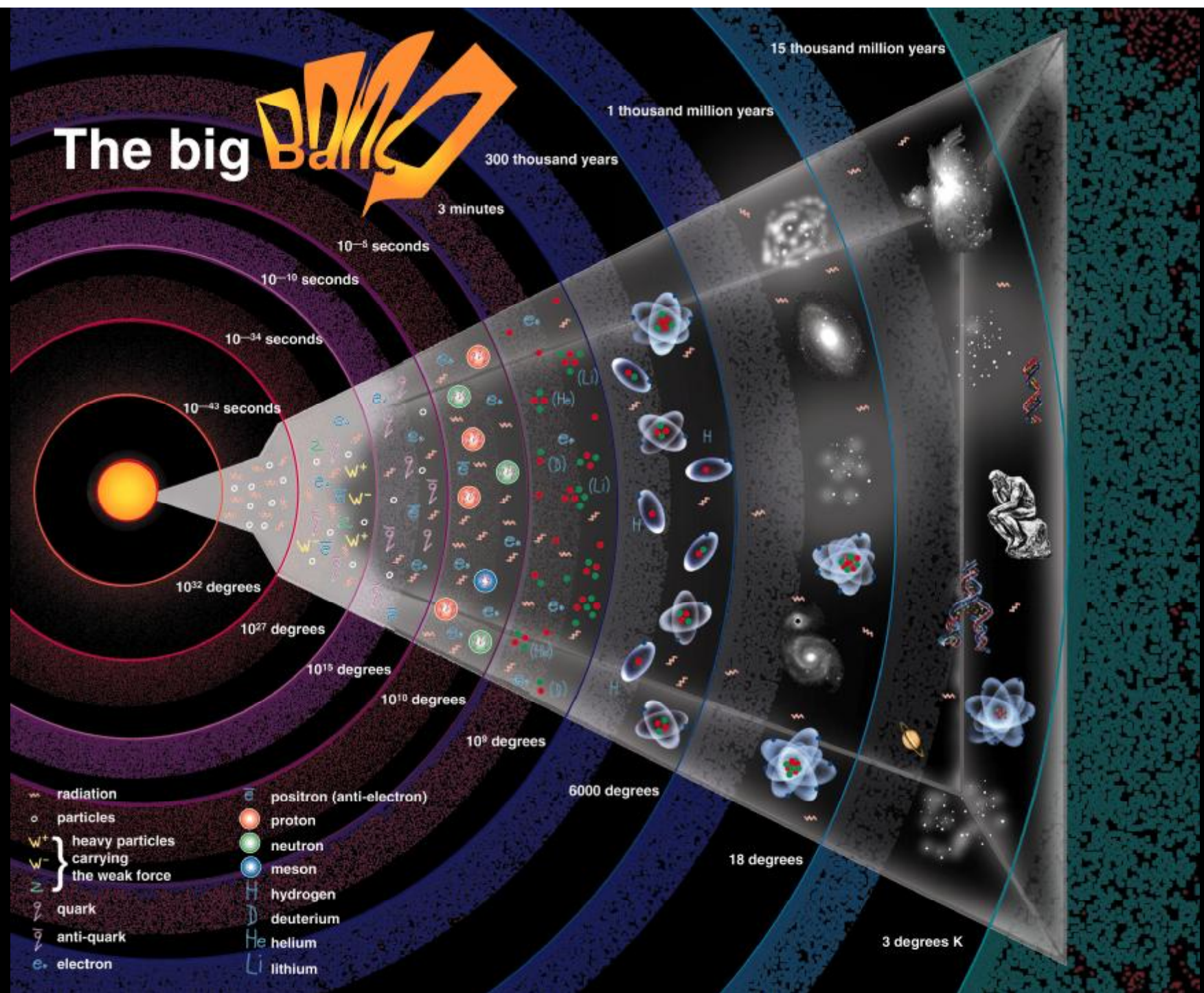
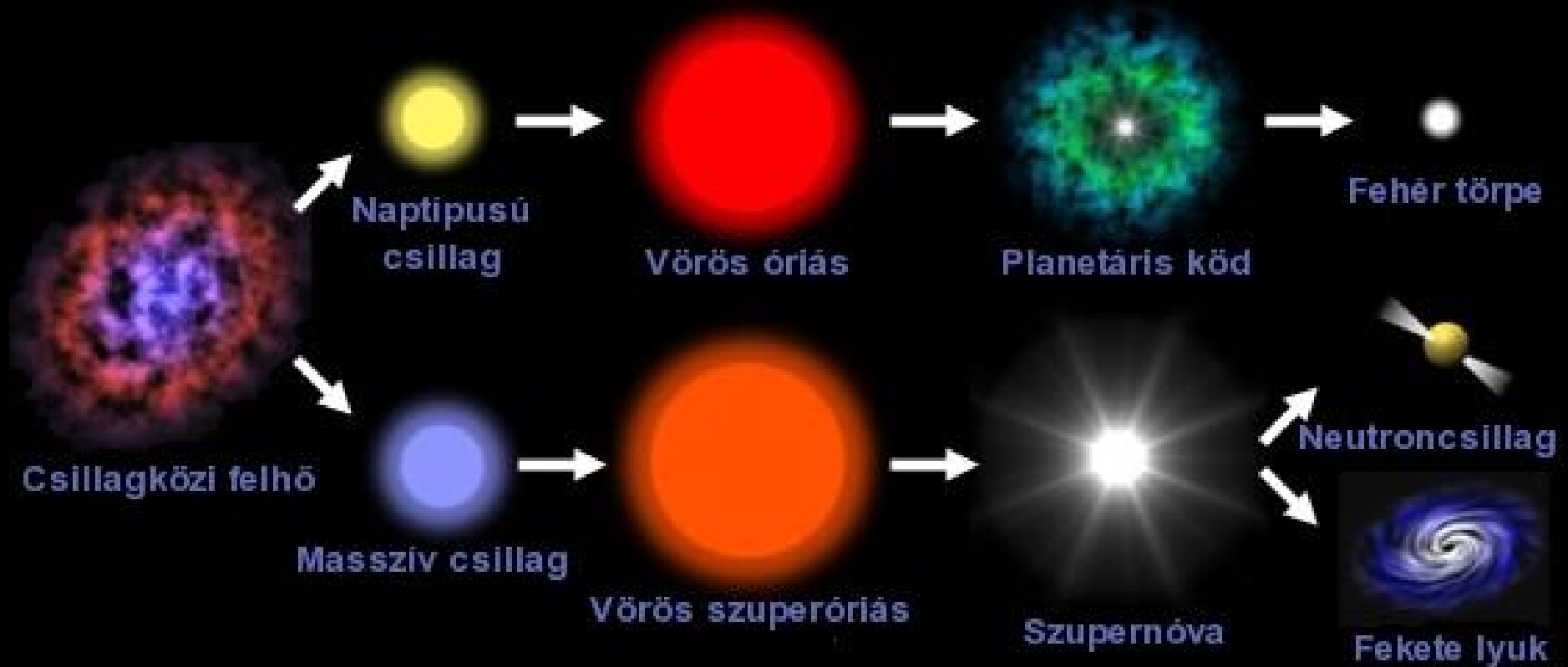




# The big Bang



# Csillagok fejlődése

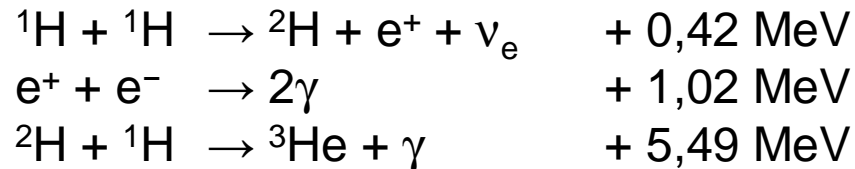


# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – magreakciók típusai

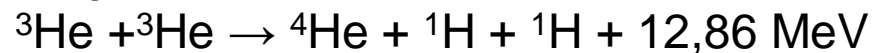
- Exoterm reakciók:
  - Hidrogénégés
    - proton-proton láncreakció
    - CNO ciklus
  - He-égés
  - C(O,Ne)-égés
  - $\alpha$ -folyamat
  - e-folyamat
- Neutronbefogásos reakciók:
  - s-folyamat (slow, lassú neutronbefogás)
  - r-folyamat (rapid, gyors neutronbefogás)
- Egyéb reakciók:
  - p-folyamat (protonbefogás)
  - x-folyamat ( kozmikus sugárzás-befogás)

# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – H-égés

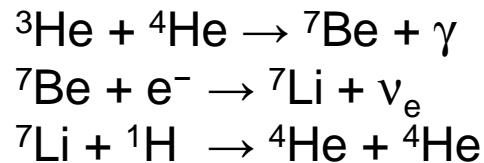
## proton – proton láncreakció



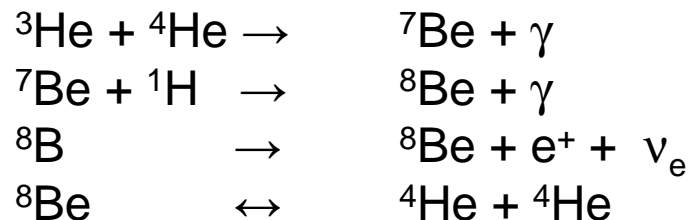
1. ág



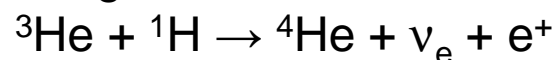
2. ág



3. ág



4. ág

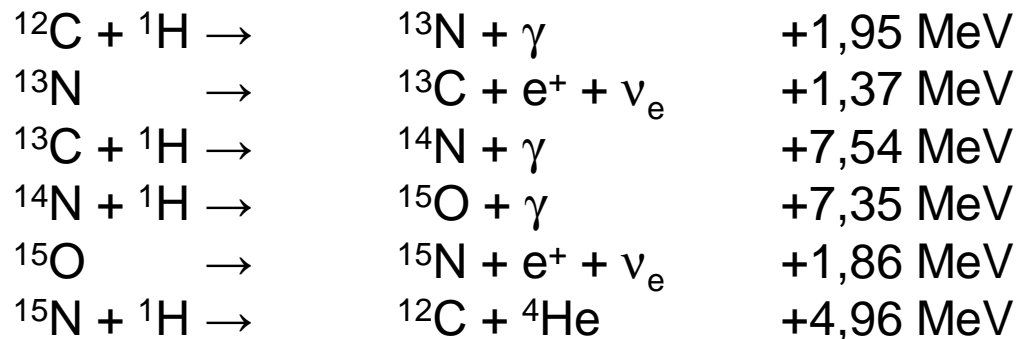


- Naptömegű és könnyebb fősorozatbeli csillagokban domináns (Napban ~ 90%), kb.  $1 \times 10^7$  K és  $1,6 \times 10^7$  K között
- Első lépés a leglassabb (sebesség-meghatározó):  $\sim 10^{10}$  év felezési idő, míg a második lépés felezési ideje mindössze 0,6 s
- Bruttó egyenlet (az 1. ágra):
$$4{}^1\text{H} \rightarrow {}^4\text{He} + 2\text{e}^+ + 2\nu_e + 26,72 \text{ MeV}$$
- A Napban 1 s alatt  $600 \times 10^9$  kg  ${}^1\text{H}$  konvertálódik át, ebből 0,7% tömeg→energia konverzió
- A  $\gamma$  sugárzás kb.  $10^6$  év alatt jut ki a felszínre, eközben különféle kölcsönhatások következtében csökken az energiája (nő a hullámhossza)

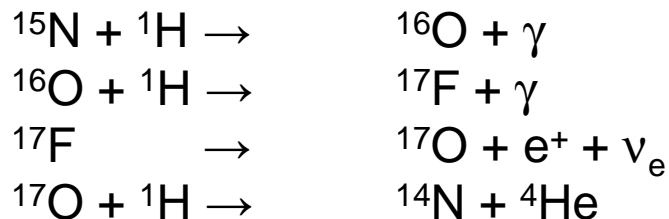
# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – H-égés

## CNO ciklus

Főág



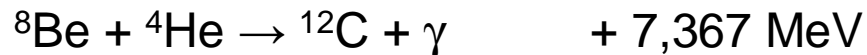
Mellékág (0,04 %)



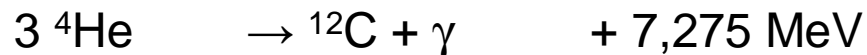
- Nehéz, fősorozatbeli csillagokban domináns,  $1,6 \times 10^7$  K fölött
- $^4\text{He}$  és  $\gamma$  részecskék keletkezése (+ neutrino és pozitron)
- C, N és O katalizátor: visszatermelődnek
- 10 % H elégeése után összehúzódás: hőmérséklet  $2 \times 10^8$  K -re ugrik

# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – He-,C-égés

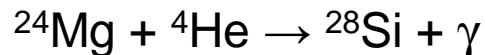
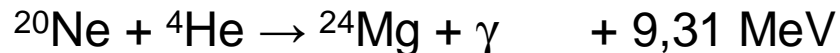
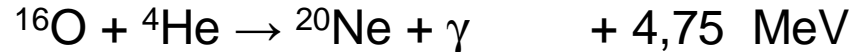
## He-égés (Hármas $\alpha$ -folyamat)



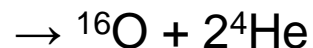
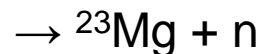
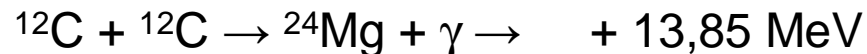
Nettó reakció:



## További reakciók:



## C-égés

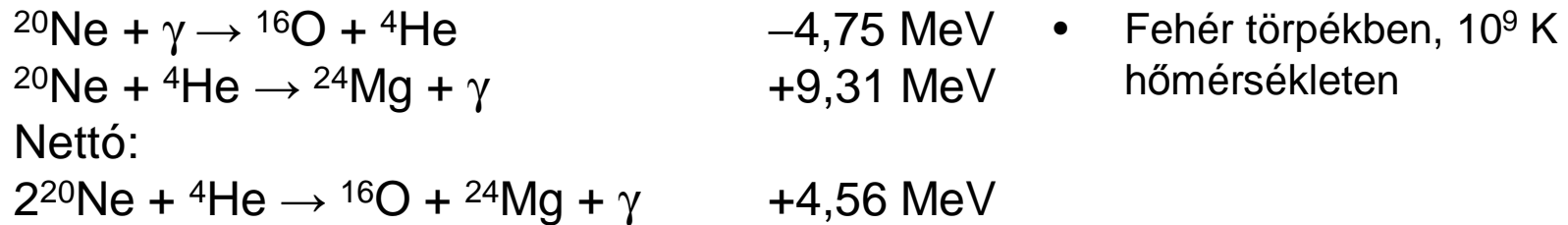


- Vörös óriásokban,  $1 \times 10^8 \text{ K}$  és  $5 \times 10^8 \text{ K}$  közötti hőmérsékleten
- $^{16}\text{O}$  keletkezéséig nagy valószínűséggel, utána kevésbé
- $^8\text{Be}$  és  $2 \text{ } ^4\text{He}$  között kicsi az energiakülönbség  $\rightarrow$  egyensúly

- Csak nagyon nagy tömegű csillagokban,  $5 \times 10^8 \text{ K}$  feletti hőmérsékleten

# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – $\alpha$ - és e-folyamat

## $\alpha$ -folyamat



Hasonlóan:  $^{28}\text{Si}$ ,  $^{32}\text{S}$ ,  $^{36}\text{Ar}$ ,  $^{40}\text{Ca}$

## e-folyamat

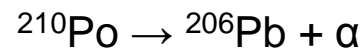
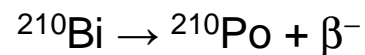
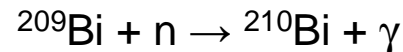
- Fősorozatbeli, nagy (1,4–3,5) naptömegű csillagok robbanásakor (szupernova robbanás)
- $3 \times 10^9$  K körül elemi részecskék lehetséges kapcsolódásának statisztikus „egyensúlya”
- Ti – Cu elemek, különösen a legstabilabb  $^{56}\text{Fe}$ , szintézise



# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – s- és r-folyamat

## s-folyamat

- Neutronok forrása a (Napnál nagyobb) csillagban végbemenő folyamatok
- $\beta$ -bomlásnál (elektron kibocsátás) leggyakrabban lassabb, ezért  $\beta$ -bomló izotópoknál nem jut tovább:



- $A=63\text{--}209$  (pl.  $^{89}\text{Y}$ ,  $^{90}\text{Zr}$ ,  $^{109}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{Ce}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ ) és az  $\alpha$ -folyamatban nem keletkező  $A=23\text{--}46$  izotópok szintézisének fő útja

## r-folyamat

- Neutronok forrása szupernova robbanások,  $T \sim 10^9$  K
- $\beta$ -bomló izotópoknál tovább juthat
- Neutronban gazdag izotópok szintézise pl.  $^{36}\text{S}$ ,  $^{46}\text{Ca}$ ,  $^{48}\text{Ca}$ , illetve nehéz, instabil izotópok, pl.  $^{232}\text{Th}$
- Az utóbbiak relatív mennyisége lehetőséget ad a Naprendszer korának becslésére

# A kémiai elemek keletkezése: nukleoszintézis – p- és x-folyamat

## p-folyamat

- Szupernova robbanáskor keletkező nagy kinetikus energiájú protonok befogása
- Ritka, protonban gazdag magok szintézise, pl.  $^{74}\text{Se}$ ,  $^{196}\text{Hg}$

## x-folyamat

- Kozmikus részecskék becsapódása atommagokba → atommagok szétesése
- Könnyű, stabil, ritka magok  $^6\text{Li}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{11}\text{B}$  szintézise

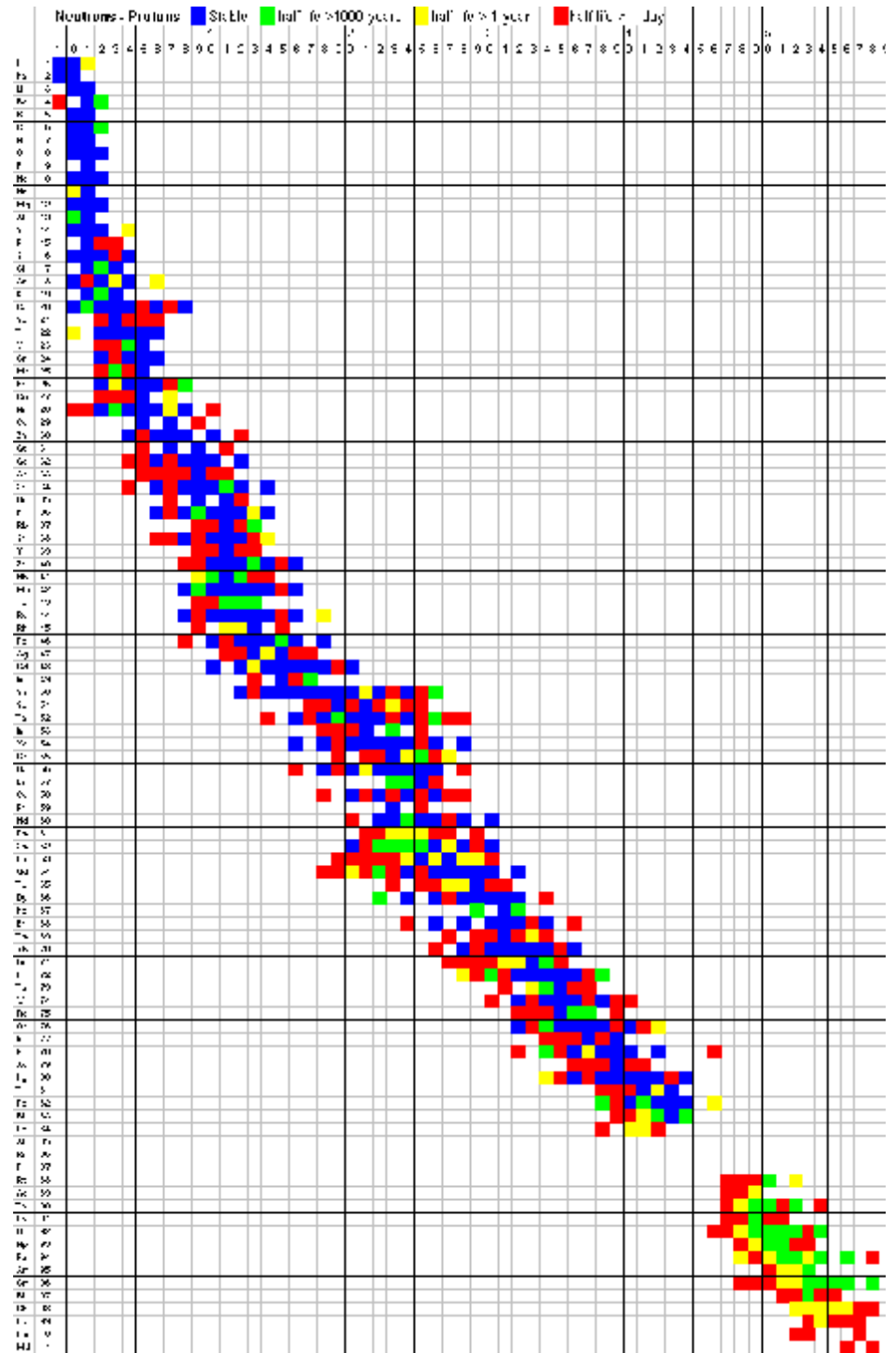
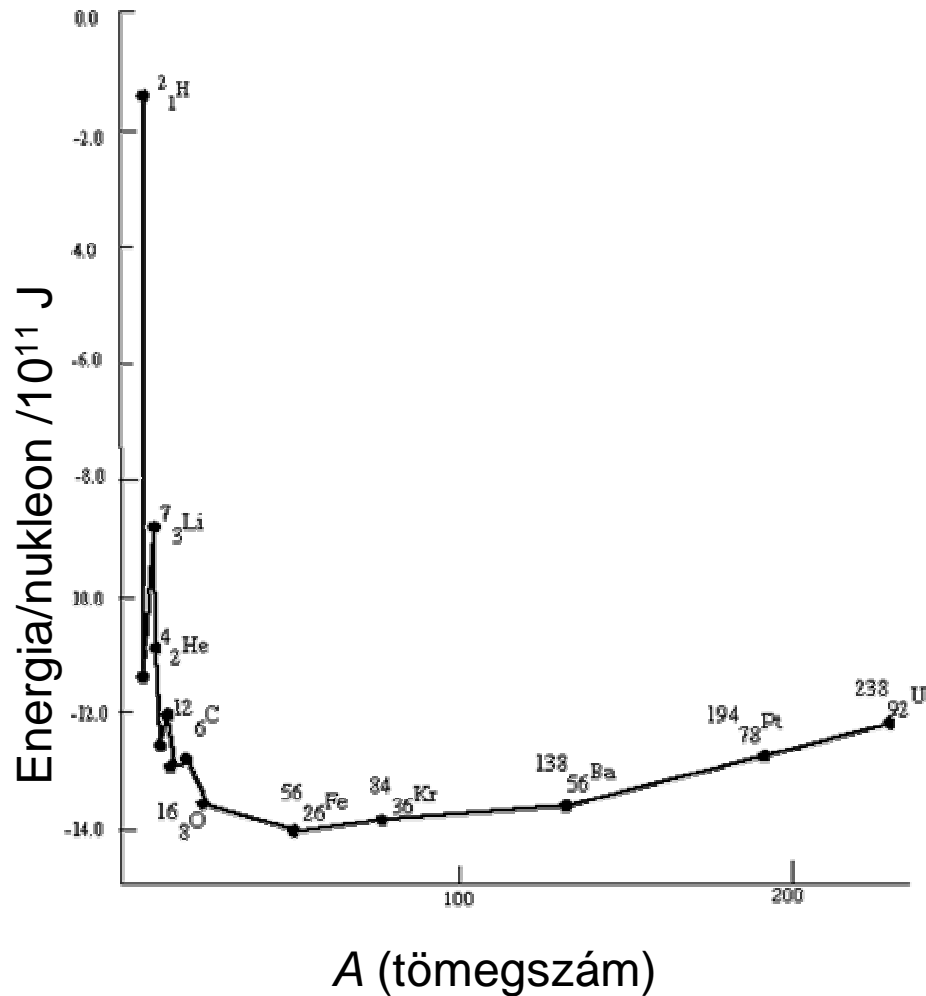


Cygnus Loop szupernova

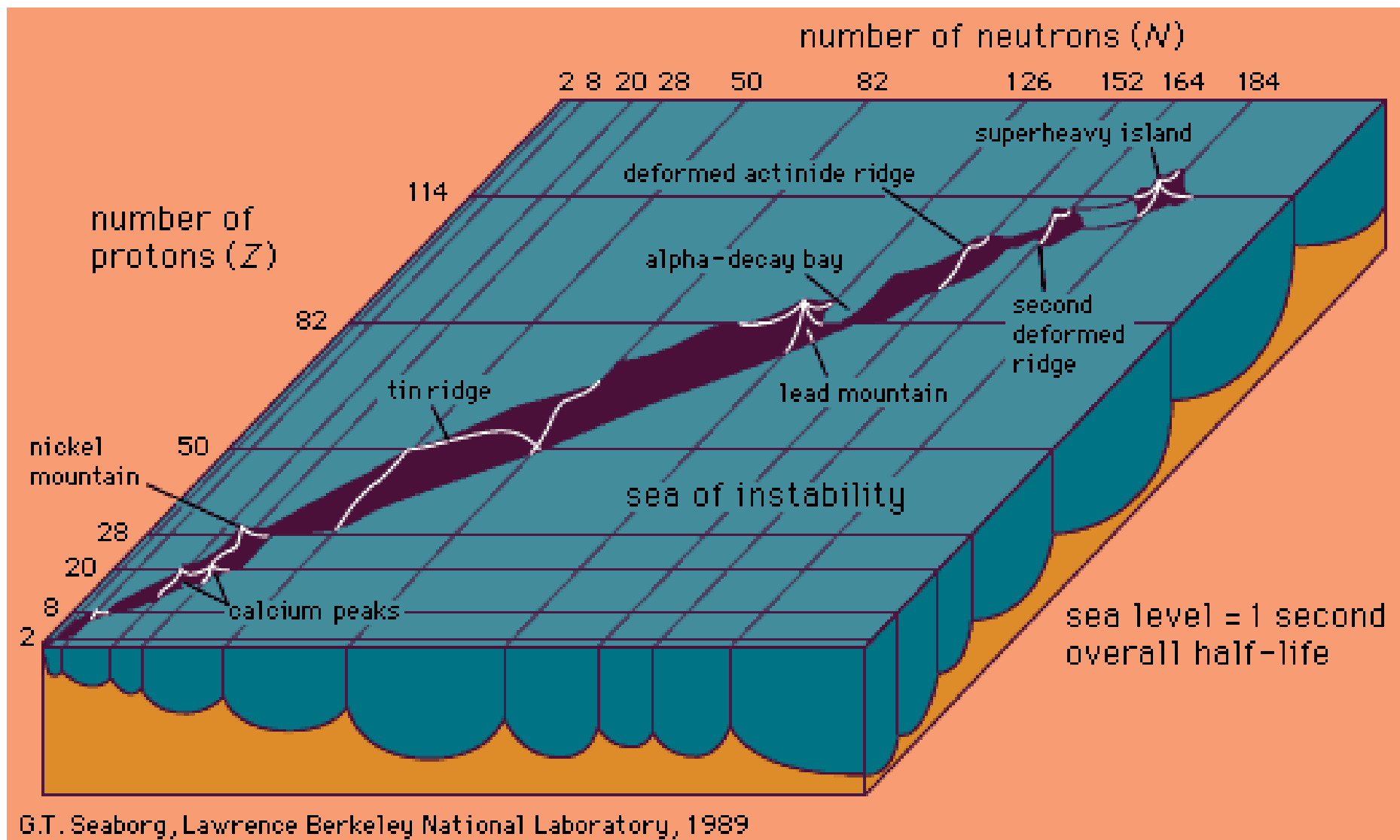
# Az anyag körforgása a galaxisban



# A kémiai elemek stabilitása



# A kémiai elemek stabilitása



# Elemek gyakorisága az Univerzumban

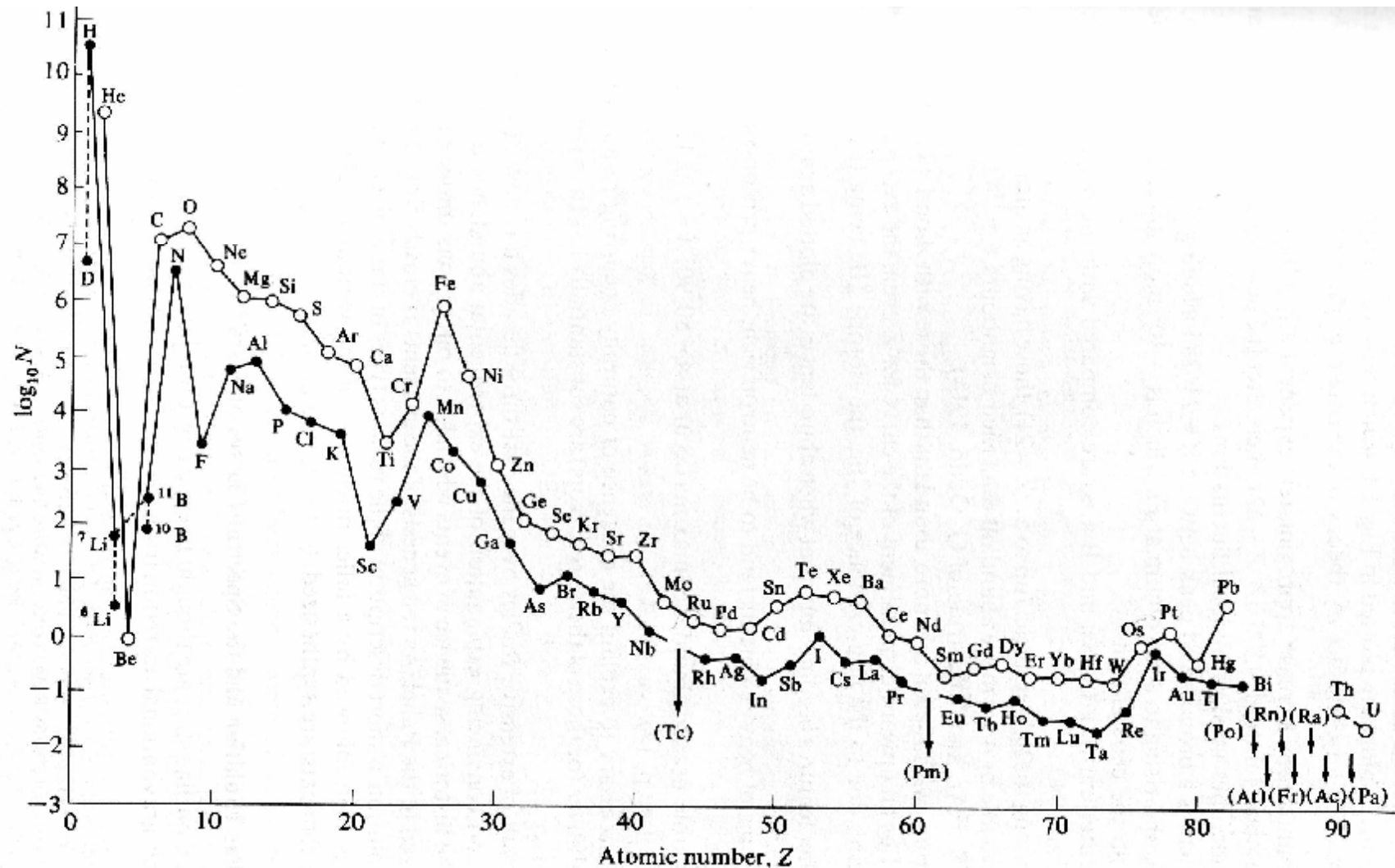
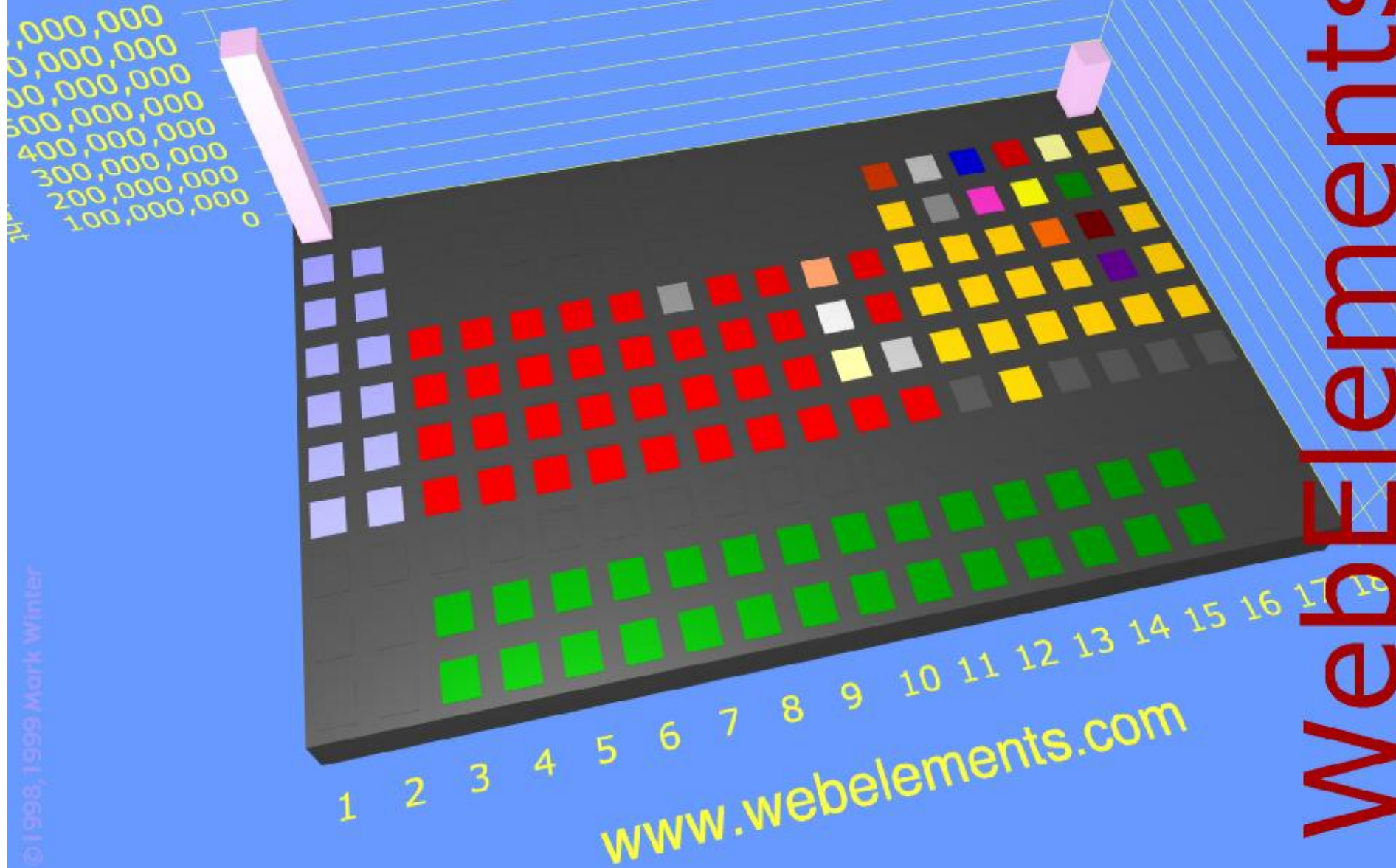


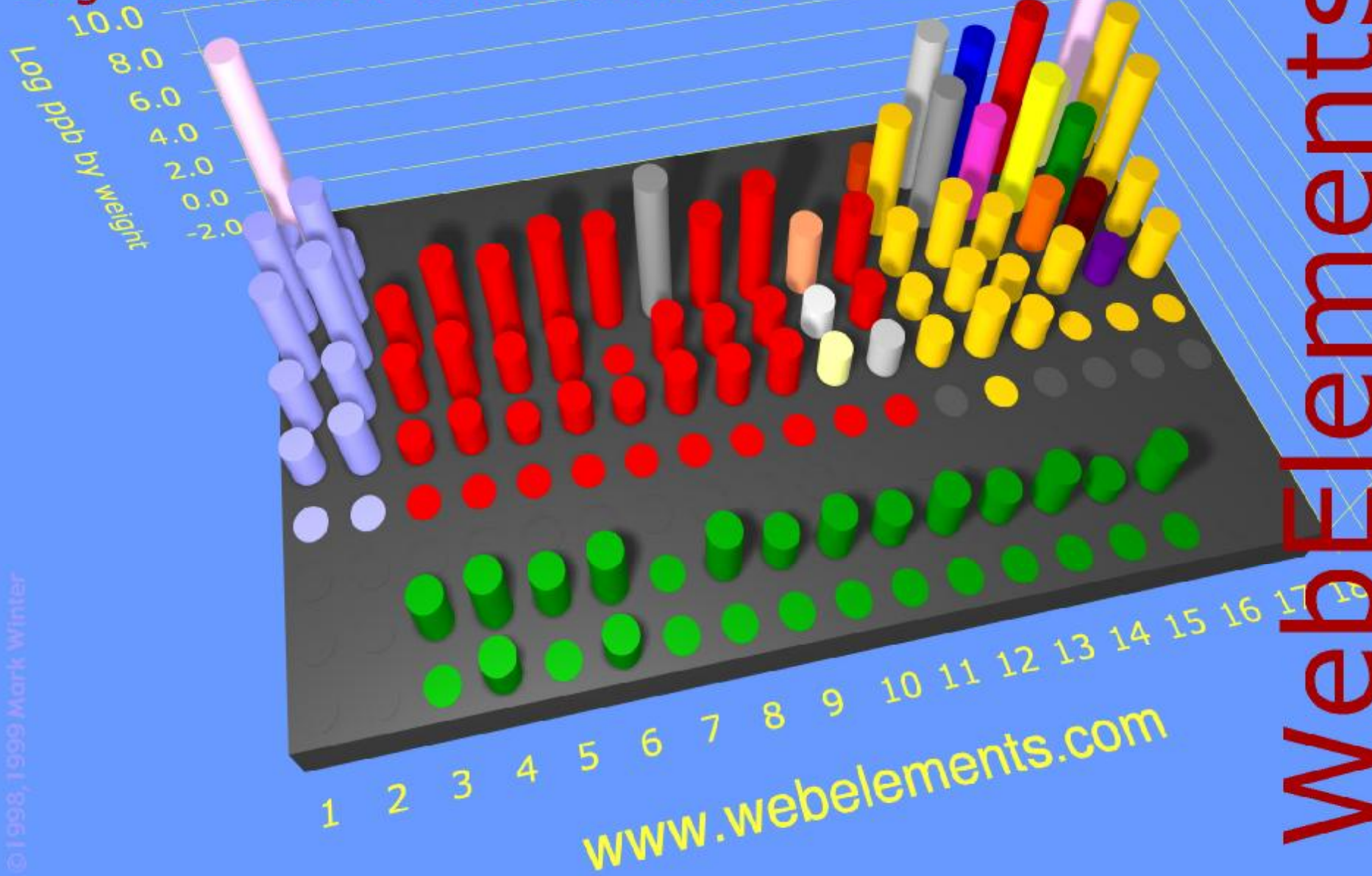
FIG. 1.1 Cosmic abundances of the elements as a function of atomic number  $Z$ . Abundances are expressed as numbers of atoms per  $10^6$  atoms of Si and are plotted on a logarithmic scale. (From A. G. W. Cameron, *Space Sci. Rev.* 15, 121-46 (1973), as updated by Brian Mason, private communication.)

# Abundance in the universe



WebElements

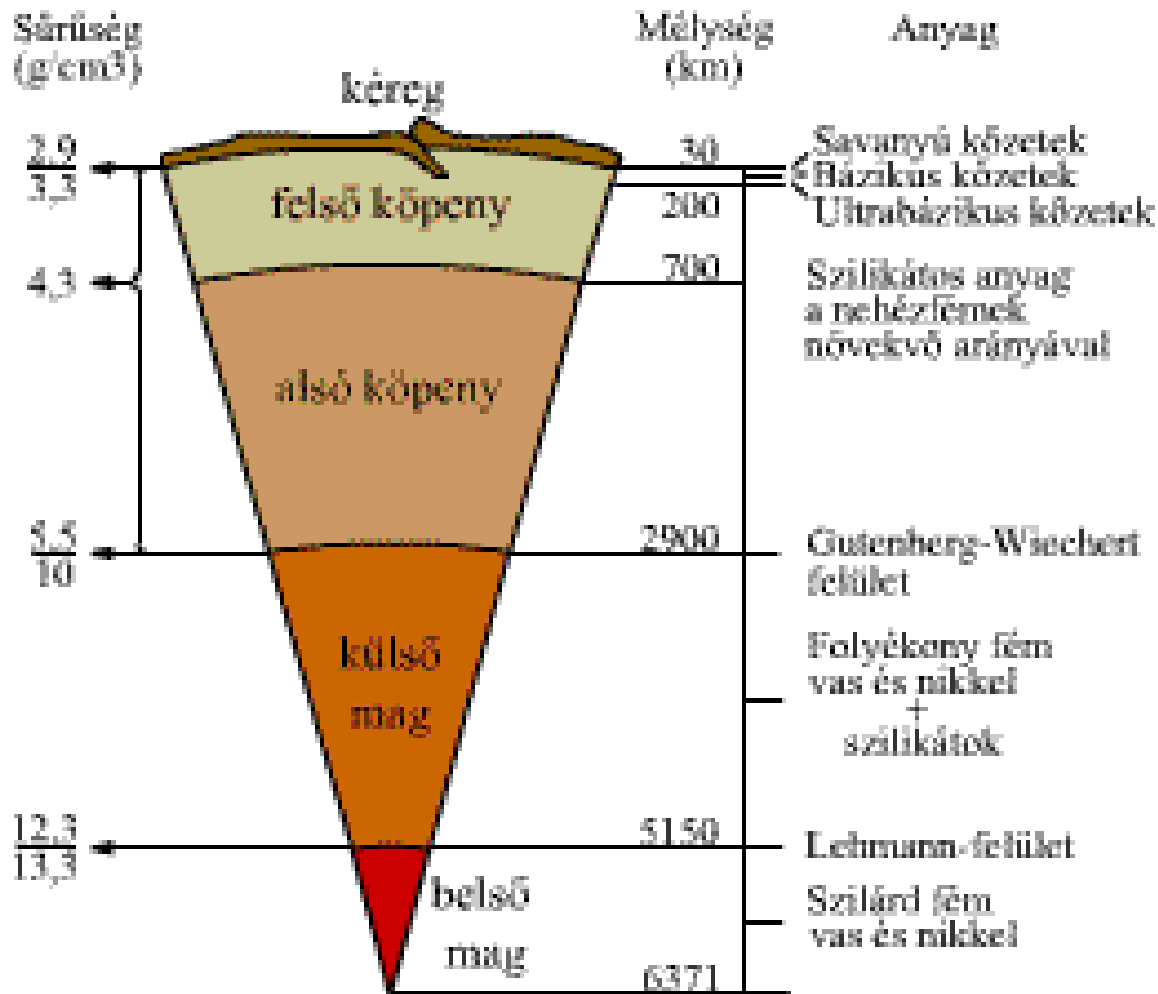
# Log abundance in the universe



webelements



# A Föld szerkezete



Atmofil elemek a légkörben: O, N, He, Ne, Ar, Kr, Xe, H, C

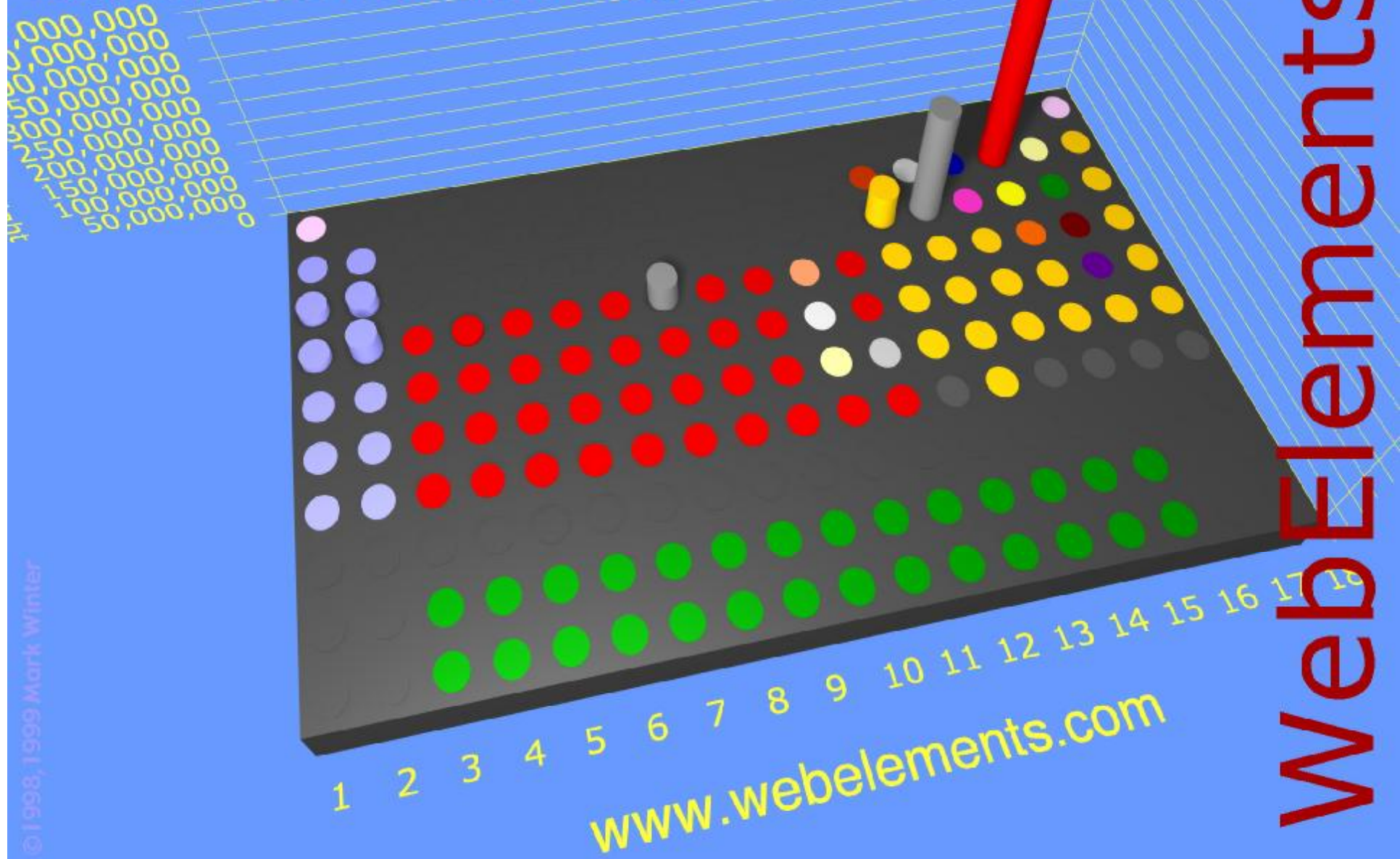
Biofil elemek (H, C, O, N, P) a biomasszában.

Litofil elemek: oxidvegyületképzők (alkálifémek, az alkáli földfémek, az alumínium, szilícium) szilikátkéregben

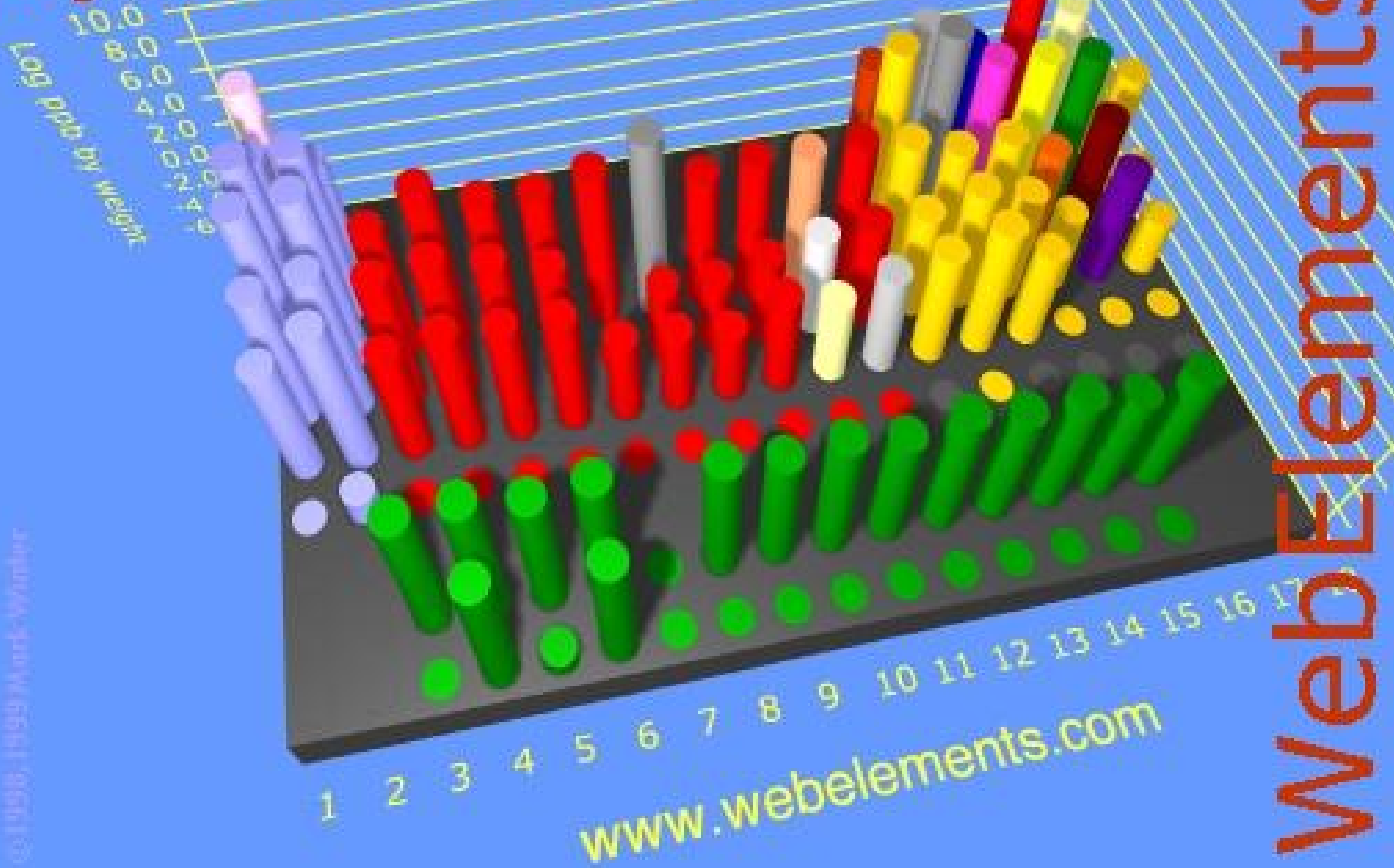
Kalkofil elemek: Szulfidképzők (kén, arzén, réz- és cinkcsoport) a kalkoszférában halmozódnak fel.

Sziderofil elemek: Vas-csoport, platina-csoport, Au, Ge, Sn (Pb), C, P, Mo, Re vasmagban.

# Abundance in Earth's crust



# Log abundance in Earth's crust



WebElements

ELEM	ELTERJEDTSÉGE		ARÁNY (földk./Univ.)
	AZ UNIVERZUMBAN	A FÖLDKÉREGBEN	
H	76	%	0.152 %
He	22.4	%	
Ne	0.2	%	
Ar	0.01	%	
Kr	0.000008	%	
Xe	0.000002	%	
Többi elem	1.4	%	

	AZ UNIVERZUMBAN (H és nemesgázok nélkül)		A FÖLDKÉREGBEN ppb	ARÁNY (földk./Univ.)
	ppb			
Li	700		18,000	30
Be	10		2,000	200
B	6,000		9,000	1.5
C	220,000,000		180,000	0.0008
N	70,000,000		19,000	0.0003
O	500,000,000		455,000,000	0.9
F	80,000		544,000	7
Na	2,000,000		22,700,000	11
Mg	40,000,000		27,640,000	0.7
Al	3,500,000		83,000,000	20
Si	40,000,000		272,000,000	7
P	600,000		1,120,000	2
S	30,000,000		340,000	0.011
Cl	400,000		126,000	0.3
K	250,000		18,400,000	70
Ca	4,500,000		46,600,000	10
Sc	3,000		25,000	8
Ti	200,000		6,320,000	30
V	20,000		136,000	7
Cr	1,000,000		122,000	0.12
Mn	800,000		1,060,000	1.3
Fe	70,000,000		62,000,000	0.9
Co	200,000		29,000	0.15
Ni	4,000,000		99,000	0.02
Cu	60,000		68,000	1.1
Zn	100,000		76,000	0.8
Ga	5,000		19,000	4
Ge	10,000		1,500	0.15
Pt	400		10	0.03
Au	80		4	0.05
Hg	100		80	0.8
Tl	60		700	12
Pb	1,500		13,000	9
Bi	60		8	0.13
Th	25		8,100	300
U	10		2,300	200

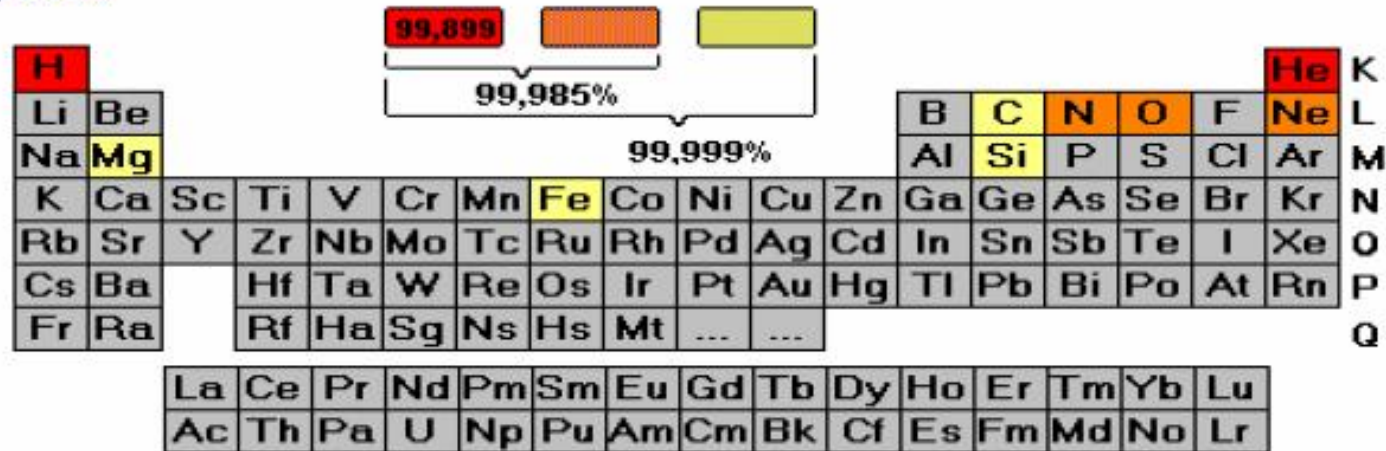
ELEM	ELTERJEDTSÉGE		ARÁNY (földk./Univ.)
	AZ UNIVERZUMBAN	A FÖLDKÉREGBEN	
H	76	%	0.152 %
He	22.4	%	
Ne	0.2	%	
Ar	0.01	%	
Kr	0.000008	%	
Xe	0.000002	%	
Többi elem	1.4	%	

	AZ UNIVERZUMBAN (H és nemesgázok nélkül)	A FÖLDKÉREGBEN	ARÁNY (földk./Univ.)
	ppb	ppb	
Li	700	18,000	30
Be	10	2,000	200
B	6,000	9,000	1.5
C	220,000,000	180,000	0.0008
N	70,000,000	19,000	0.0003
O	500,000,000	455,000,000	0.9
F	80,000	544,000	7
Na	2,000,000	22,700,000	11
Mg	40,000,000	27,640,000	0.7
Al	3,500,000	83,000,000	20
Si	40,000,000	272,000,000	7
P	600,000	1,120,000	2
S	30,000,000	340,000	0.011
Cl	400,000	126,000	0.3
K	250,000	18,400,000	70
Ca	4,500,000	46,600,000	10
Sc	3,000	25,000	8

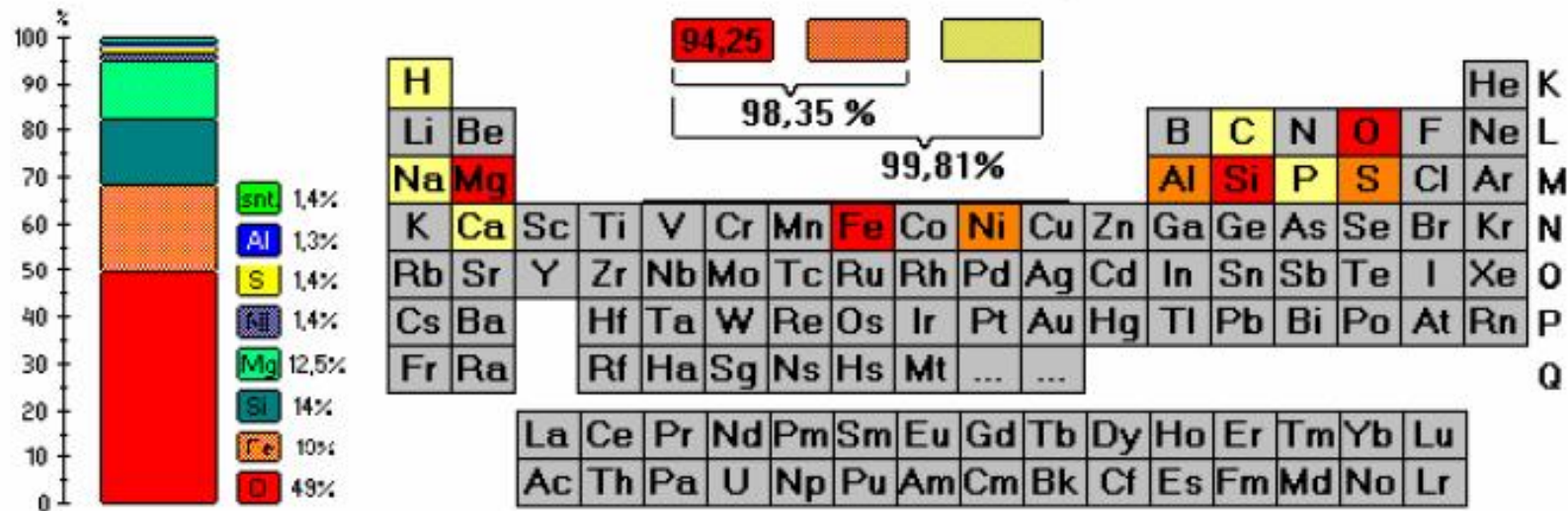
O	500,000,000	455,000,000	0.9
F	80,000	544,000	7
Na	2,000,000	22,700,000	11
Mg	40,000,000	27,640,000	0.7
Al	3,500,000	83,000,000	20
Si	40,000,000	272,000,000	7
P	600,000	1,120,000	2
S	30,000,000	340,000	0.011
Cl	400,000	126,000	0.3
K	250,000	18,400,000	70
Ca	4,500,000	46,600,000	10
Sc	3,000	25,000	8
Ti	200,000	6,320,000	30
V	20,000	136,000	7
Cr	1,000,000	122,000	0.12
Mn	800,000	1,060,000	1.3
Fe	70,000,000	62,000,000	0.9
Co	200,000	29,000	0.15
Ni	4,000,000	99,000	0.02
Cu	60,000	68,000	1.1
Zn	100,000	76,000	0.8
Ga	5,000	19,000	4
Ge	10,000	1,500	0.15
Pt	400	10	0.03
Au	80	4	0.05
Hg	100	80	0.8
Tl	60	700	12
Pb	1,500	13,000	9
Bi	60	8	0.13
Th	25	8,100	300
U	10	2,300	200

# A periódusos rendszer – az elemek gyakorisága

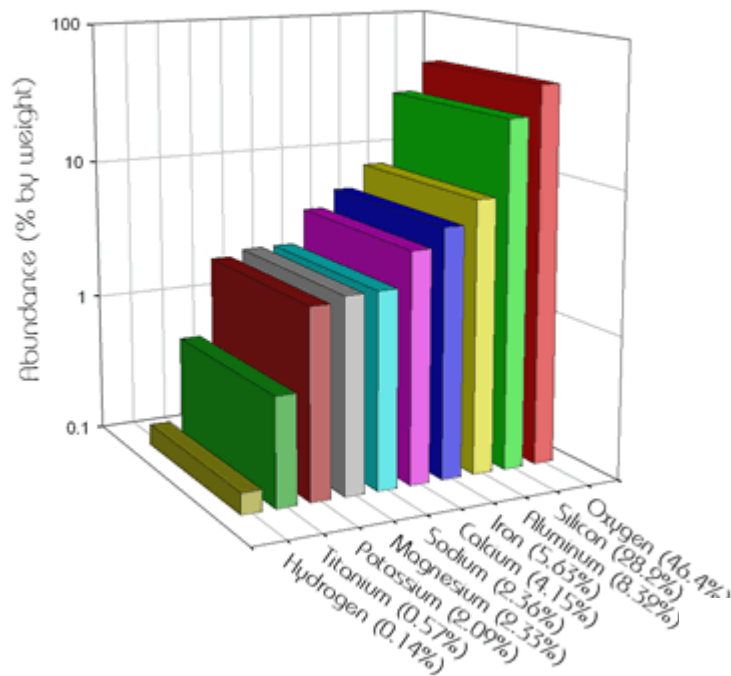
## Világegyetem



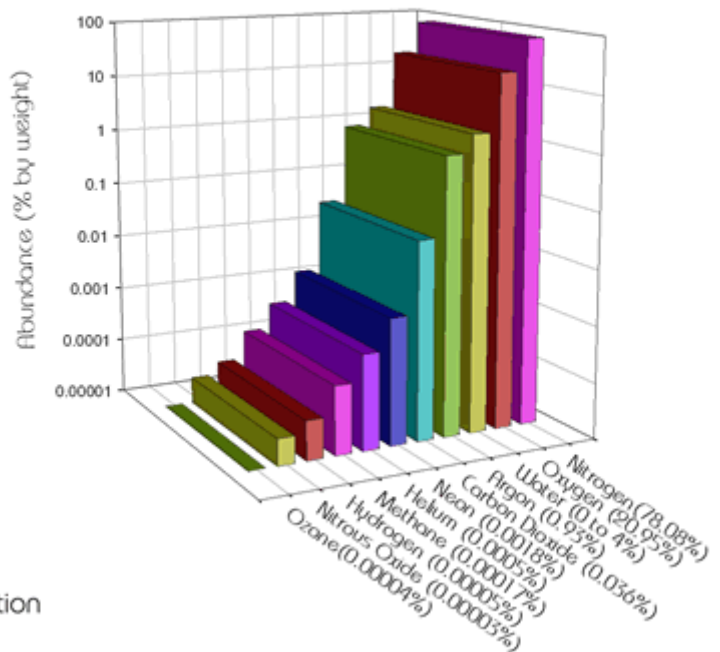
## Föld



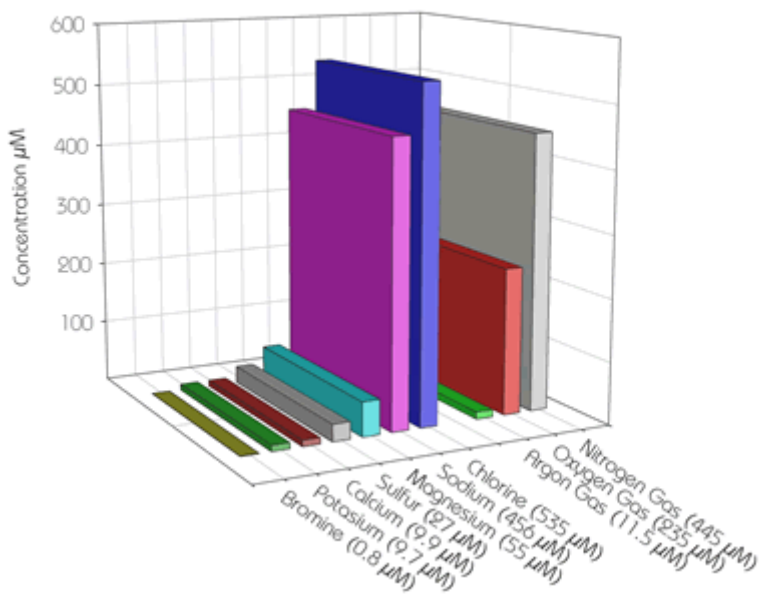
Elements in the Earth's Crust



Elements in the Earth's Atmosphere (0-25 km)



Seawater Composition





# A hidrogén felfedezése



**Henry Cavendish**  
**(1731- 1810)**

Robert Boyle, Priestley, kísérletei  
(pl. izzó vas  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$ ): „Gyúlékony levegő”



A  $\text{H}_2$  összegyűjtése és vizsgálata  
Cavendish: **1766**

Elnevezés: 1783, Lavoisier „hydrogène” (ὑδωρ [*hydōr*]: víz, γεινομαι (*geinomai*): nemzés)

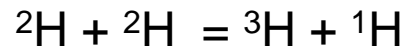
# A hidrogén és vegyületei

- Elektronkonfiguráció:  $1s^1$
- Lehetséges oxidációs számok:  $-1, +1$  (0:  $H_2$ )
- Izotópok:  $^1H$  (procium),  $^2D$  ( $^2H$ , deutérium, 0,015%),  $^3T$  ( $^3H$ , trícium)

Deutérium nem radioaktív

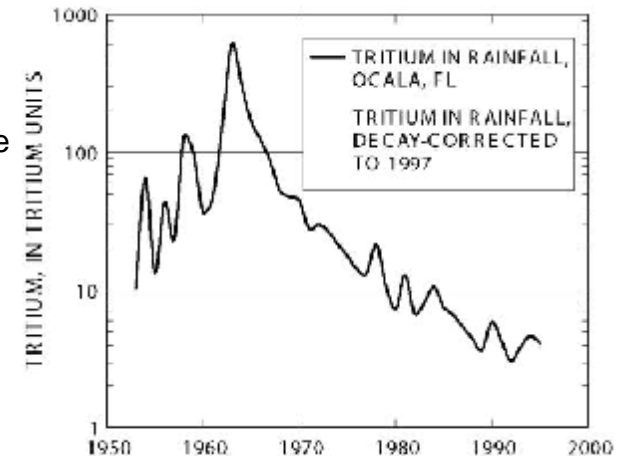
*felhasználás:* szerkezetkutatás (jelzés, spektroszkópia), hidrológia (dúsulás)

Trícium keletkezése



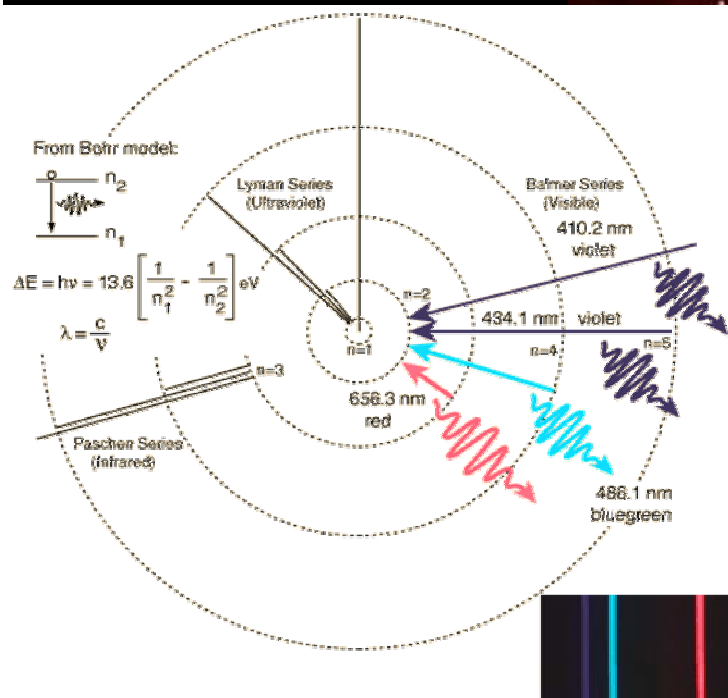
radioaktív, felezési ideje 12,32 év :  $^3\text{H} = ^3\text{He} + \beta + \nu_e$

*felhasználás:* - régebben borok kormeghatározása,  
de atomrobbantások  
után erre már nem használható  
- órák világító kijelzője  
- atombomba

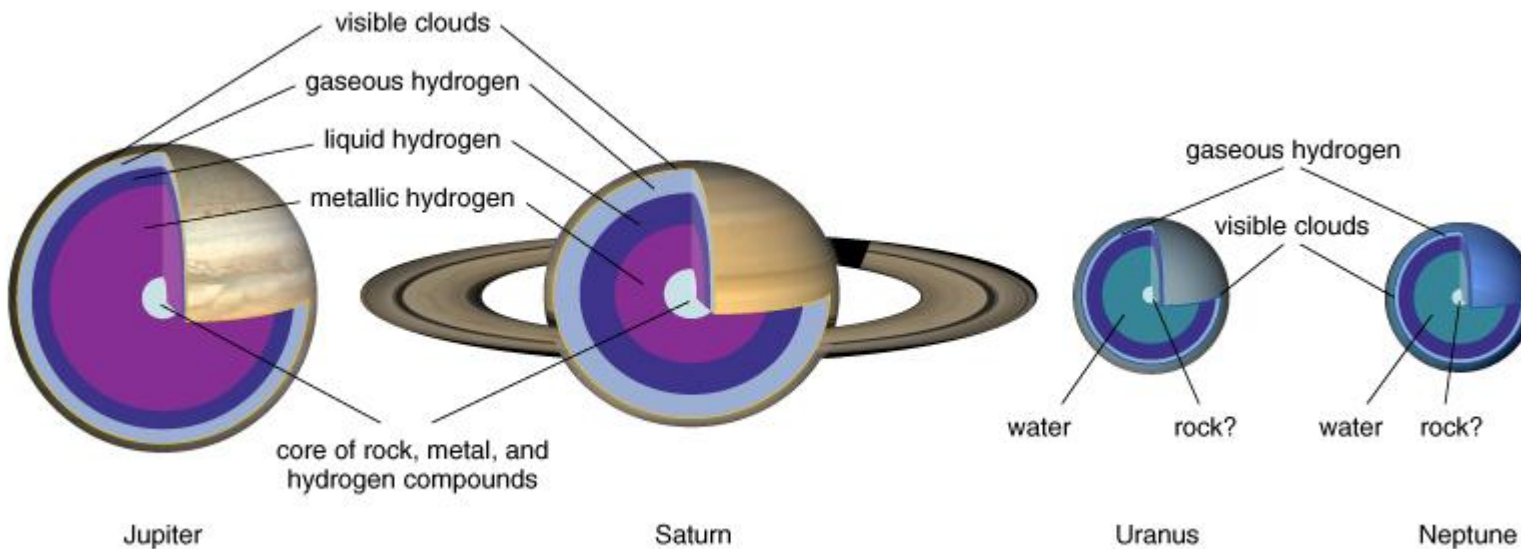
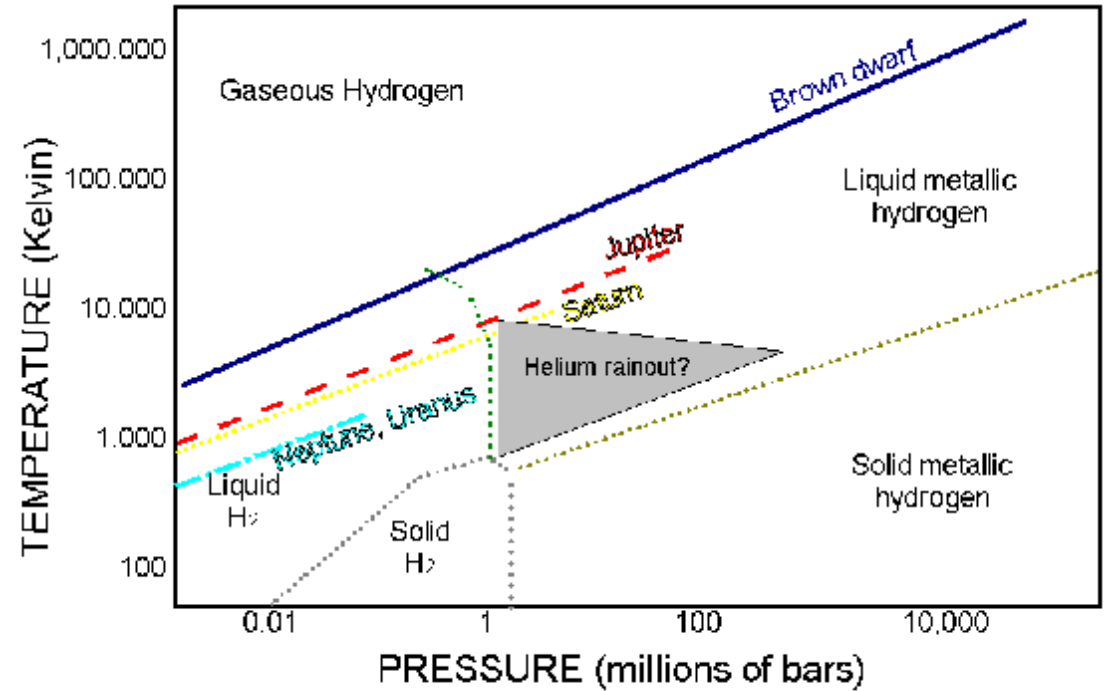


- H előfordulása:
  - Világegyetem 74 tömeg% -a, főleg  $H$  és  $H_2$  (*orto*- (protonok spinje azonos) és *para*- $H_2$  (protonok spinje ellentétes)), valamint fémes hidrogén
  - Föld:  $H_2O$ , szerves vegyületek, hidroxidos ásványok

„Lófej köd”



# Fémes hidrogén (?)



# A hidrogén és vegyületei

- Előállítás:
  - Labor:  $\text{Zn(s)} + 2\text{HCl(aq)} = \text{ZnCl}_2(\text{aq}) + \text{H}_2(\text{g})$   
 $\text{CaH}_2(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{O(l)} = \text{Ca(OH)}_2(\text{aq}) + 2\text{H}_2(\text{g})$   
Víz elektrokémiai bontása:  $\text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{O}_2$
  - Ipar:  $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{H}_2\text{O(g)} = \text{CO(g)} + 3\text{H}_2(\text{g})$   
(Ni-katalizátor, 800–1000°C, 10 –50 bar)
- Felhasználás:
  - Autogén hegesztés (+ O<sub>2</sub> 2500°C), fűtés, rakéta-hajtóanyag
  - Szintetikus vegyipar (pl. ammónia-, metanol-, benzinyártás)
  - Redukálószer (Ni,Pt/H<sub>2</sub>, LiH, CaH<sub>2</sub>, LiAlH<sub>4</sub>,...)
  - Olajsavak telítése (margarinyártás)
  - Régebben ballonok töltése  
(Hindenburg léghajó katasztrófája)
  - Tűzelőanyagcellák



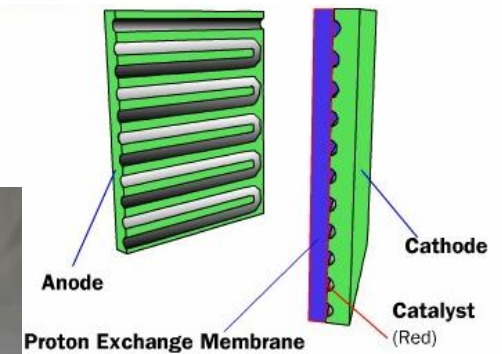
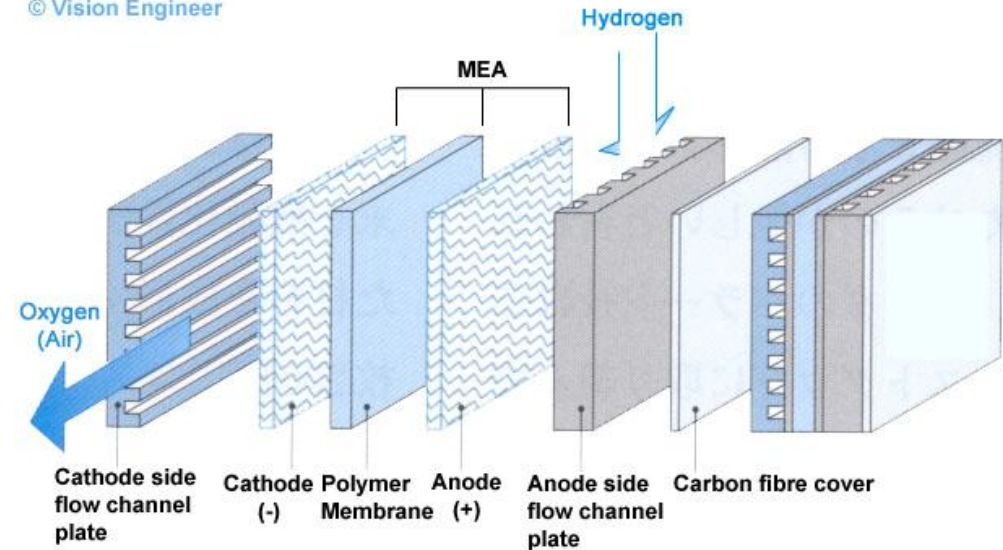
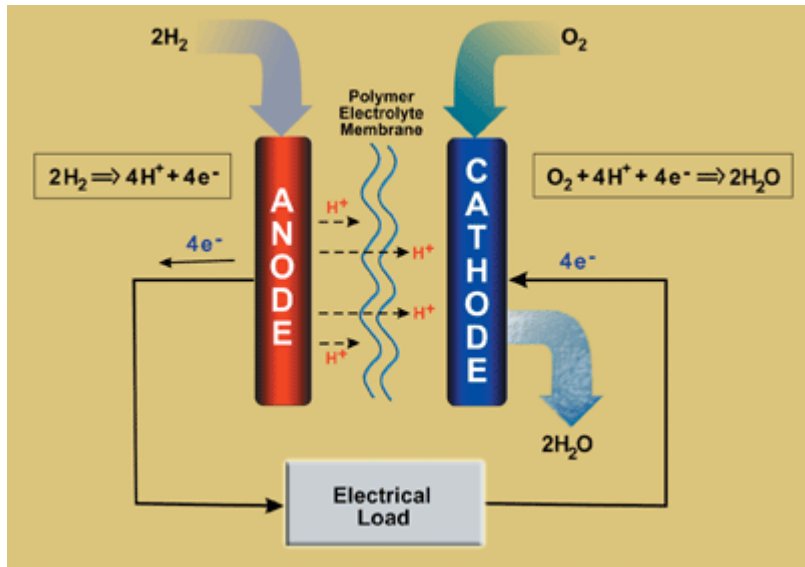
# Néhány fém standard elektródpotenciálja

Elektród	$e^\circ / V$	Elektród	$e^\circ / V$
Li <sup>+</sup> /Li	-3.045	Fe <sup>2+</sup> /Fe	-0.44
Rb <sup>+</sup> /Rb	-2.925	Cd <sup>2+</sup> /Cd	-0.403
K <sup>+</sup> /K	-2.925	Co <sup>2+</sup> /Co	-0.277
Cs <sup>+</sup> /Cs	-2.923	Ni <sup>2+</sup> /Ni	-0.250
Ba <sup>2+</sup> /Ba	-2.905	Sn <sup>2+</sup> /Sn	-0.136
Ca <sup>2+</sup> /Ca	-2.866	Pb <sup>2+</sup> /Pb	-0.126
Na <sup>+</sup> /Na	-2.714	Fe <sup>3+</sup> /Fe	-0.037
Mg <sup>+</sup> /Mg	-2.37	H <sup>+</sup> /H <sub>2</sub>	0.000
Al <sup>3+</sup> /Al	-1.66	Cu <sup>2+</sup> /Cu	+0.337
Ti <sup>2+</sup> /Ti	-1.630	Cu <sup>+</sup> /Cu	+0.521
Zr <sup>4+</sup> /Zr	-1.539	Ag <sup>+</sup> /Ag	+0.799
Mn <sup>2+</sup> /Mn	-1.179	Hg <sup>2+</sup> /Hg	+0.851
V <sup>2+</sup> /V	-1.175	Pd <sup>2+</sup> /Pd	+0.987
Cr <sup>2+</sup> /Cr	-0.913	Pt <sup>2+</sup> /Pt	+1.188
Zn <sup>2+</sup> /Zn	-0.763	Au <sup>3+</sup> /Au	+1.50
Cr <sup>3+</sup> /Cr	-0.744	Au <sup>+</sup> /Au	+1.692

**Nem  
fejlesztenek  
savval  
hidrogént!**

# H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> tüzelőanyagcella

© Vision Engineer



# A hidrogén és vegyületei

- Fizikai tulajdonságok:
  - Színtelen, szagtalan, kétatomos gáz
  - Apoláris → vízben rosszul oldódik
  - Alacsony olvadási- (14 K) és forráspont (20 K)
  - Folyékony állapotban kis sűrűségű ( $\rho = 0,09 \text{ g/cm}^3$ )
- Kémiai tulajdonságok:
  - Fluorral, klórral és oxigénnel robbanásszerűen reagál:  
$$\text{F}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{HF}(\text{g}), \quad \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{HCl}(\text{g})$$
$$\text{H}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{H}_2\text{O}(\text{g})$$
  - Brómmal, jóddal, kénnel lassabban, magasabb hőmérsékleten:  
$$\text{Br}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{HBr}(\text{g}), \quad \text{I}_2(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{HI}(\text{g})$$
$$\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}(\text{g}) = \text{H}_2\text{S}(\text{g})$$
  - Nitrogénnel csak katalizátor jelenlétében, magas hőmérsékleten (ammóniagyártás):  
$$3\text{H}_2(\text{g}) + \text{N}_2(\text{g}) = 2\text{NH}_3(\text{g}) \text{ Haber-Bosch szintézis}$$

(Fe-katalizátor, 400–600°C, 150–600 bar)
  - Néhány száz fokon egyes fémekkel, pl. alkálifémekkel:  
$$2\text{Na}(\text{s}) + \text{H}_2(\text{g}) = 2\text{NaH}(\text{s})$$



# A hidrogén és vegyületei

A hidrogén vegyületei		
Kis <i>EN</i> -ú fémekkel (sószerű hidridek)	A d-mező egyes fémeivel	nagyobb <i>EN</i> -ú fémek és nemfémek vegyületei
<ul style="list-style-type: none"> <li>– fehérek, szilárdak</li> <li>– vízzel azonnal reakcióba lépnek: <math>\text{NaH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaOH} + \text{H}_2</math> (redox- és sav-bázis reakció egyszerre)</li> <li>– példa: NaH, CaH<sub>2</sub></li> </ul>	<p>A Pt és a Pd atomosan „oldja” illetve adszorbeálja nem sztöchiometrikus összetételben</p> <p><b>interszticiális (rácsközi) hidridek</b></p> <p><b>katalizátorok</b></p>	<p>Kovalens hidrogénvegyületek tartoznak ide, molekularácsos szerkezettel.</p>

Kovalens hidrogénvegyületek				
BH <sub>3</sub> (B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	CH <sub>4</sub> SiH <sub>4</sub> GeH <sub>4</sub> SnH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub> PH <sub>3</sub> AsH <sub>3</sub> SbH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> S H <sub>2</sub> Se H <sub>2</sub> Te	HF HCl HBr HI
<ul style="list-style-type: none"> <li>– apolárosak</li> <li>– vízben gyakorlatilag nem oldódnak</li> <li>– op., fp. a molekulatömeg növekedésével nő, de viszonylag alacsonyértékű</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>– dipólusosak</li> <li>– vízben jobban oldódnak</li> <li>– savi karakterük az NH<sub>3</sub> → HI irányban nő</li> <li>– az op.-t és az fp.-t a molekulatömeg és a másodrendű kötőerők együttesen határozzák meg (hidrogénkötések miatt kiugróan magas lehet az op.)</li> </ul>		
Standardállapotban a víz kivételével valamennyien gáz halmazállapotúak.				