: elektromosság szétvetné az atommagot
 - Proton töltése $1,6 \cdot 10^{-19}$ coulomb, 1 femtométer távolság: $F \approx 230$ newton! Gyorsulás: 10^{29} m/s^2
 - Mi elég erős ahhoz, hogy legyőzze ezt a taszítást?
- Rutherford kísérlete: szórás eloszlása során csak elektromágneses kölcsönhatás
 - Ez egészen ~ 10 femtométer távolságig igaz
- Elektromágnességet legyőző **magerő** kölcsönhatás rövid hatótávolságú!
 - Kölcsönhatás: részecskecsere (hasonlat: csónak és medicinlabda)
 - Rövidtávon nehéz részecskét is ki lehet cserélni
 - Kvantummechanika, határozatlanság: kölcsönvett energia $\sim 1 / \text{idő}$
 - Elektromágnesség: foton cseréje ($m_{\text{foton}} = 0$)
 - Magerő: pion cseréje ($m_{\text{pion}} \approx m_{\text{proton}}/7$)
- Leírása: **erős kölcsönhatás**



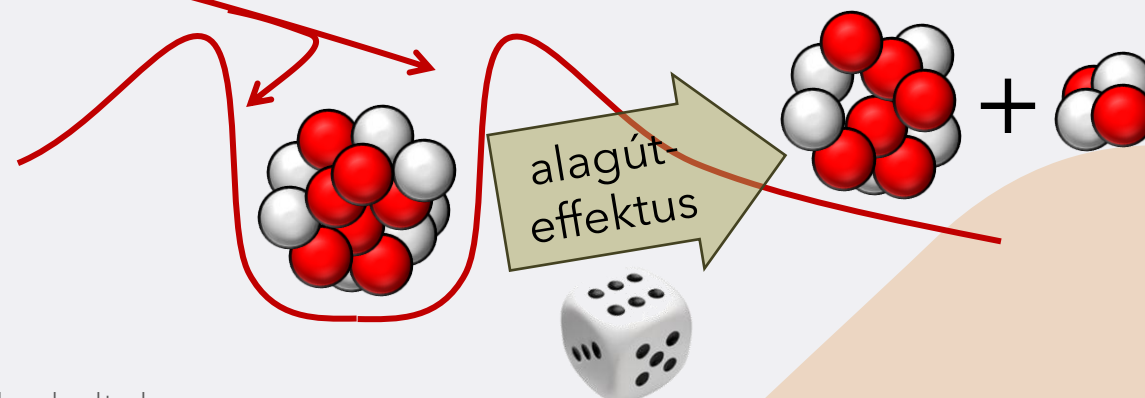
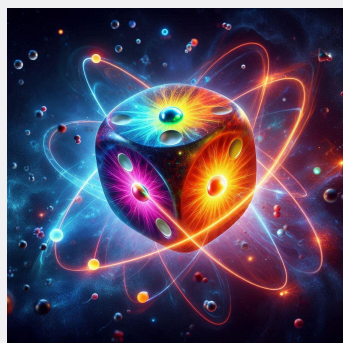
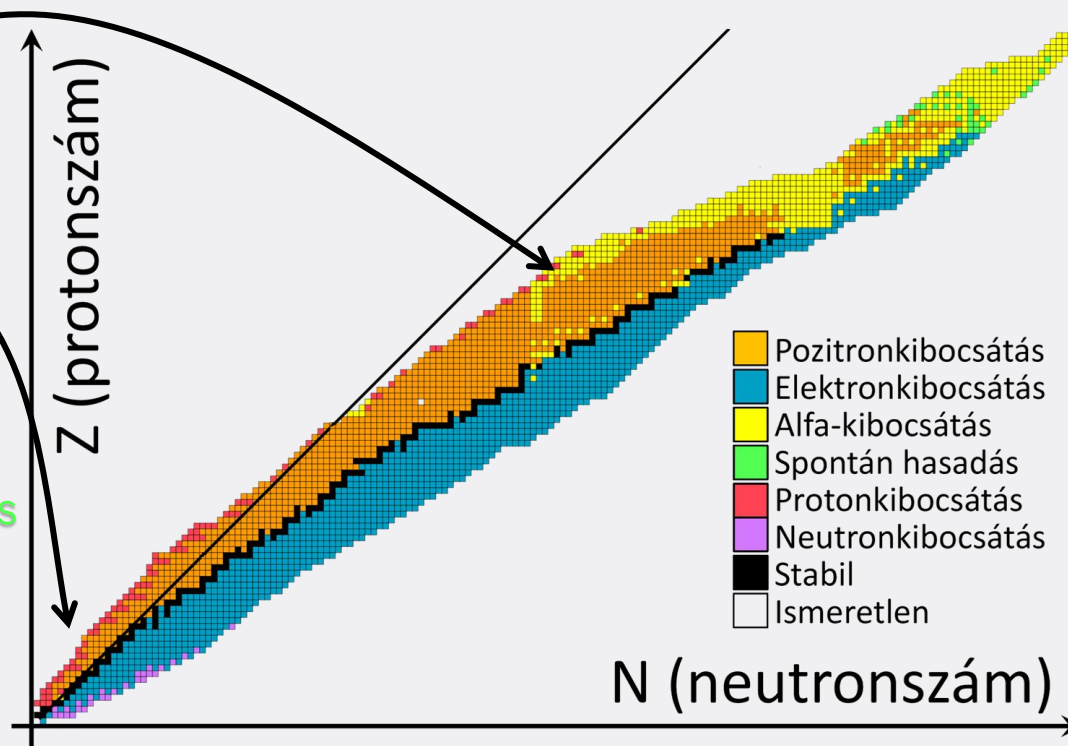
Kötési energia és stabilitás

- Kötési energia: stabilitás mértéke
 - Ennyit kell befektetni a „kiszabadításhoz”
 - Mag tömege < alkotórészek (p, n) össztömege
- Optimális állapot: legnagyobb kötési energia
 - Könnyű magok: $N = Z$ (neutronszám=protonszám)
 - Például: ${}^4\text{He}$: 2+2, ${}^{12}\text{C}$: 6+6, ${}^{16}\text{O}$: 8+8
 - Nehéz magok: N kicsit nagyobb, mint Z
 - Például: ${}^{197}\text{Au}$: 79+118, ${}^{208}\text{Pb}$: 82+126
- A stabil magok között is van stabilabb
 - Optimális: vas (Fe-56)
- Hasadás: nehéz magok, energianyereséggel jár
- Fúzió: könnyű magok, energianyereséggel jár
- Többnyire magától azért nem következik be – szerencsére!



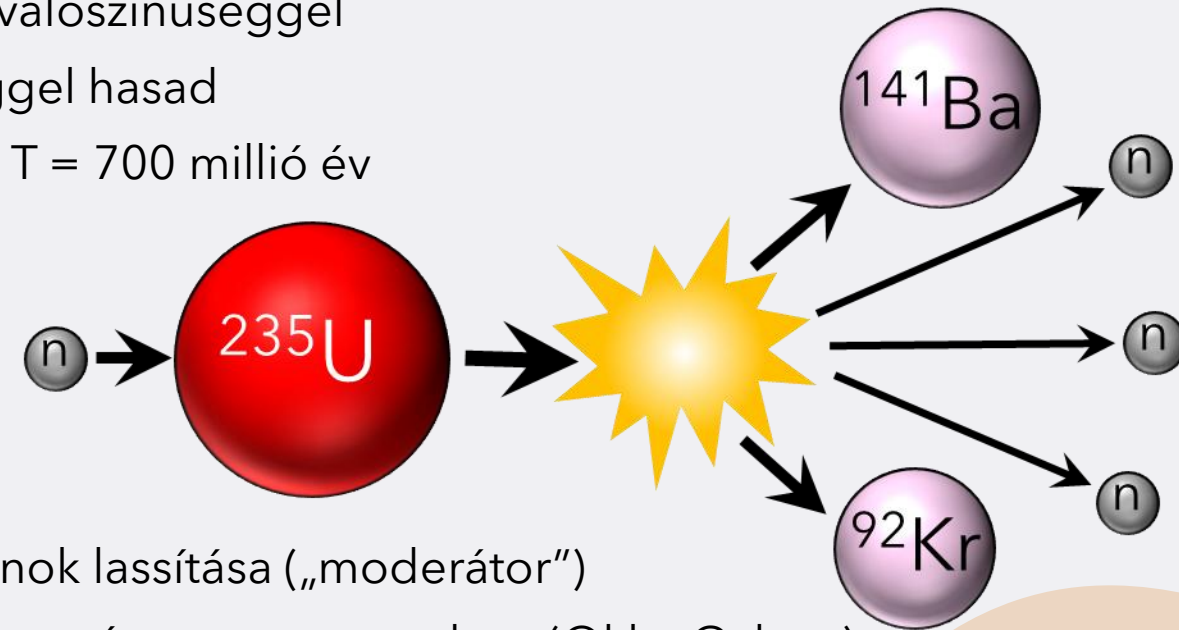
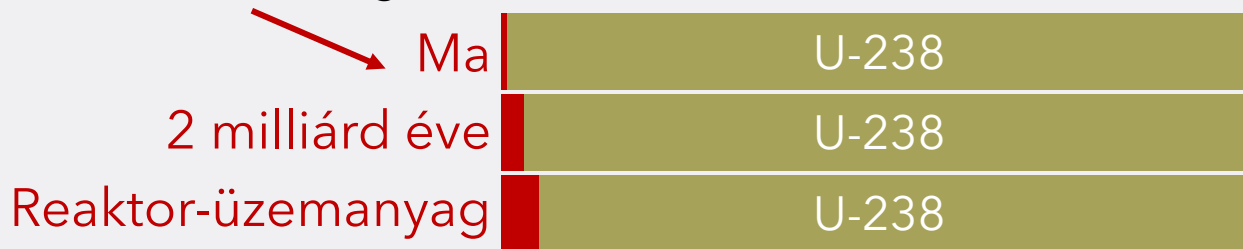
Az atommagok bomlása – kvantummechanika

- Adott elem legstabilabb izotópja
- Nehéz magok: N kicsit nagyobb, mint Z
- Könnyű magok: $N = Z$
- Instabil izotóp: tud kötöttebb maggá „bomlani”
 - Elektron- vagy pozitronkibocsátás: béta-bomlás
 - Proton-, neutron- vagy alfa-kibocsátás, spontán hasadás
- Miért nem azonnal?
 - Energiagát: felületi feszültség („cseppmodell”)
- Legyőzhető? Kvantummechanika: igen!
 - Csak ki kell várni
 - Teljesen véletlen folyamat: dobókockadobás
 - Alagúteffektus



Indukált maghasadás és atomenergia

- Maghasadás magától nehezen megy végbe, neutron segítségével (indukáltan) viszont igen
- Jól használható mag: urán, jellemzően Ba, Kr és 2-3n keletkezik (meg sok energia)
- Természetben két izotóp: **U-235** és **U-238** ($Z = 92$, $N = 143, 146$)
 - Gyors neutronokkal **U-235** és **U-238** is hasad, de kis valószínűséggel
 - Lassú neutronokkal U-235 extrém nagy valószínűséggel hasad
 - **U-235** alig van a természetben (0.7%), felezési ideje: $T = 700$ millió év

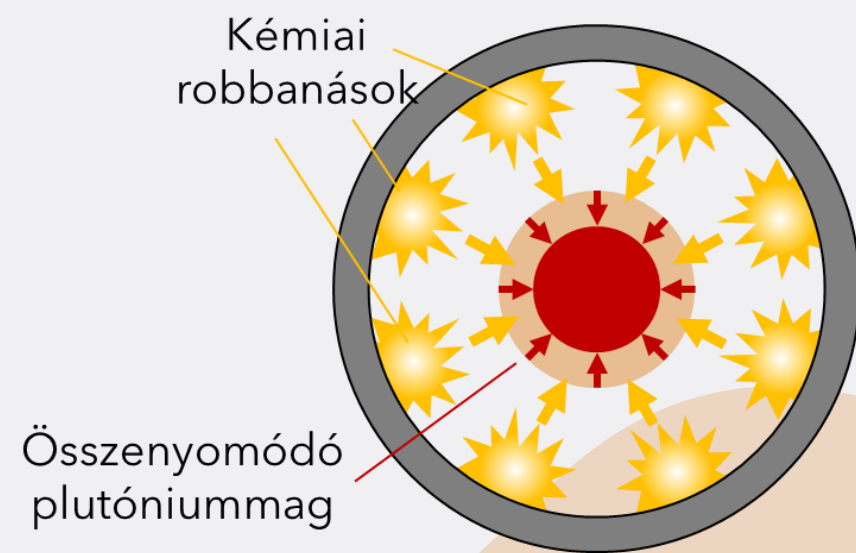
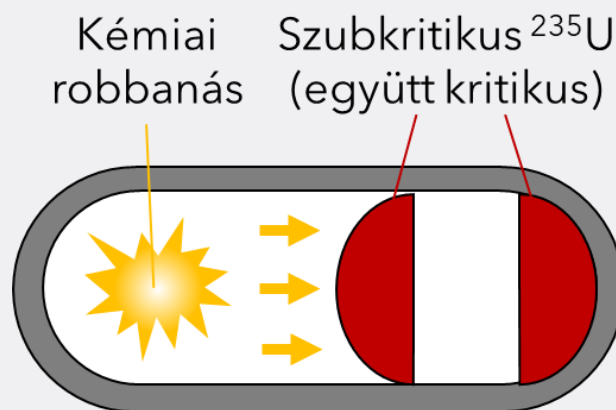
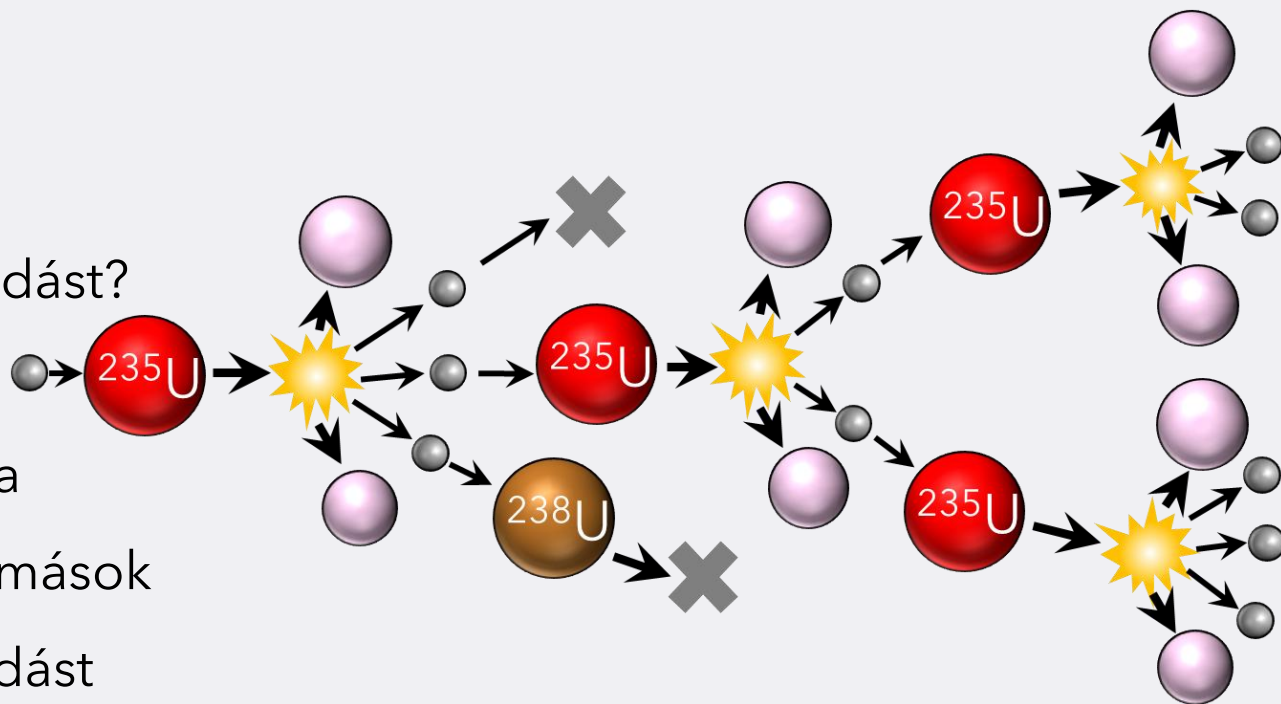


- Atomenergia: **U-235** hasadás energiájából hő
 - Két feltétel: **U-235** arány növelése („dúsítás”), neutronok lassítása („moderátor”)
 - Kétmilliárd éve (**3T**) nyolcszor (2^3) ennyi **U-235** volt: természetes atomreaktor (Oklo, Gabon)
 - Stabil működtetés: minden hasadásból egy neutron okozzon további hasadást

AtomCsill: [Dávid Gyula, 2011.09.29](#), [Horváth Ákos, 2021.11.11.](#)

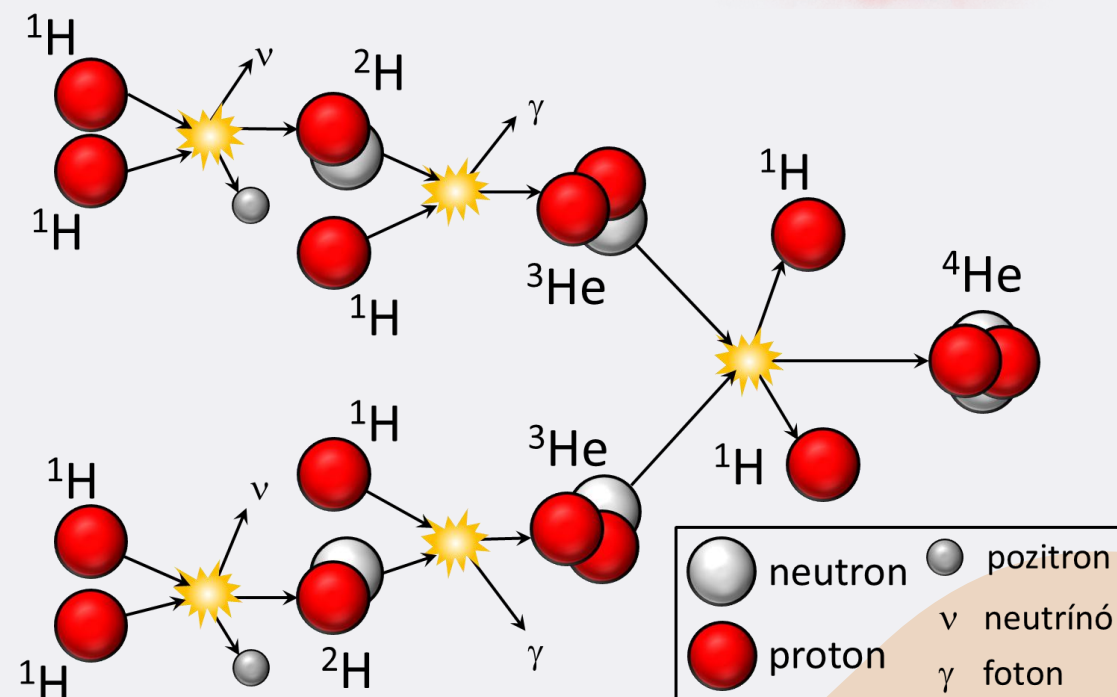
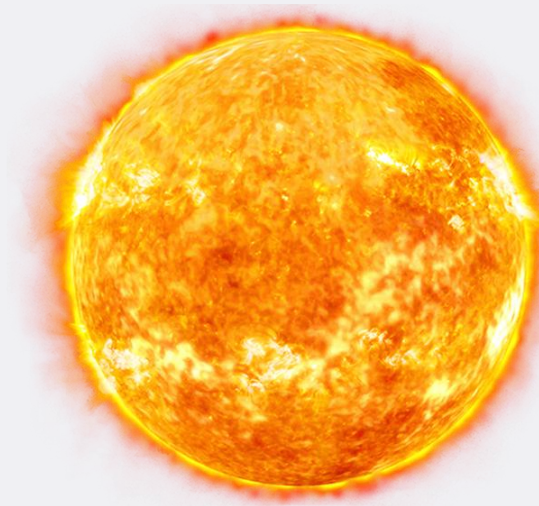
Atombomba

- Mi történik, ha nem egy neutron okoz hasadást?
- Láncreakció!
- Extrém gyors energiaszabadulás: bomba
- Felismerés: 1930-40, Szilárd, Fermi, sokan mások
- Lényeg: minél több neutron okozzon hasadást
 - Azaz: ne nyelődjön el U-238-ban
 - És ne szökjön el a neutron!
- Nagy adag urán: nincs elszökés
 - Kritikus mennyiség (tömeg, méret)
 - De ne is robbanjon fel egyből
- Két módszer: összelövés és implózió
- Lásd: Oppenheimer c. film



Magfúzió: a Nap működése

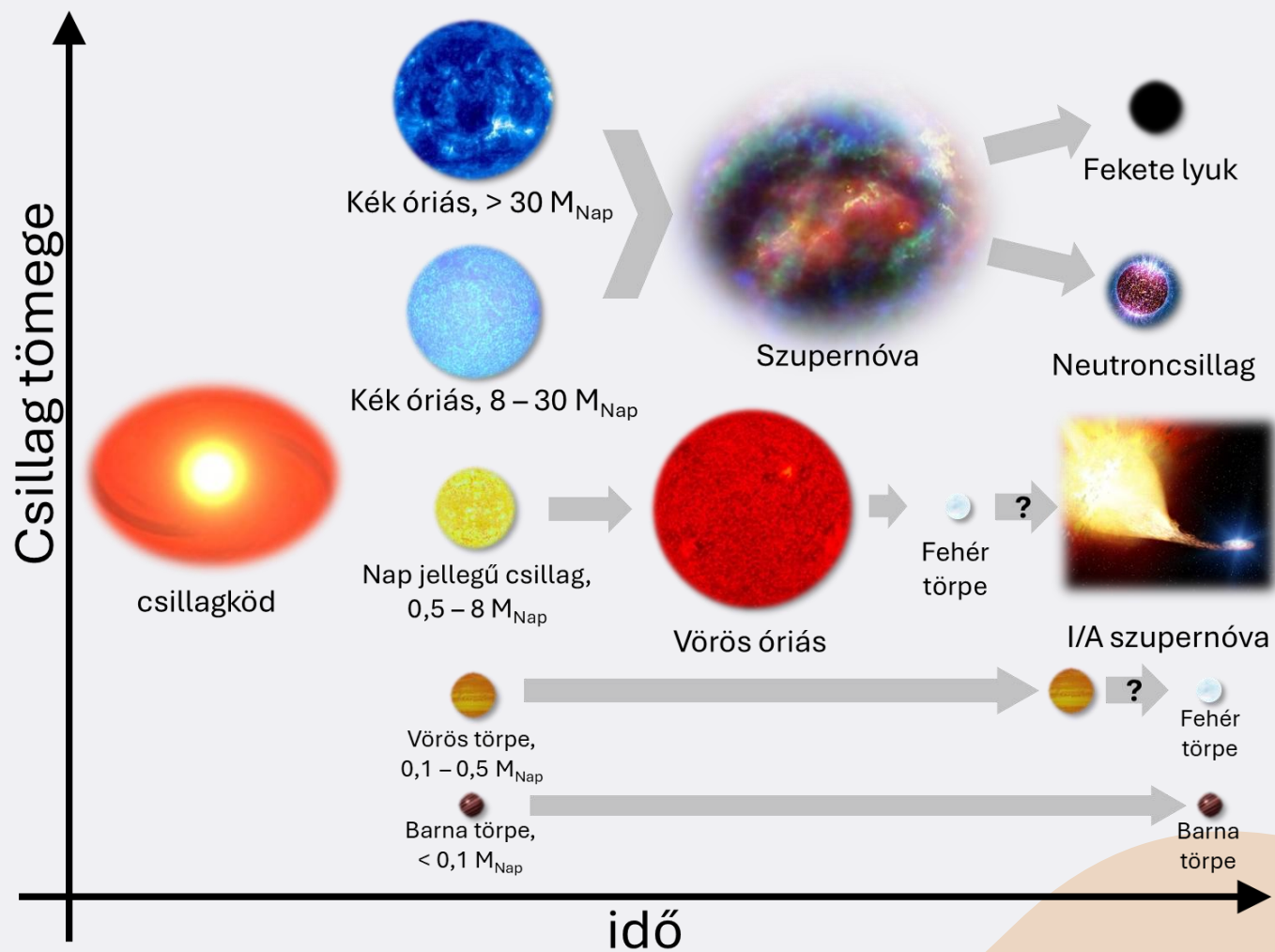
- Régi kérdés: honnan van a Nap energiája, a kb. $3,8 \cdot 10^{26}$ W teljesítmény?
 - Égés? 10-20 ezer év alatt elfogyna az üzemanyag
 - Gravitációs összehúzódás? 10-20 millió évre elég csak
 - Russel, 1919: hidrogénmagok fúziója!
- Könnyű atommagok: fúzió = energianyereség
- De: elektromos taszítás legyőzendő
- Szükséges: ~százmillió fokos hőmérséklet
- Nap belsejében ilyen körülmények!
- Jellemző útvonal: proton-proton-lánc
 - $1\text{H} + 1\text{H} \rightarrow 2\text{H}$
 - $1\text{H} + 2\text{H} \rightarrow 3\text{He}$
 - $3\text{He} + 3\text{He} \rightarrow 4\text{He} + 1\text{H} + 1\text{H}$



A csillagok élete és halála

- Kevés anyag ($<0,1$ naptömeg): nem elég forró, nincs fúzió
- Könnyű csillag: hosszú „parázslás”
- Nap: égés, felfúvódás, összeomlás
- Kék óriás (>8 naptömeg): szupernóva
 - A végén neutroncsillag (vagy fekete lyuk)
- Egy 25 naptömegű csillag élete:

Magfizikai folyamat	hőmérséklet	időtartam
$H \rightarrow He$	70 MK	10 millió év
$He \rightarrow Be, C$	200 MK	1 millió év
$C \rightarrow Ne, Na, Mg, Al$	800 MK	1000 év
$Ne \rightarrow O, Mg$	1600 MK	3 év
$O \rightarrow Si, S, Ar, Ca$	1800 MK	3 hónap
$Si \rightarrow Ni, Fe$	2500 MK	5 nap



AtomCsill: [Dávid Gyula, 2013.09.19.](#)

Az elemek eredete

- Honnan származnak az elemek?

- Ősrobbanás (H, He)

- Könnyű elemek:
szupernóvarobbanások

- Nehéz elemek:
neutroncsillagok

- Kozmikus sugárzás

- A körülöttünk lévő anyag szinte mind távoli csillagokból, távoli galaxisokból származik!

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

● Ősrobbanás

● Koszmos sugárzás keltette hasadás

● Felrobbanó nehéz csillagok

● Felrobbanó fehér törpék

● Egyesülő neutroncsillagok

● Haldokló könnyű csillagok

● Gyorsan bomló magok, csillagokból nem maradtak fent

57
La

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

89
Ac

90
Th

91
Pa

92
U

93
Np

94
Pu

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

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

87
Fr

88
Ra

1
H

2
He

3
Li

4
Be

5
B

6
C

7
N

8
O

9
F

10
Ne

11
Na

12
Mg

13
Al

14
Si

15
P

16
S

17
Cl

18
Ar

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

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

55
Cs

56
Ba

72
Hf

73
Ta

74
W

75
Re

76
Os

77
Ir

78
Pt

79
Au

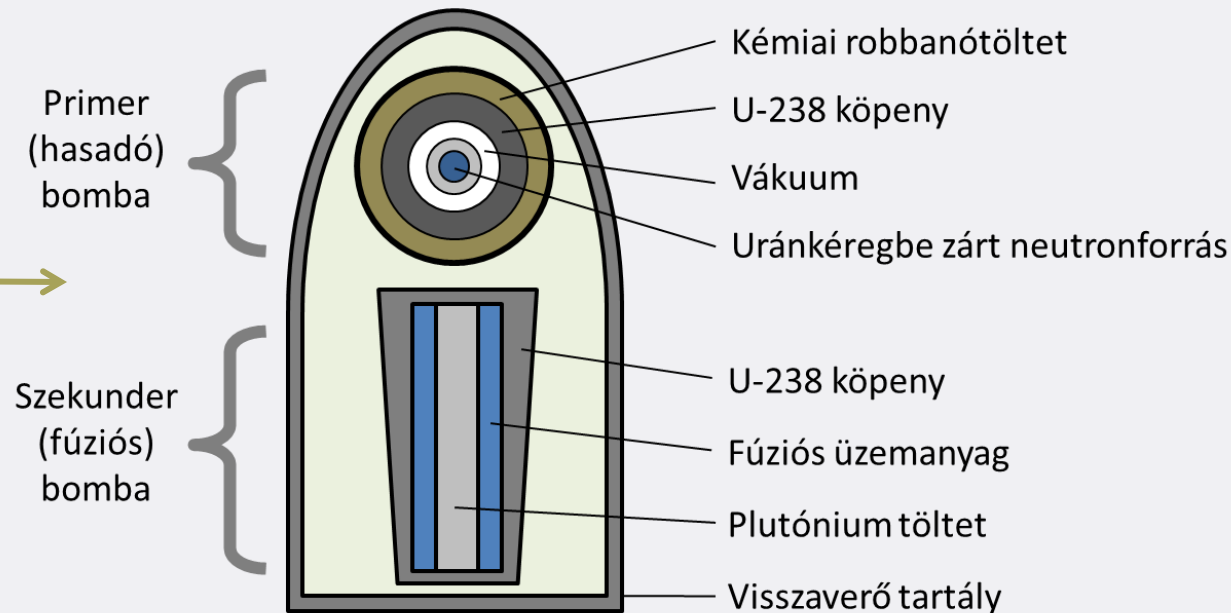
80
Hg

81

- Ősrobbanás
- Kozmikus sugárzás keltette hasadás
- Felrobbanó nehéz csillagok
- Felrobbanó fehér törpék
- Egyesülő neutroncsillagok
- Haldokló könnyű csillagok
- Gyorsan bomló magok, csillagokból nem maradtak fent

A magfúzió hasznosítása a Földön

- Gyors energiaszabadulás: fúziós bomba
- Ulam-Teller kialakítás: robbanás hasadásból, fúzió neutronok keltése miatt
- Kontrollált körülmények között?
- Sok(száz)millió fok kell hozzá!
- Áramló plazma, mágneses térben: sztellarátor, tokamak
 - Rengeteg műszaki probléma
 - Például: plazma instabilitása, neutronsugárzás
- Inerciális fúzió:
 - kicsi, gyors fúziós robbanások egymásutánja
 - Működőképes, de hogy lehet vele stabilan energiát termelni?



Vissza az alapokhoz: hogy működik az atommag?

- Eredete: az erős kölcsönhatás, a kvarkok kölcsönhatása

- Erő közvetítője: gluon

- Elektromosság: foton

- Erő „tárgya”: színtöltés

- piros, zöld és kék ill. magenta, cián és sárga

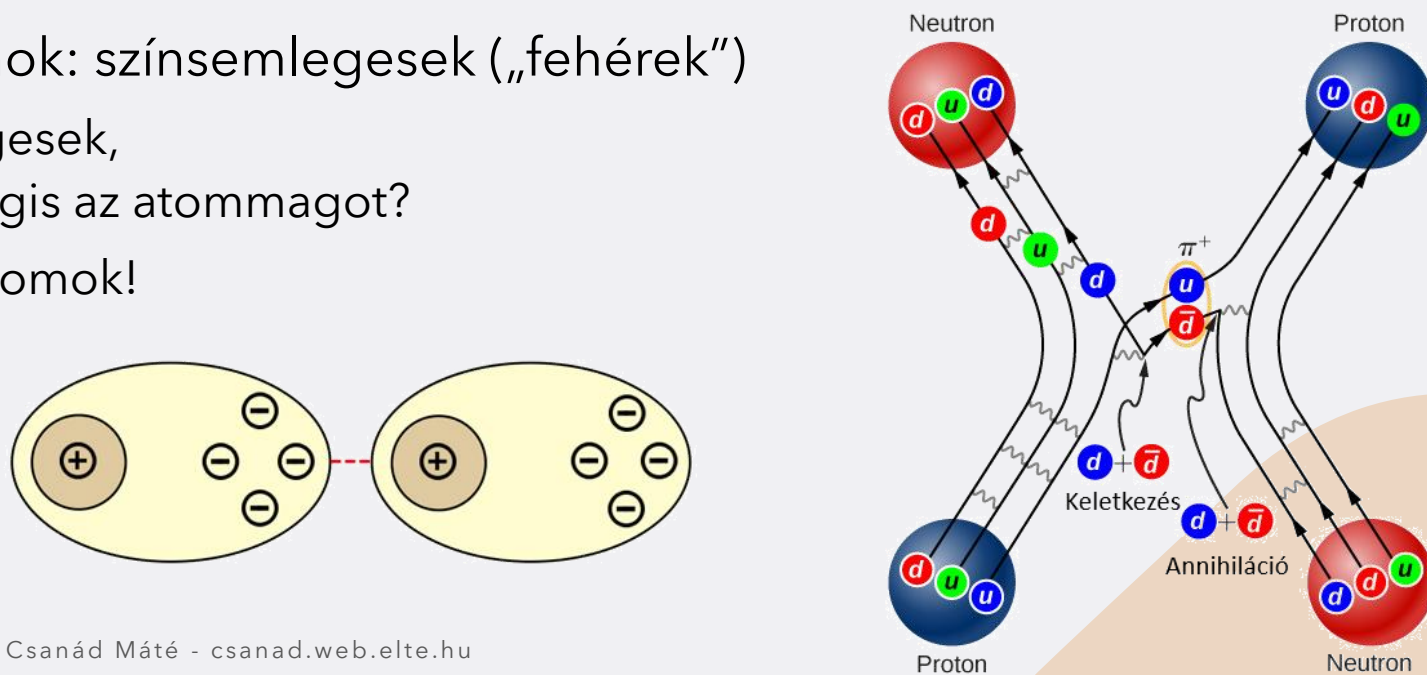
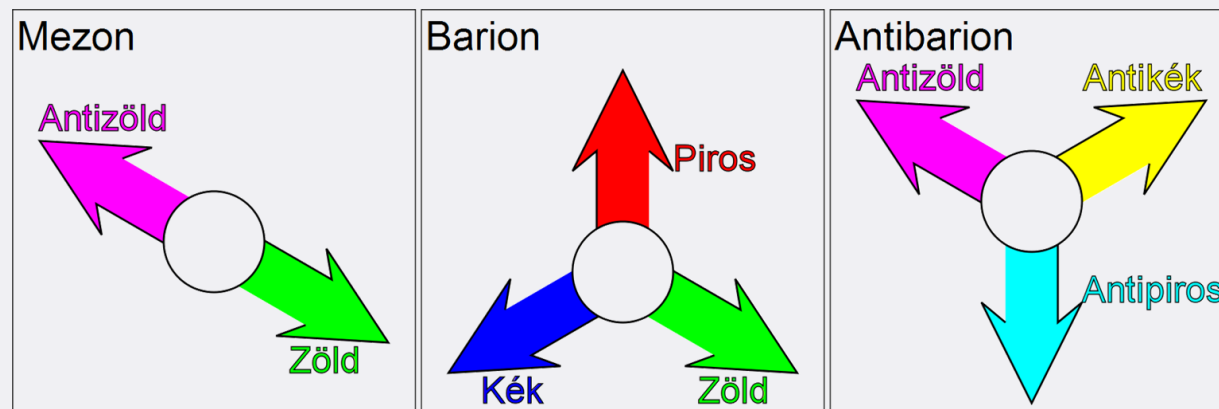
- elektromosság: elektromos töltés, + és -

- Megfigyelhető mezonok és barionok: színsemlegesek („fehérek”)

- Ha a proton és a neutron színsemlegesek, akkor miért tartja ez az erő össze mégis az atommagot?

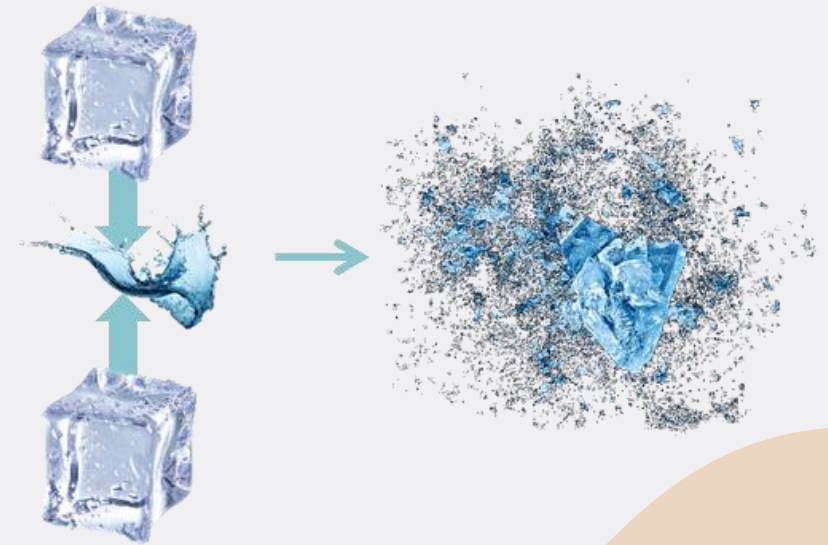
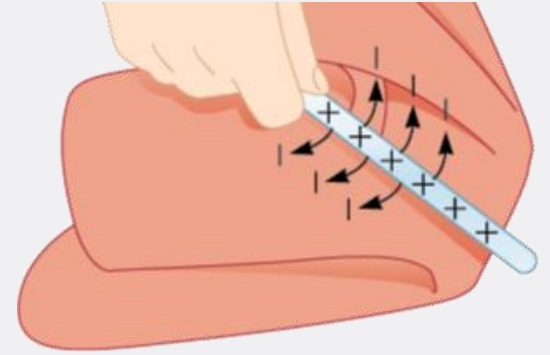
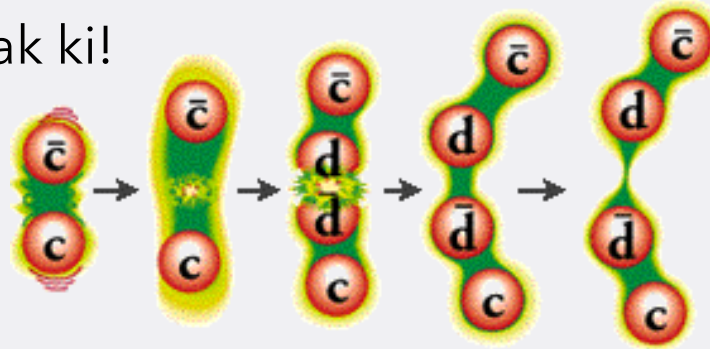
- Ahogy az elektromosan semleges atomok! (lásd: van der Waals erő)

- Kvarkok megfigyelhetőek mezonokon v. barionokon kívül?



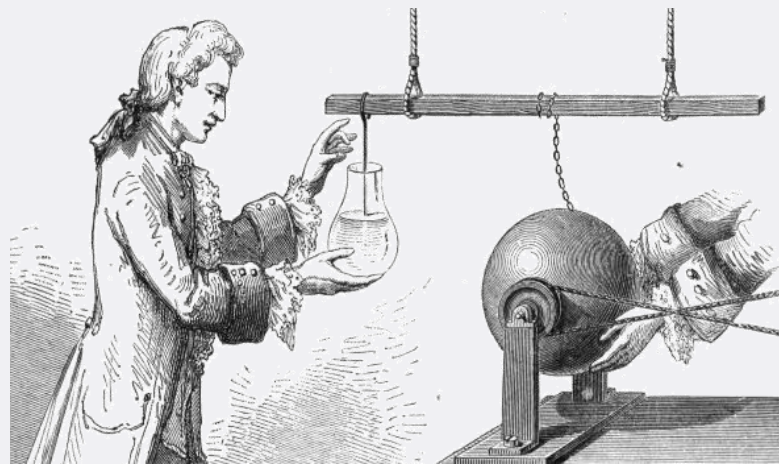
Elektromosság és kvarkbezárás

- Elektromosság felfedezése
 - Elektronok „kiszakítása” dörzsöléssel
- Kvarkok nem szabadíthatók ki!
 - Távolodás: energia
 - Újabb kvarkok!
 - Újra bezáródnak
- Ellentéte: aszimptotikus szabadság
- Óriási hőmérsékleten és nyomáson mégis kiszabadíthatóak?
- Hasonlat: jég megolvasztása, jégkockák ütköztetése
- Az erős kölcsönhatás vizsgálata: részecskegyorsító!



Az erős kölcsönhatás kutatása

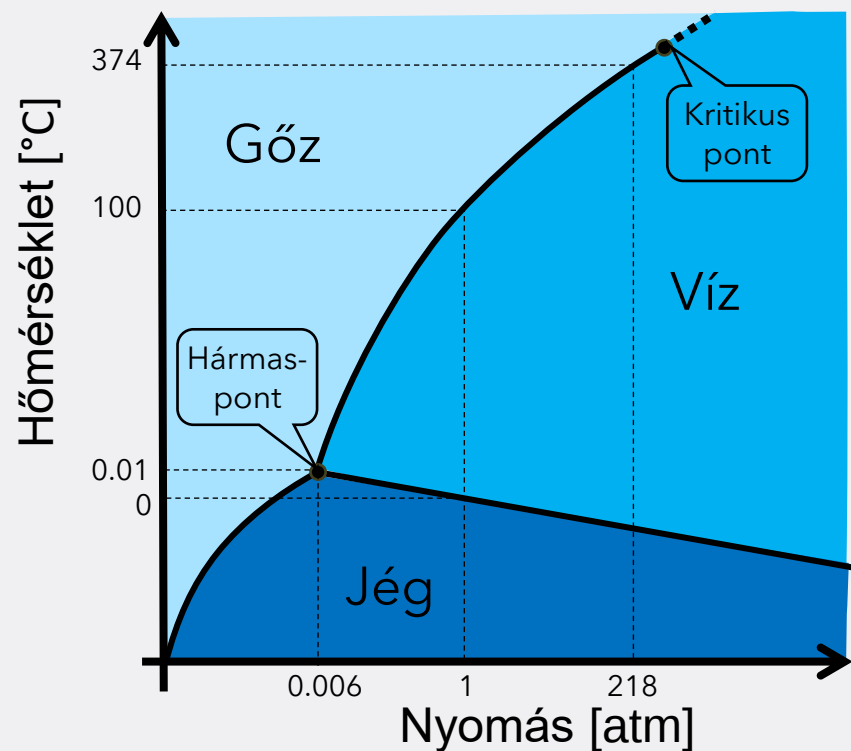
- Az elektromosság felfedezése
 - 1750-90 - Elektromosság
 - 1830-70 - Elméleti leírás
 - ~1900 - TV, telefon, PC
 - ~1970 - Mobiltelefon, Internet
- Az erős kcsh, megismerése
 - ~1930: felfedezés
 - ~1970: magyarázat
 - ~2000: részecskegyorsítók
 - ~XXI. század: alkalmazások?
- Hasznosításra példa: ionterápia
- Talán 20-30 év múlva hétköznapiakban is?



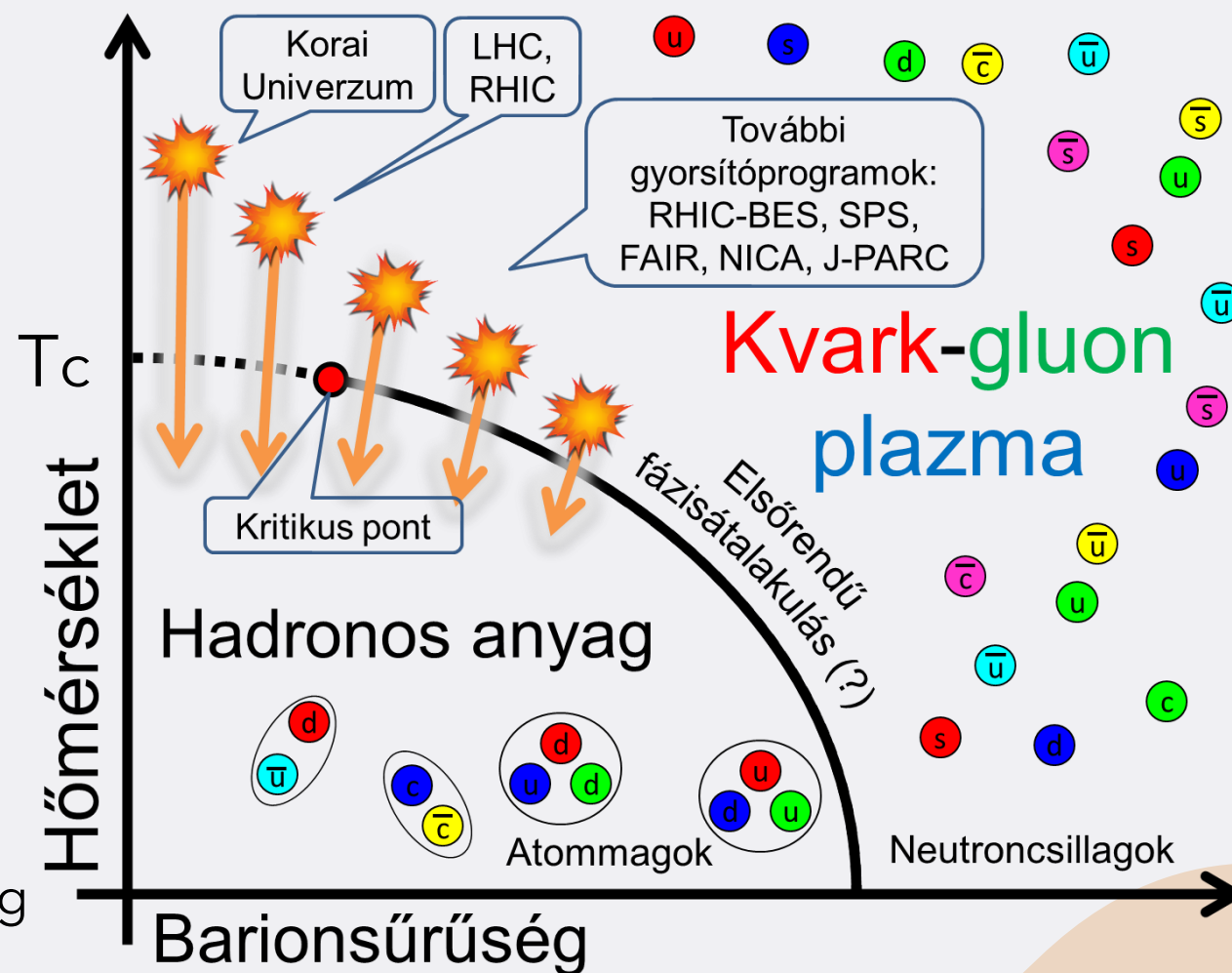
AtomCsill: [Katz Sándor, 2010.04.22.](#), [Nógrádi Dániel, 2016.04.14.](#), ...

A maganyag fázisai

- Fázisdiagram: állapotjelzők - fázisok

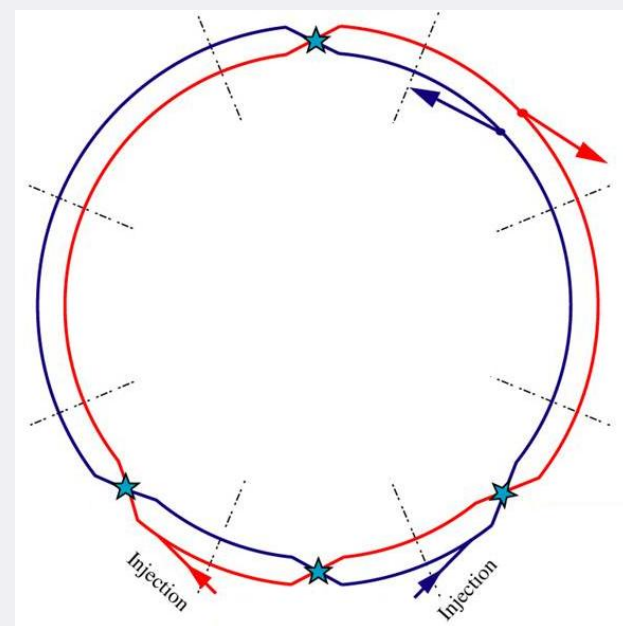
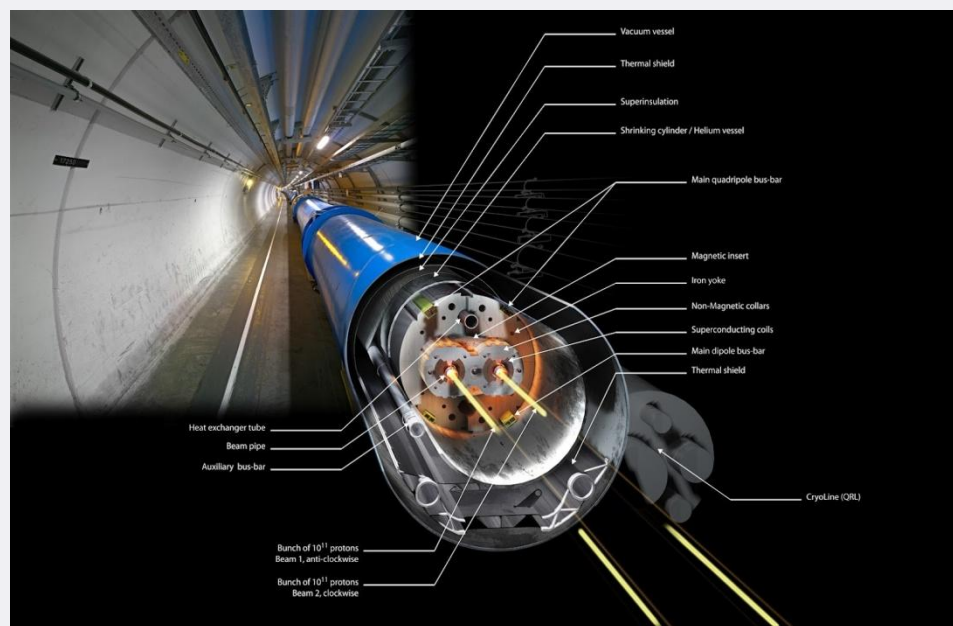
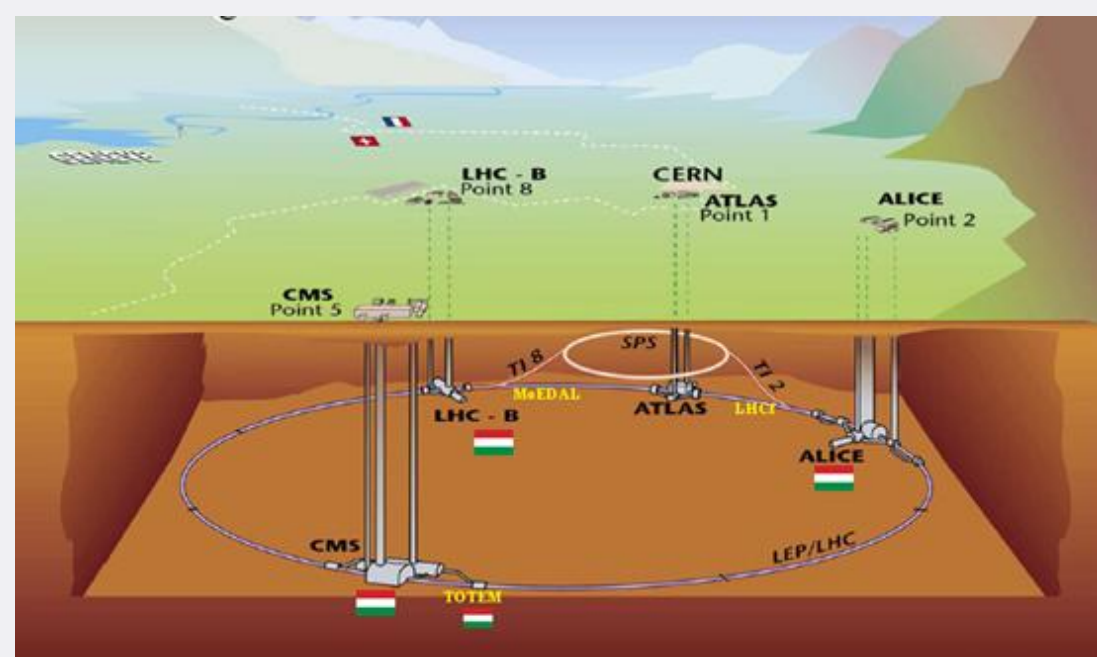


- Maganyag: $T_c \approx 2 \cdot 10^{12}$ K felett kvarkanyag
- Kísérleti módszer: részecskegyorsítók



Kutatási helyszín: az LHC

- 2x27 km, 150-200 m mélyen
- Ólom atommagok, protonok gyorsítása
 - 99,999...% fénysebesség
 - 10000-szer körbeér / mp
 - ~3000 atommagcsomag
- Ütközések: 4 metszéspont
 - 600 millió ütközés / mp
- 10000 szupravezető mágnes
 - 10000 tonna folyékony N: 80 K
 - 120 tonna folyékony He: 2 K
 - 120 MW fogyasztás: nagyváros
- Évente 15000 terabyte adat



AtomCsill: [Barnaföldi Gergely, 2011.05.19.](#), [Varga Dezső, 2010.11.18.](#), ...

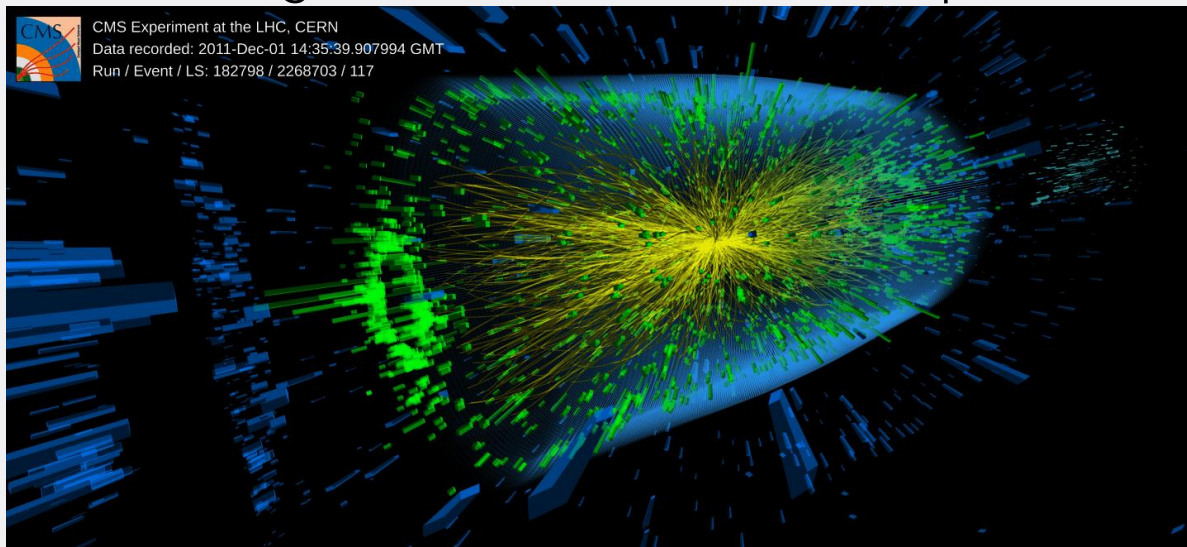
<https://www.youtube.com/watch?v=NhXMXiXOWAA>

<https://www.youtube.com/watch?v=k64s4Ho-8-I>



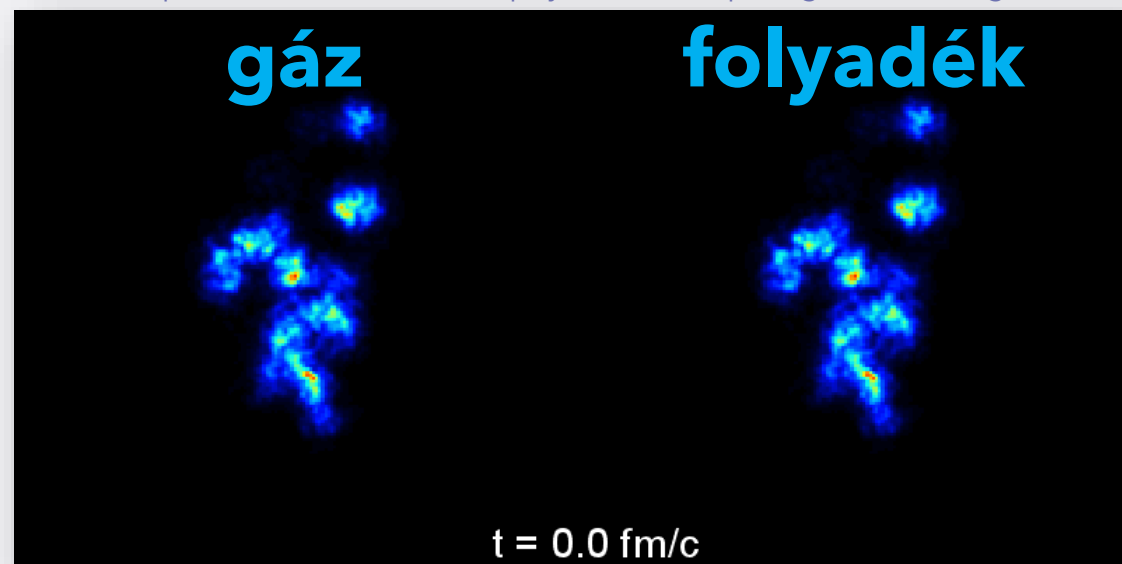
Ősrobbanás a gyorsítóban

- Atommagütközés: Ősrobbanás utáni pillanatok

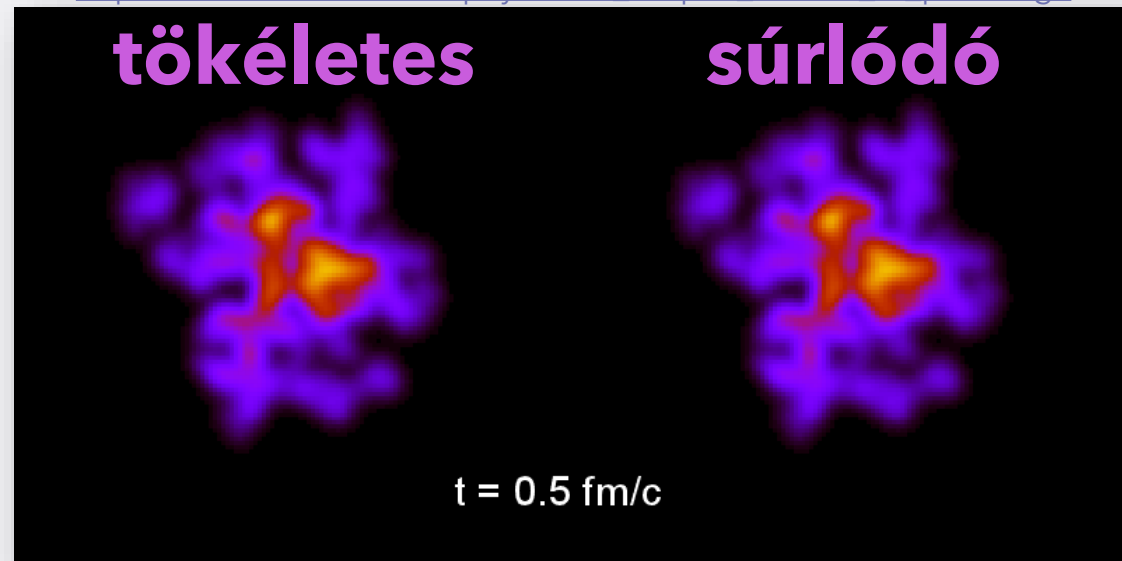


- Időskála: $\text{fm}/c = 3 \cdot 10^{-24}$ másodperc
- Újfajta közeg léteire bizonyítékok
 - Atommagnyi méretben is alig áthatolható
 - Folyadék jellegű viselkedés
 - Extrém kis belső súrlódás: tökéletes folyadék
 - Kvarkokból áll, a legforróbb ismert anyag ($>10^{12}$ K)
- A tökéletes kvarkfolyadék!

http://csanad.web.elte.hu/phys/QGP_droplet_gas_vs_fluid.gif



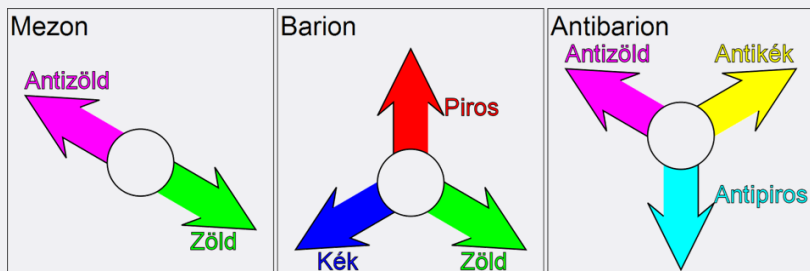
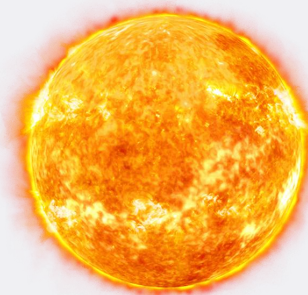
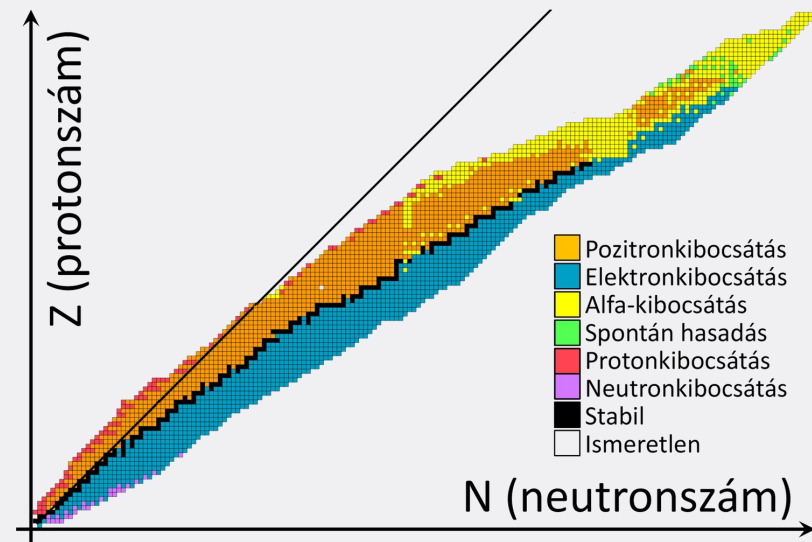
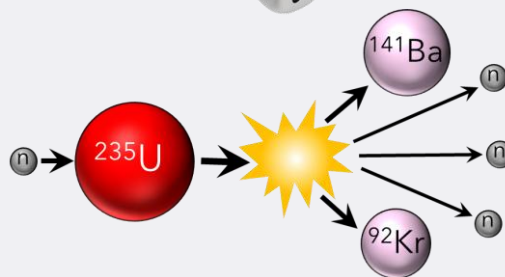
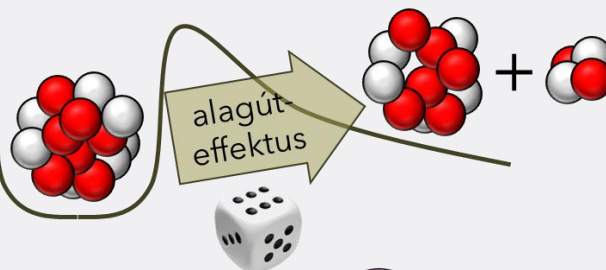
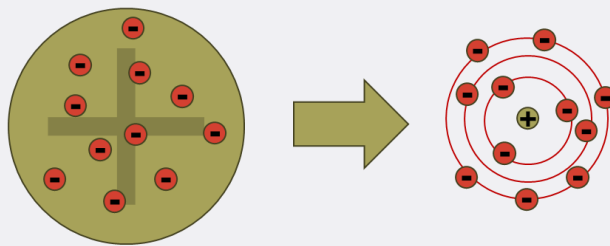
http://csanad.web.elte.hu/phys/QGP_droplet_viscous_vs_perfect.gif



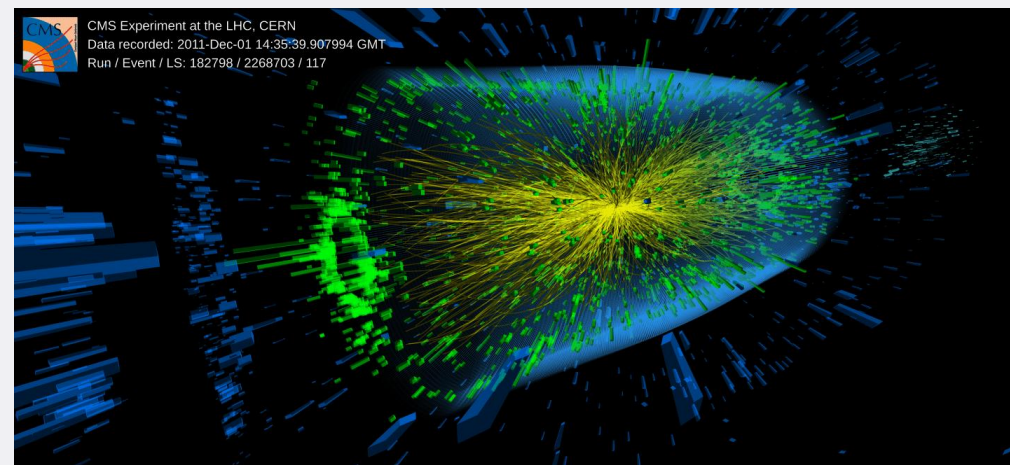
AtomCsill: [2010.12.16.](#), [2021.04.15.](#) [Cs.M.]

Összefoglalás

- Atom: „üres” tér, közepén parányi atommag
- Alkotóelemei: proton és neutron
- Különféle izotópok és bomlások
- Kötési energia optimuma: vas
- Hasadás és atombomba
- Magfúzió, a csillagok élete
- Az erős kölcsönhatás



- Részecskegyorsítók, kvarkanyag
- **Köszönöm a figyelmet!**

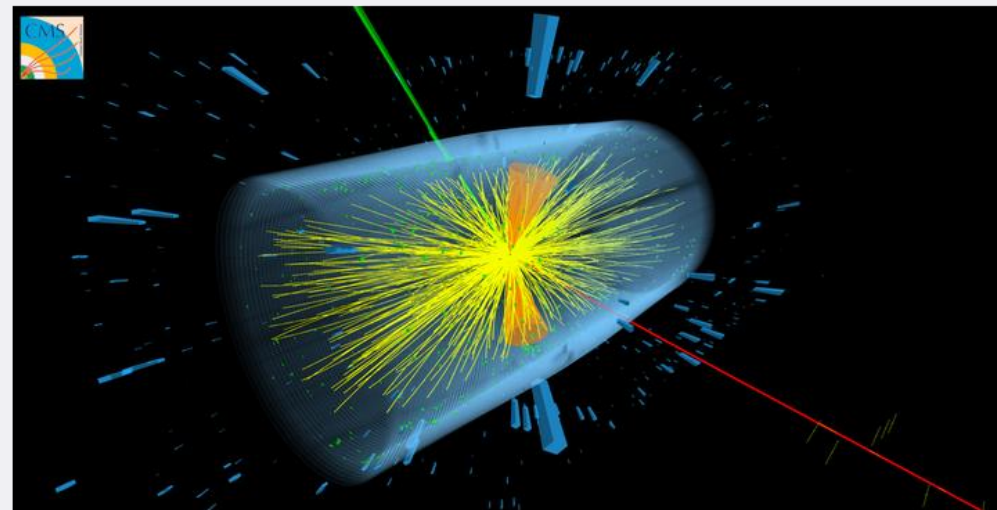


Köszönöm a figyelmet!

... és akit érdekel az ilyesmi, főleg a részecskefizika:
<http://higgs.elte.hu/masterclass2025/>

Gyere és próbáld ki magad részecskefizikusként egy napra!

Gyakorlatias részecskefizika középiskolás diákoknak és tanáraiknak.



Érdekel, hogyan épülnek fel a bennünket is alkotó atomok? Hogyan keletkezett az anyag, és milyen egzotikus részecskék népesítették be egykoron az univerzumot? Mi fán terem a sötét anyag, és hogyan próbálunk többet megtudni az elemi részecskék természetéről?

Gyere el a CERN és az ELTE által közösen szervezett egy napos programra, és ismerd meg, mi történik a genfi kutatóközpont Nagy Hadronütköztetőjében, amely jelenleg a világ legnagyobb teljesítményű proton-proton gyorsítója. A program során lehetőségod lesz valódi gyorsító adatok vizsgálatára is.

Miért menjek fizika alapszakra az ELTE-re?

- A végső kérdésekre kapok választ
 - Hogy jött létre az univerzum? Mi irányítja?
- Világszínvonalú kutatásokba kapcsolódhatok be
 - Ugyanolyan lehetőségek, mint a világ bármely pontján
 - Érdekes minél hamarabb elkezdni
- Aki nem kutató lesz, annak is kiváló kompetenciák
 - Sok fizikus az orvosi, mérnöki, pénzügyi világban
- Sokféle tehetség hasznosulhat
 - Problémamegoldás, csapatmunka, kommunikáció
- Sok lehetőség külföldön tanulni, kutatni
 - Aktív kapcsolatok a világ minden részével



1. ELTE TTK



ELTE



Fizika szakterület,
Közép-Európa:
2. ELTE

