Útikalauz a galaxisokhoz (nem csak stopposoknak!)

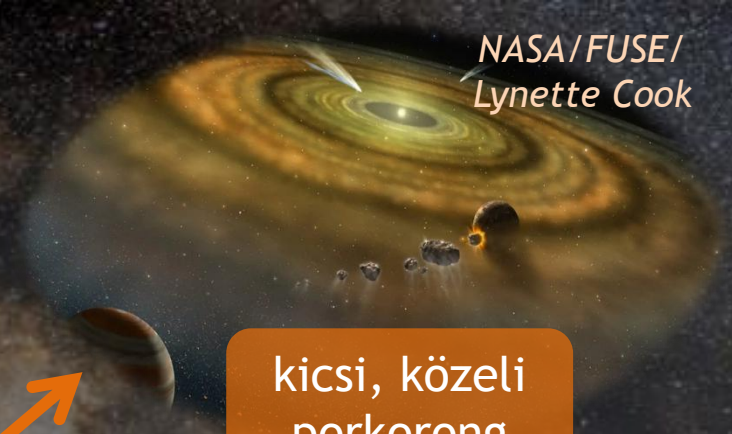
Világos Blanka
Lendület Csillagok nukleoszintézise kutatócsoport (CSFK)
Lendület Tejútrendszer kutatócsoport (ELTE GAO)

Atomoktól a csillagokig, 2023. 09. 28.


MICSODA A GALAXIS?

Háttér: Simon-Zsók Anett

M31, rajz: Kiss Péter



NASA/FUSE/
Lynette Cook

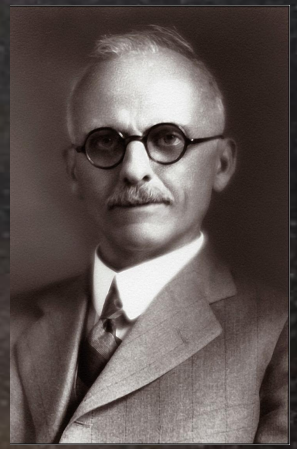
kicsi, közeli porkorong

“A nagy vita” (1920)

csillagok hatalmas, távoli városa

M101, Bagi László

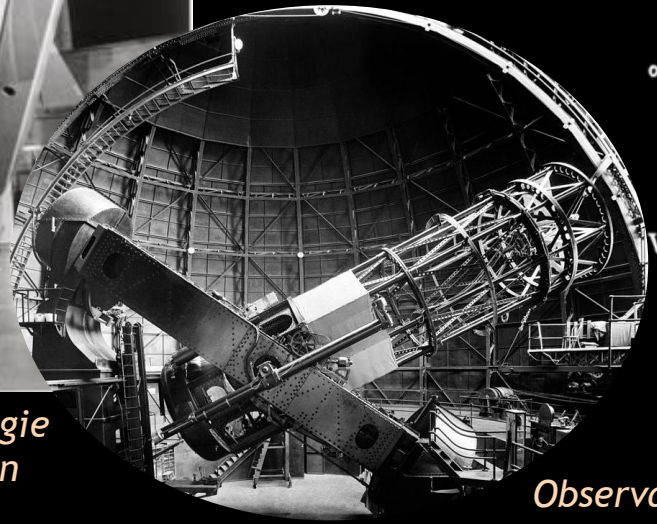
Harlow Shapley



Heber Curtis

Edwin Hubble

Mt. Wilson Archive, Carnegie Institution of Washington



Hubble–Lemaître-törvény

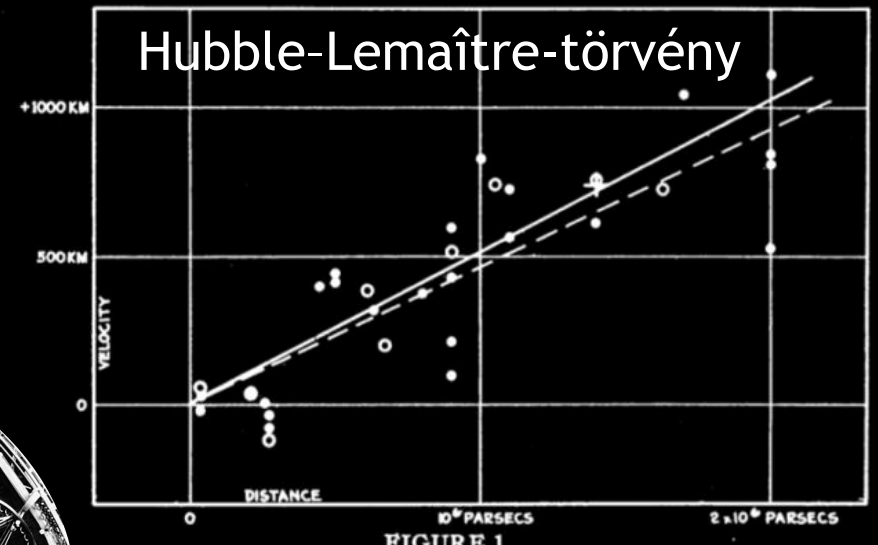
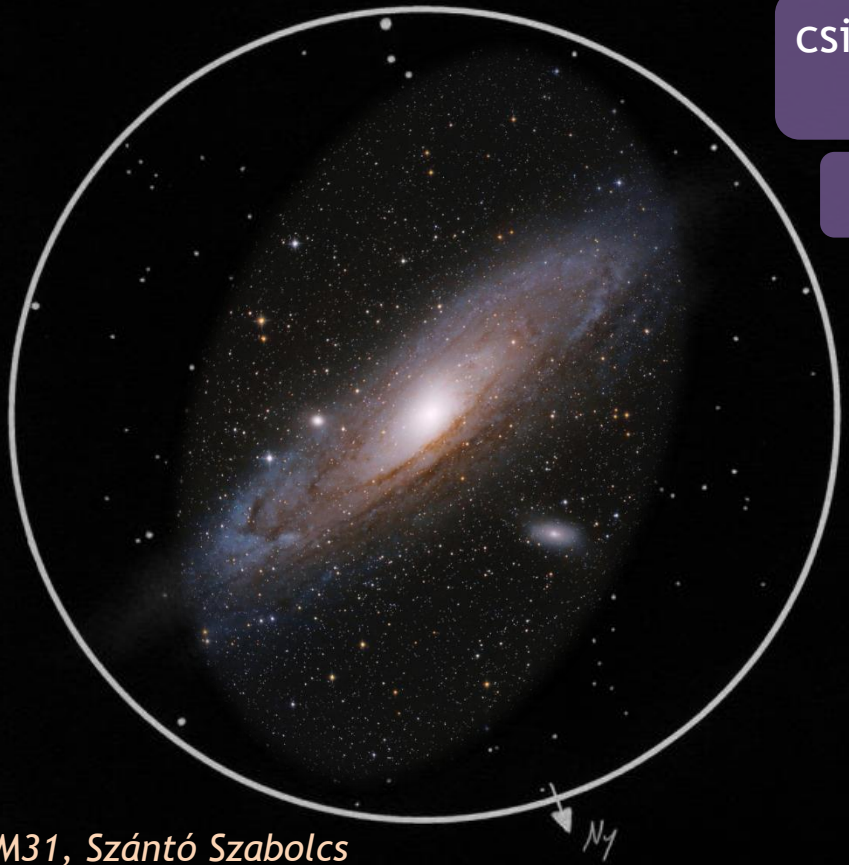


FIGURE 1
Velocity-Distance Relation among Extra-Galactic Nebulae.

Edwin Hubble publikációja

Observatories of the Carnegie Institution for Science Collection, Huntington Library, San Marino, USA



M31, Szántó Szabolcs

csillagok hatalmas, távoli városa

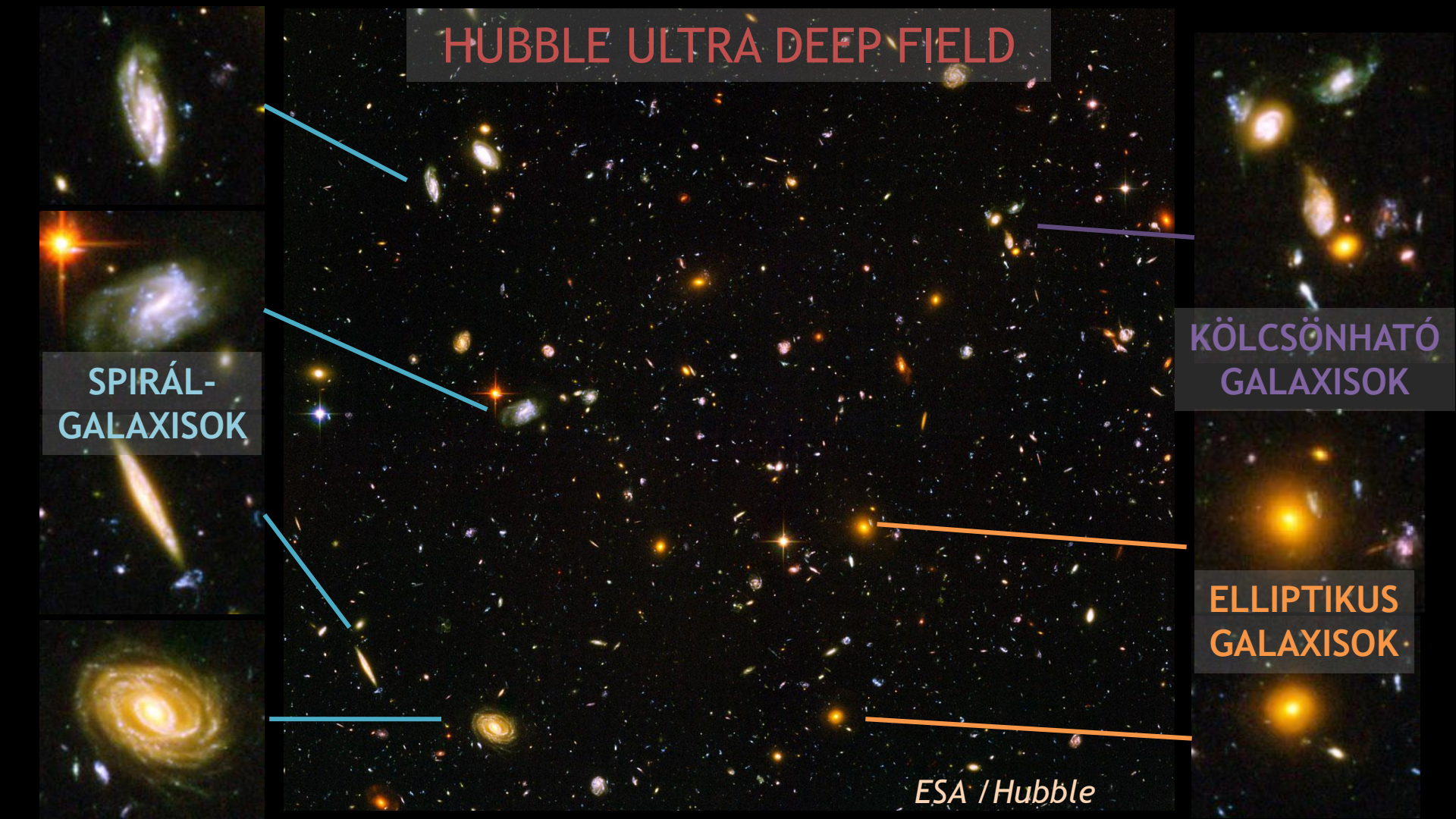
De mekkora?

banán: FreeSVG

Andromeda átmérője: 46,56 kpc = 152 000 ly
Banán mérete: 20 cm = 6 attopc = 6×10^{-18} pc

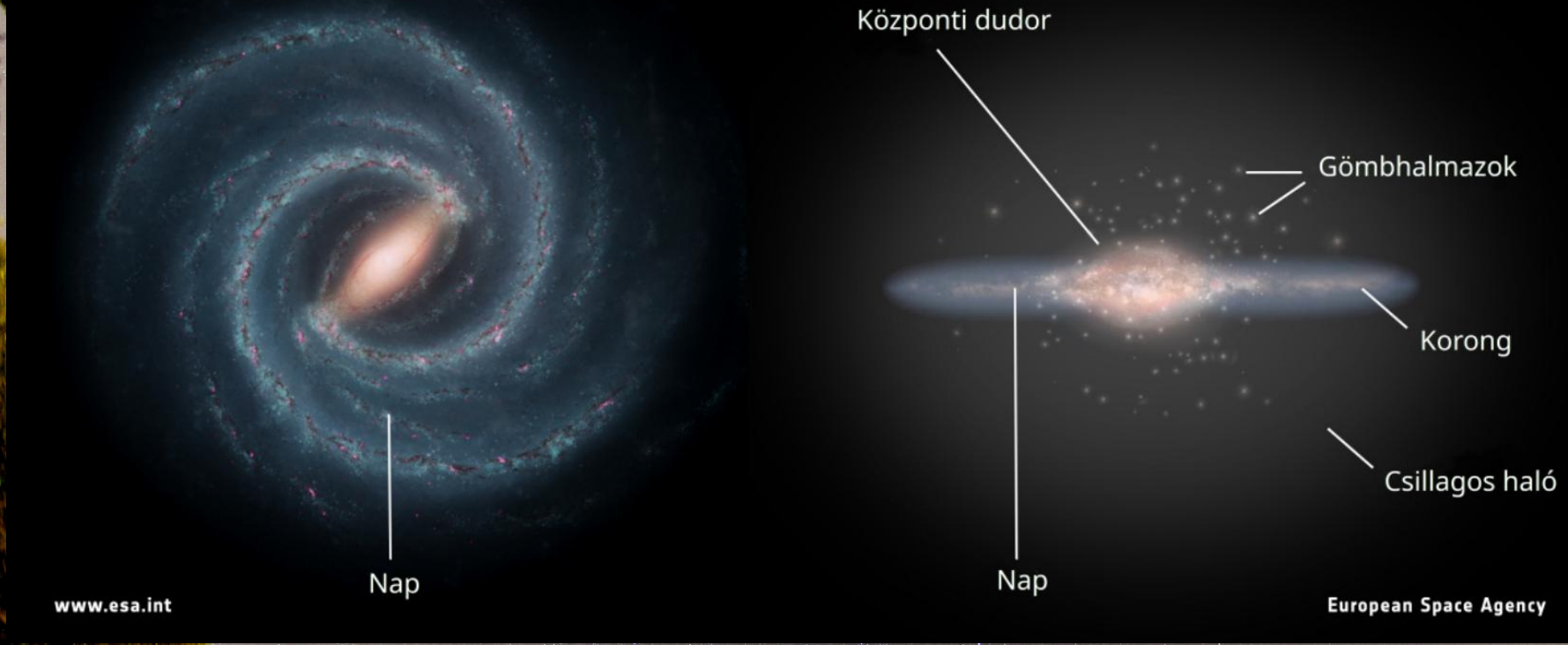
10^{-22} = 0.000000000000000000001-szerese


NASA, Hubble Űrtávcső


HUBBLE ULTRA DEEP FIELD
SPIRÁL-
GALAXISOK
KÖLCSÖNHATÓ
GALAXISOK
ELLIPTIKUS
GALAXISOK
ESA / Hubble


Hadházi Csaba

→ A TEJÚTRENDSZER SZERKEZETE



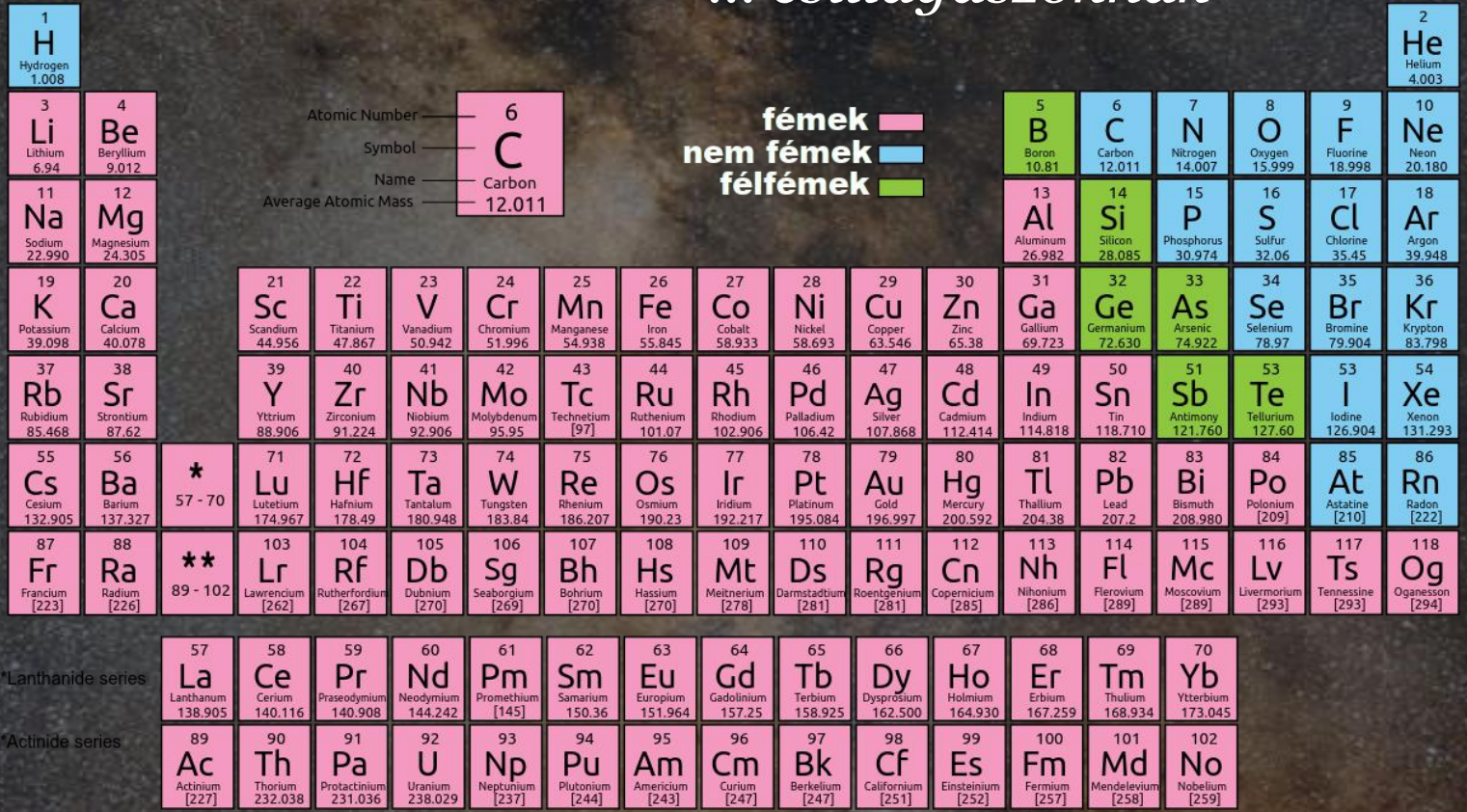
Hadházi Csaba

NUKLEÁRIS ASZTROFIZIKA

avagy alkímia csillagászoknak

Periódusos rendszer

... csillagászoknak



Wikimedia

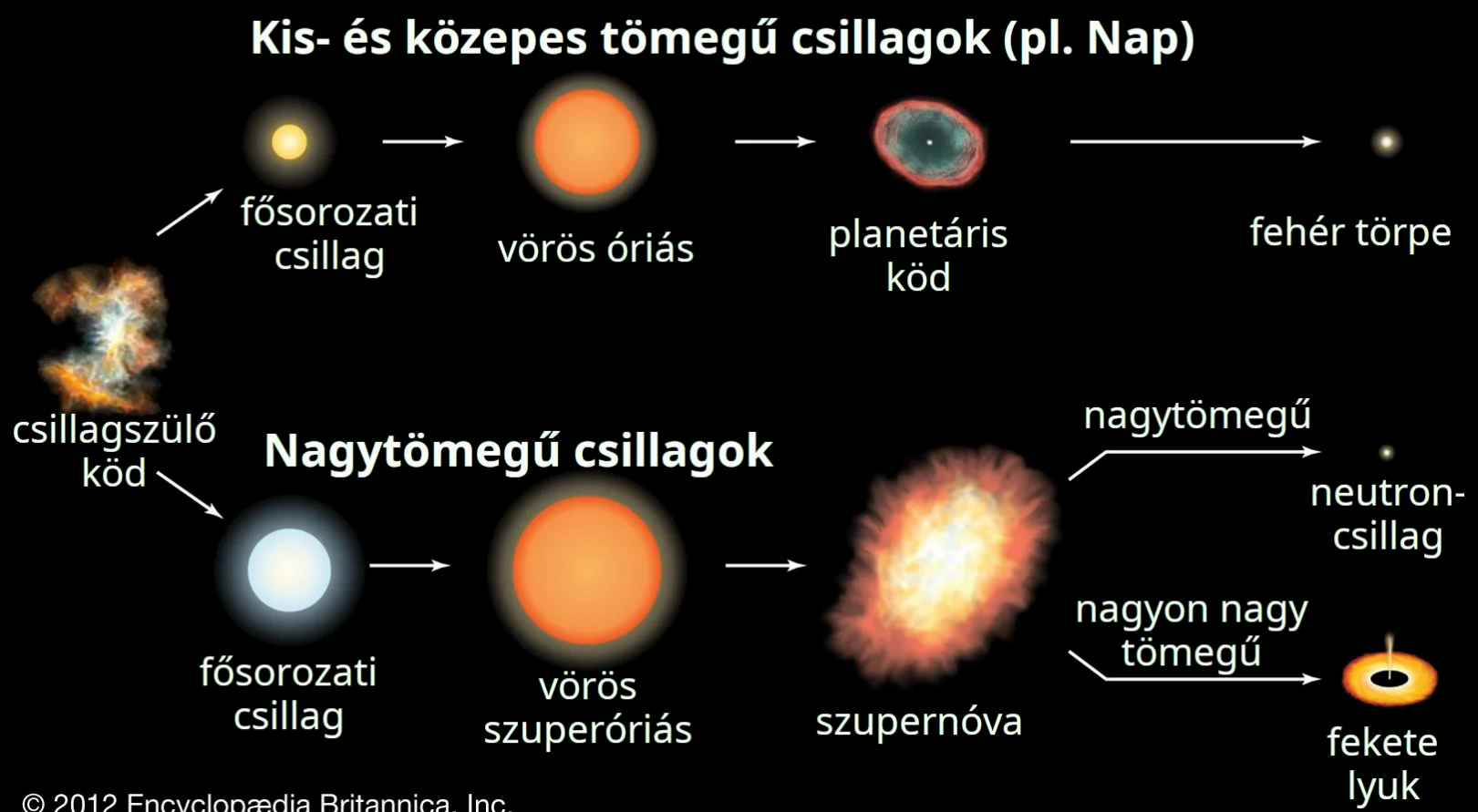
Periódusos rendszer

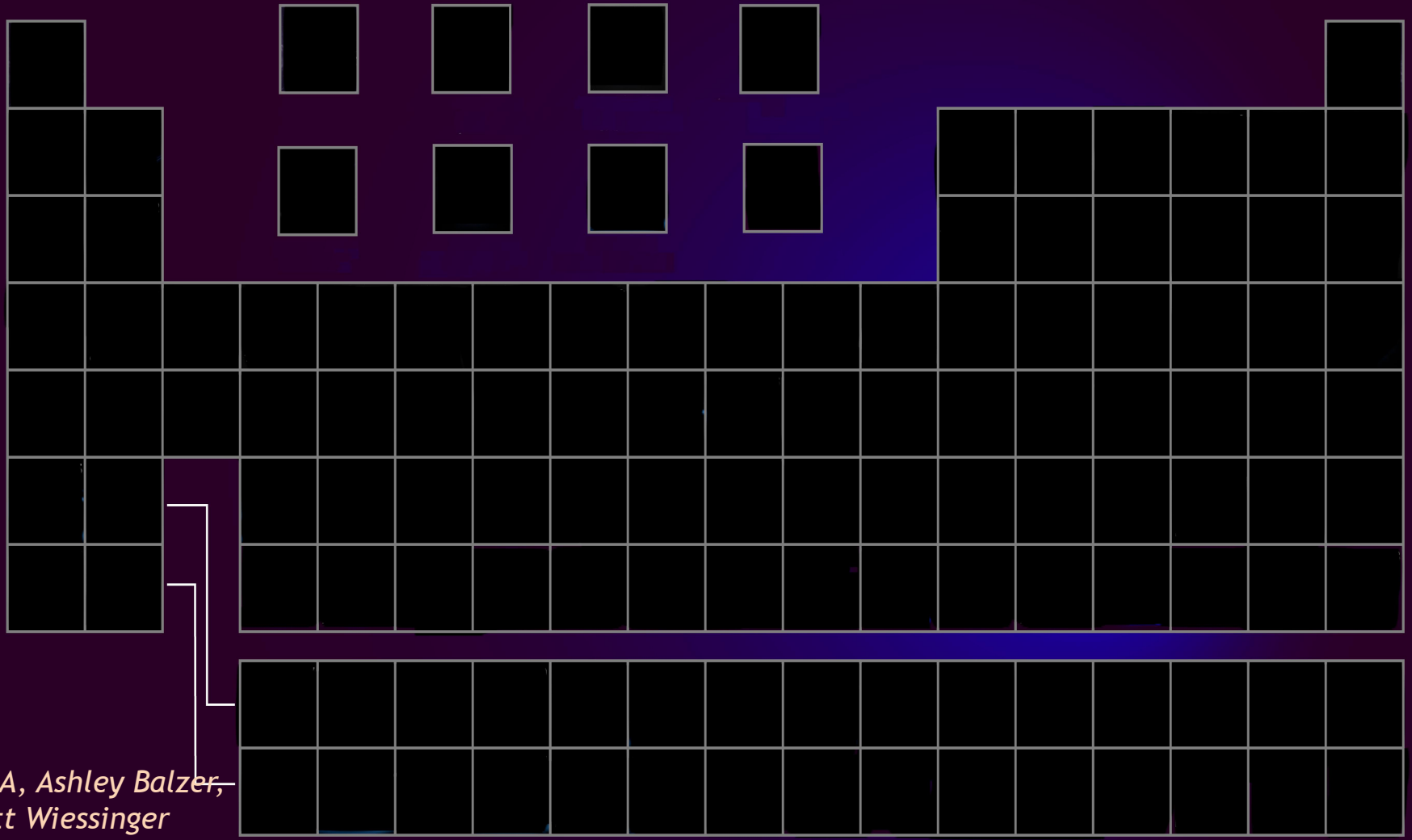
... csillagászoknak

Wikimedia

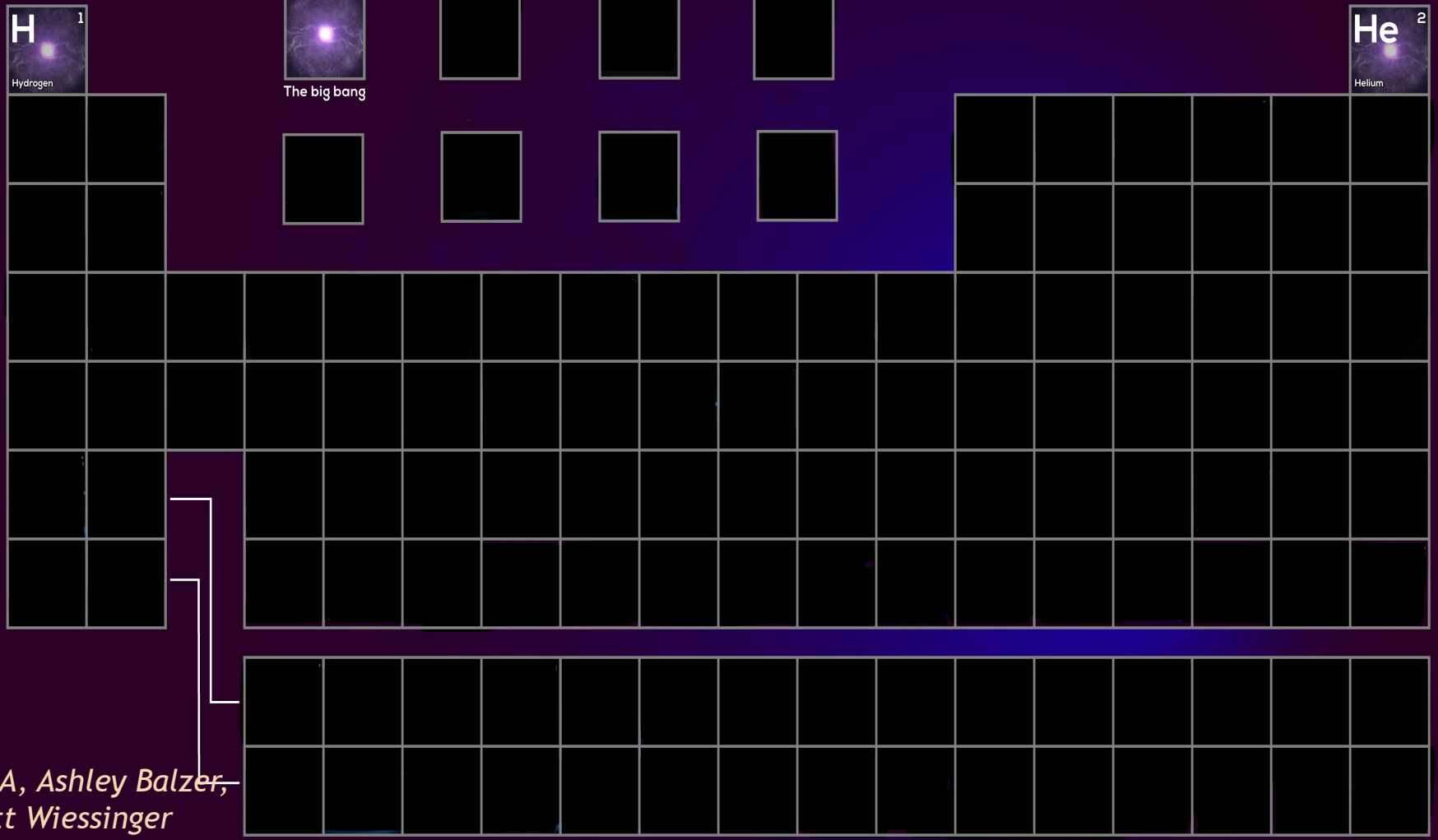

Csillagok
Csillagszél
GALAKTIKUS
KÉMIAI
FEJLŐDÉS
Csillagszülő felhők
Szupernóvák
Csillagközi anyag
Neutroncsillag-
összeolvadások
Credit: NASA

A csillagok életútja





NASA, Ashley Balzer, Scott Wiessinger



NASA, Ashley Balzer, Scott Wiessinger

H 1
Hydrogen


The big bang

He 2
Helium

Be 4
Beryllium


Cosmic ray collisions

B 5
Boron

NASA, Ashley Balzer, Scott Wiessinger

H 1 Hydrogen

The big bang

White dwarf supernovae

He 2 Helium

Be 4 Beryllium

Cosmic ray collisions

B 5 Boron

S 16 Sulfur

Ar 18 Argon

Ca 20 Calcium

Ti 22 Titanium

V 23 Vanadium

Cr 24 Chromium

Mn 25 Manganese

Fe 26 Iron

Co 27 Cobalt

Ni 28 Nickel

Cu 29 Copper

Zn 30 Zinc

NASA, Ashley Balzer, Scott Wiessinger

H 1 Hydrogen																	He 2 Helium
	Be 4 Beryllium											B 5 Boron			O 8 Oxygen	F 9 Fluorine	Ne 10 Neon
Na 11 Sodium	Mg 12 Magnesium											Al 13 Aluminum	Si 14 Silicon	P 15 Phosphorus	S 16 Sulfur	Cl 17 Chlorine	Ar 18 Argon
K 19 Potassium	Ca 20 Calcium	Sc 21 Scandium	Ti 22 Titanium	V 23 Vanadium	Cr 24 Chromium	Mn 25 Manganese	Fe 26 Iron	Co 27 Cobalt	Ni 28 Nickel	Cu 29 Copper	Zn 30 Zinc	Ga 31 Gallium	Ge 32 Germanium	As 33 Arsenic	Se 34 Selenium	Br 35 Bromine	Kr 36 Krypton
Rb 37 Rubidium																	

The big bang

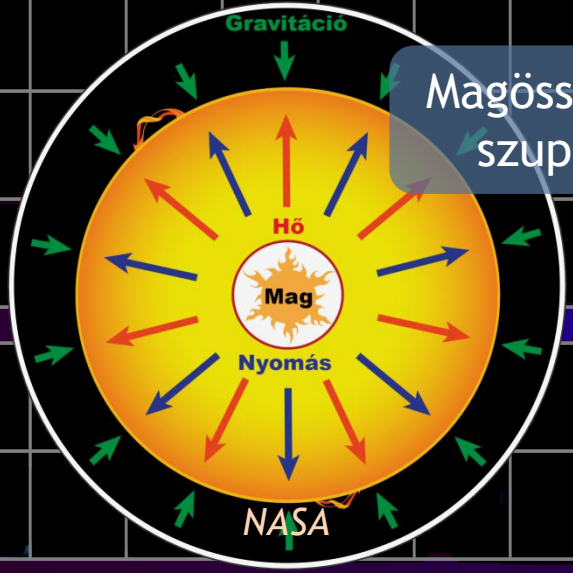
White dwarf supernovae

Cosmic ray collisions

Dying high-mass stars

Csillagszél

NASA/ESA

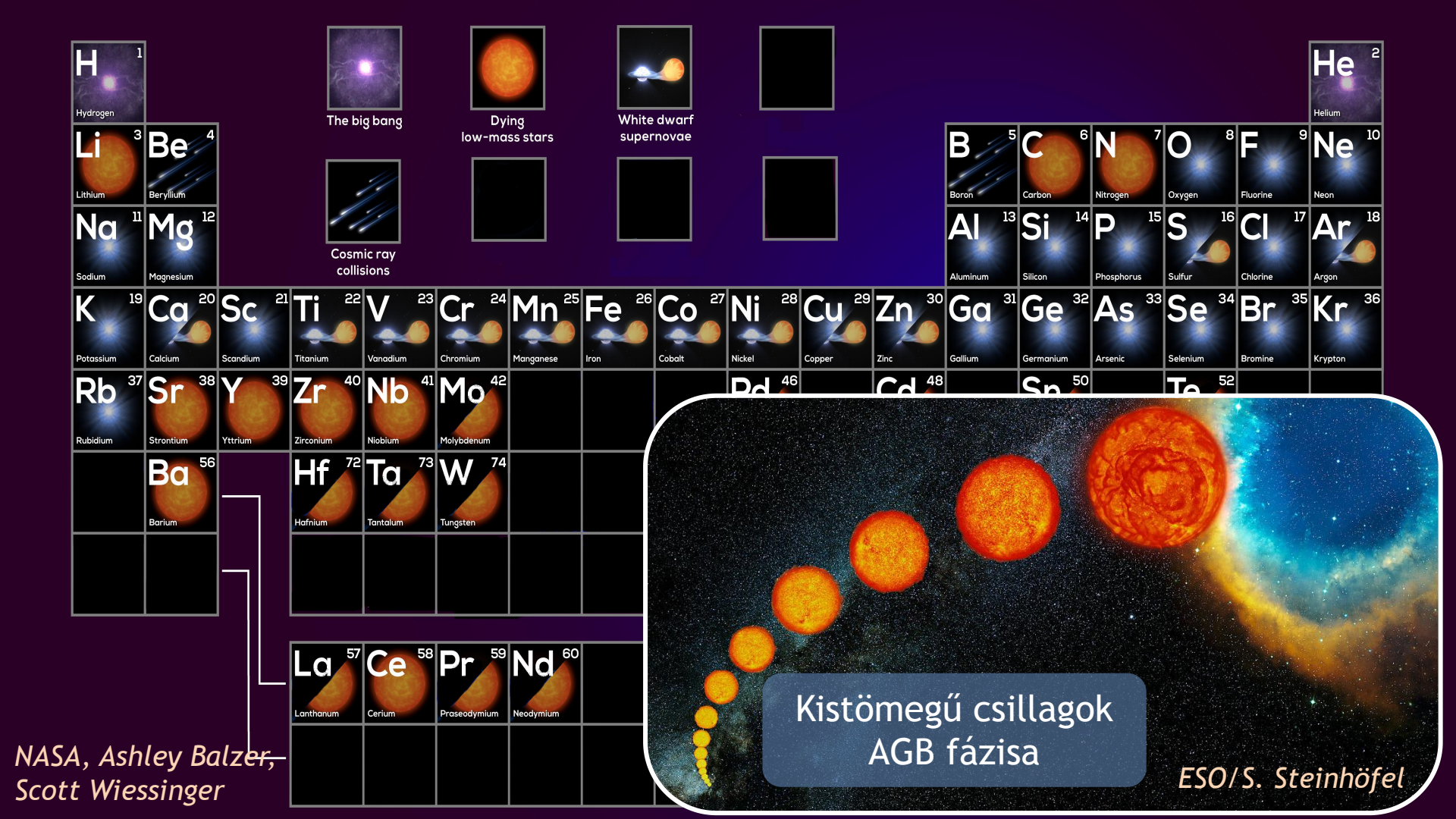


NASA

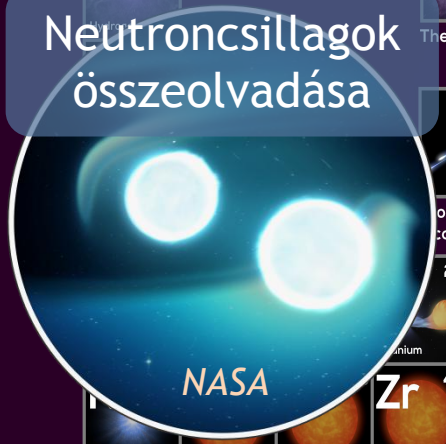
Magösszeomlásos szupernóvák

NASA/Hubble

NASA, As…
Scott Wiessing…


H 1 Hydrogen
He 2 Helium
Li 3 Lithium
Be 4 Beryllium
B 5 Boron
C 6 Carbon
N 7 Nitrogen
O 8 Oxygen
F 9 Fluorine
Ne 10 Neon
Na 11 Sodium
Mg 12 Magnesium
Al 13 Aluminum
Si 14 Silicon
P 15 Phosphorus
S 16 Sulfur
Cl 17 Chlorine
Ar 18 Argon
K 19 Potassium
Ca 20 Calcium
Sc 21 Scandium
Ti 22 Titanium
V 23 Vanadium
Cr 24 Chromium
Mn 25 Manganese
Fe 26 Iron
Co 27 Cobalt
Ni 28 Nickel
Cu 29 Copper
Zn 30 Zinc
Ga 31 Gallium
Ge 32 Germanium
As 33 Arsenic
Se 34 Selenium
Br 35 Bromine
Kr 36 Krypton
Rb 37 Rubidium
Sr 38 Strontium
Y 39 Yttrium
Zr 40 Zirconium
Nb 41 Niobium
Mo 42 Molybdenum
Pd 46
Cd 48
Sn 50
Te 52
Ba 56 Barium
Hf 72 Hafnium
Ta 73 Tantalum
W 74 Tungsten
La 57 Lanthanum
Ce 58 Cerium
Pr 59 Praseodymium
Nd 60 Neodymium
The big bang
Dying low-mass stars
White dwarf supernovae
Cosmic ray collisions
Kistömegű csillagok AGB fázisa
NASA, Ashley Balzer, Scott Wiessinger
ESO/S. Steinhöfel

Neutroncsillagok összeolvadása



Mágneses-hidrodinamikai jet?

NAS
Scott W

The big bang

Dying low-mass stars

White dwarf supernovae

osmic ray collisions

Dying high-mass stars

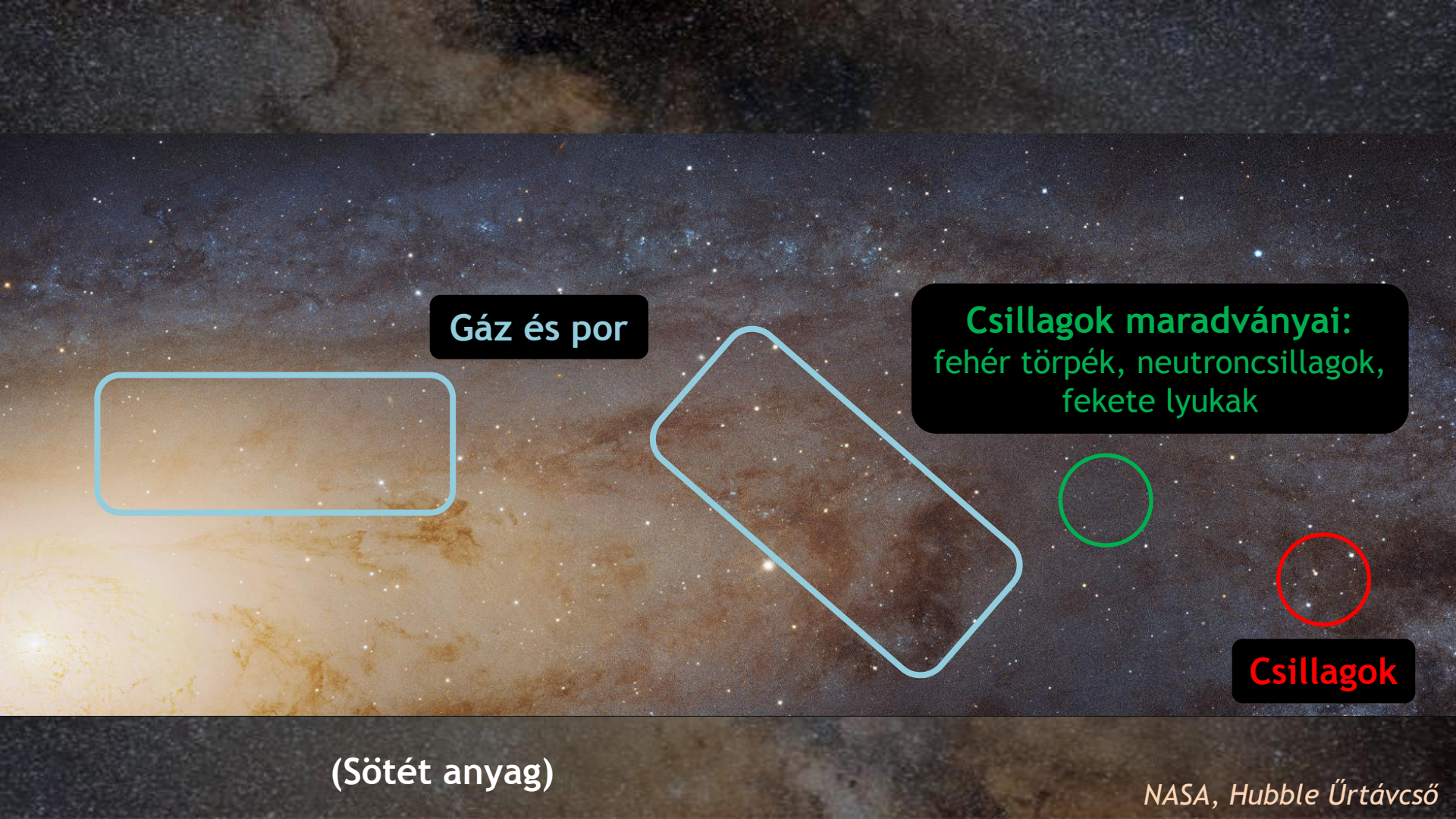
Merging neutron stars

H 1																	He 2
												B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
												Boron	Carbon	Nitrogen	Oxygen	Fluorine	Neon
												Al 13	Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
												Aluminum	Silicon	Phosphorus	Sulfur	Chlorine	Argon
				V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
				Vanadium	Chromium	Manganese	Iron	Cobalt	Nickel	Copper	Zinc	Gallium	Germanium	Arsenic	Selenium	Bromine	Krypton
		Zr 40	Nb 41	Mo 42		Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54	
Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirconium	Niobium	Molybdenum		Ruthenium	Rhodium	Palladium	Silver	Cadmium	Indium	Tin	Antimony	Tellurium	Iodine	Xenon
Cs 55	Ba 56	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83				
			Tantalum	Tungsten	Rhenium	Osmium	Iridium	Platinum	Gold	Mercury	Thallium	Lead	Bismuth				

Ce 58	Pr 59	Nd 60		Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
Cerium	Praseodymium	Neodymium		Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutetium
Th 90		U 92		Pu 94									
Thorium		Uranium		Plutonium									

NASA, Ashley Balzer, Scott Wiessinger

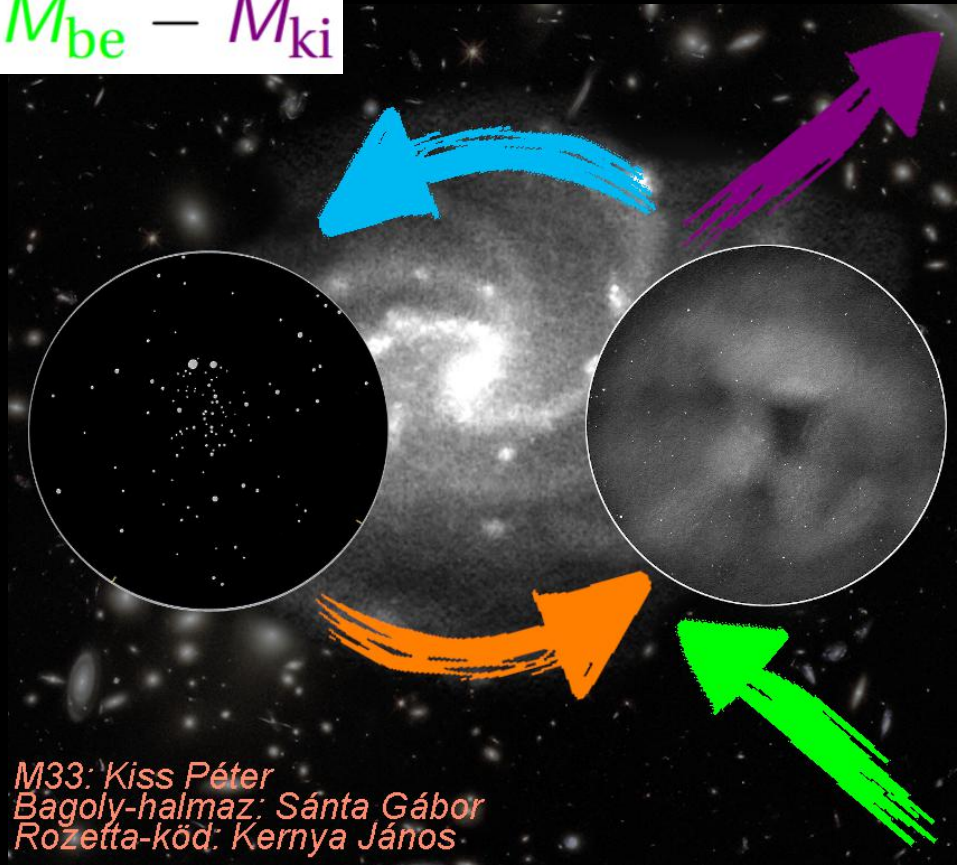

MODELLEZZÜNK GALAXIST!


Gáz és por
Csillagok maradványai:
fehér törpék, neutroncsillagok,
fekete lyukak
Csillagok
(Sötét anyag)
NASA, Hubble Űrtávcső


Csillagok
Csillagszél
Szupernóvák
Neutroncsillag-
összeolvadások
Csillagközi anyag
Csillagszülő felhők
GALAKTIKUS
KÉMIAI
FEJLŐDÉS
Credit: NASA

A galaxis anyagának körforgása

$$\dot{M}_{\text{gáz}} = \dot{M}_{\text{termelt}} - \dot{M}_{*} + \dot{M}_{\text{be}} - \dot{M}_{\text{ki}}$$



A galaxis anyagának körforgása

$$\dot{M}_{\text{gáz}} = \dot{M}_{\text{termelt}} - \dot{M}_{*} + \dot{M}_{\text{be}} - \dot{M}_{\text{ki}}$$

```
def __init__(self, mgal=1.0, print_off=False, halo_in_out_on=True, \
             m_outer_ini=-1.0, epsilon_sne_halo=0.0, nb_ccsne_per_m=0.01, \
             epsilon_sne_gal=-1, sfe_m_index=1.0, halo_out_index=1.0, \
             is_SF=True, sfe_m_dep=False, gal_out_index=1.0, f_halo_to_gal_out=-1, \
             DM_outflow_C17=False, m_cold_flow_tresh=-1, C17_eta_z_dep=True, \
             Grackle_on=False, f_t_ff=1.0, t_inflow=-1.0, t_ff_index=1.0, \
             max_half_life=1e14, min_half_life=1000, t_merge=-1.0, \
             substeps = [2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 24, 32, 48, 64, 96, 128, 192, 256, 384],\
             tolerance = 1e-5, min_val = 1e-20, print_param=False,\
             is_SF_t=np.array([]), outer_ini_f=np.array([]), ymgal_outer_ini=np.array([]), \
             sne_L_feedback=np.array([]), sfe_t=np.array([]), sfh_with_sfe=np.array([]),\
             dmo_ini=np.array([]), dmo_ini_t=np.array([]), exp_infall=np.array([]), tauup = [],
             m_inflow_in=np.array([]), is_sub_array=np.array([]), **kwargs):

    # Not implemented yet
    if len(sne_L_feedback) > 0:
        print('The sne_L_feedback option is currently not available.')
        print('Simulation aborded.')
        return

    # Announce the beginning of the simulation
    if not print_off:
        print ('OMEGA+ run in progress..')
```

OMEGA+

A TEJÚTRENDSZER TÖRTÉNETÉNEK NYOMÁBAN

Hogyan ismerhetjük meg a Tejútrendszer történetét?

Vegyünk egy időgépet!

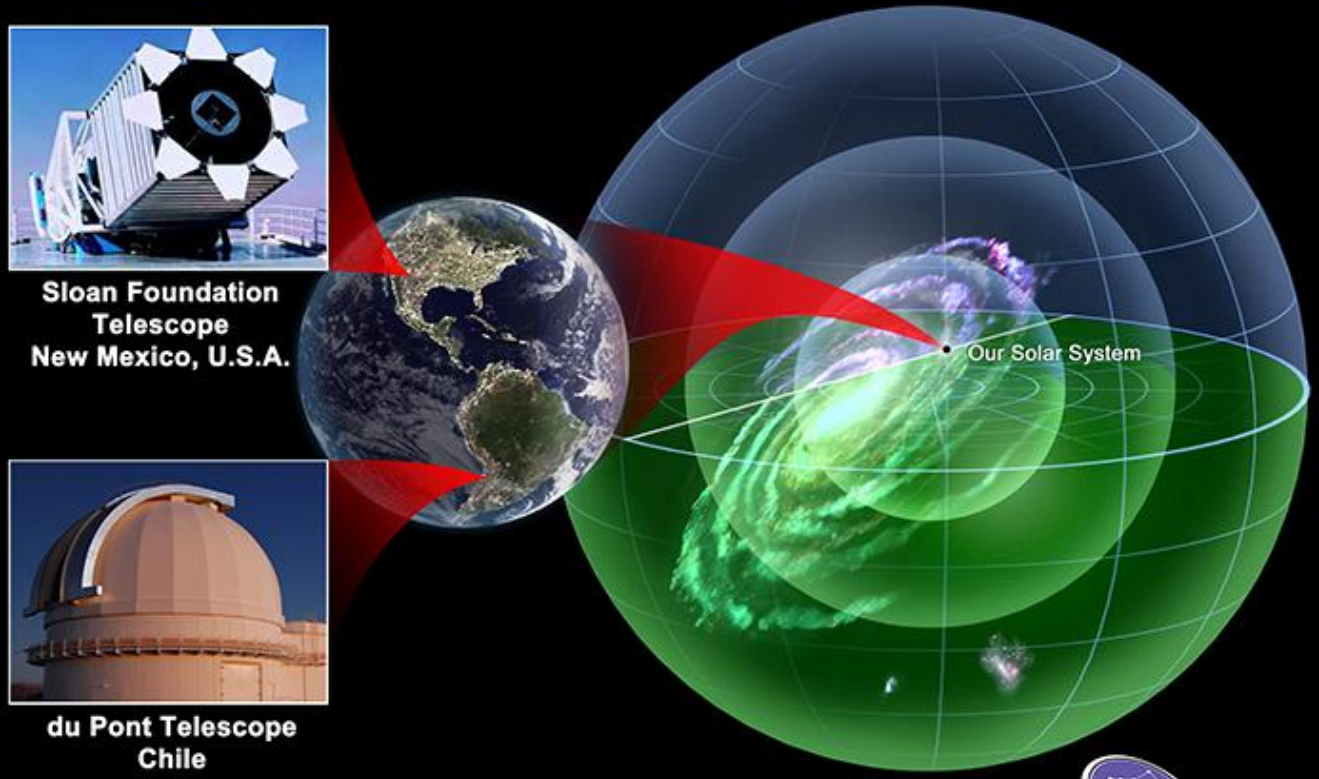
FaseehUdeen

Hogyan ismerhetjük meg a Tejútrendszer történetét?

ÉSZLELÉSEK:

- Csillagok eloszlása, a galaxis struktúrái
- Csillagok mozgása
- Csillagok összetétele
- Gáz eloszlása
- Környező galaxisok mozgása
- Egyéb galaxisok megfigyelése

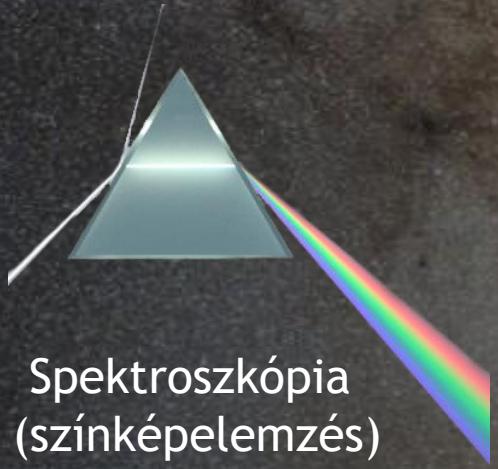
Az APOGEE égboltfelmérő program



A Tejútrendszer homogén kémiai térképe

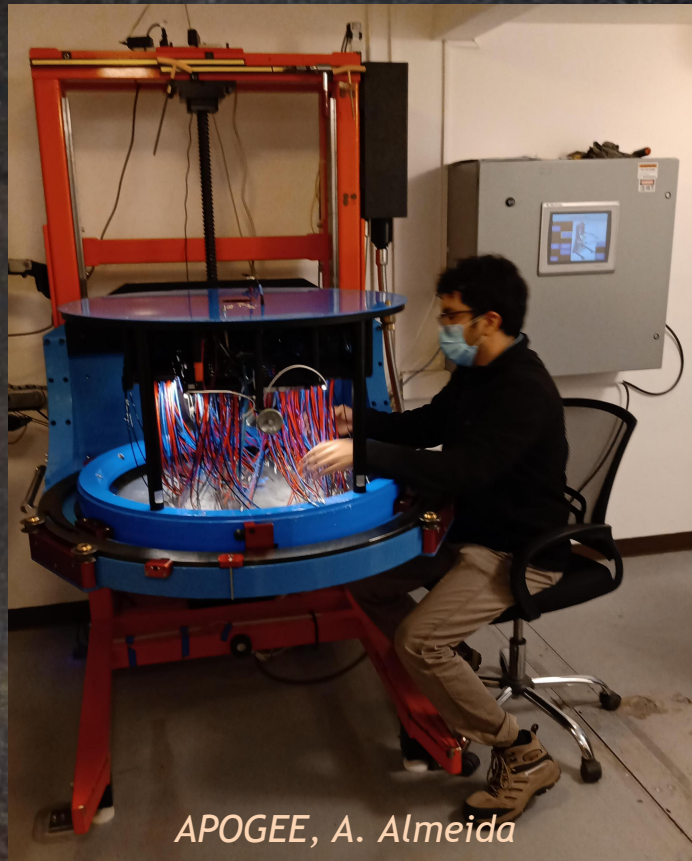
Dana Berry / SkyWorks Digital Inc. and the SDSS collaboration

Az APOGEE égboltfelmérő program



Spektroszkópia
(színképelemzés)

→ a csillagok összetétele

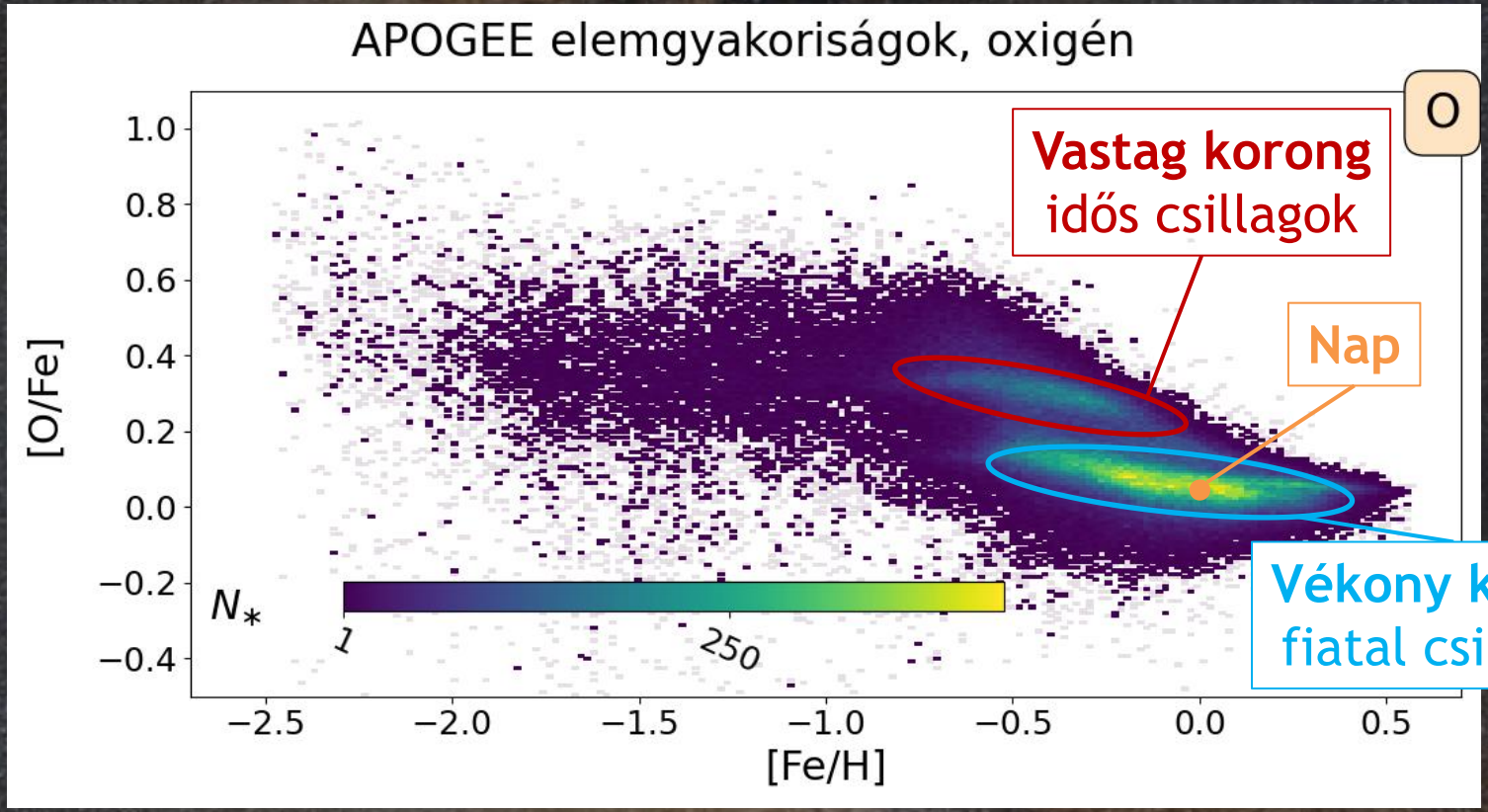


Wikimedia / Spigget

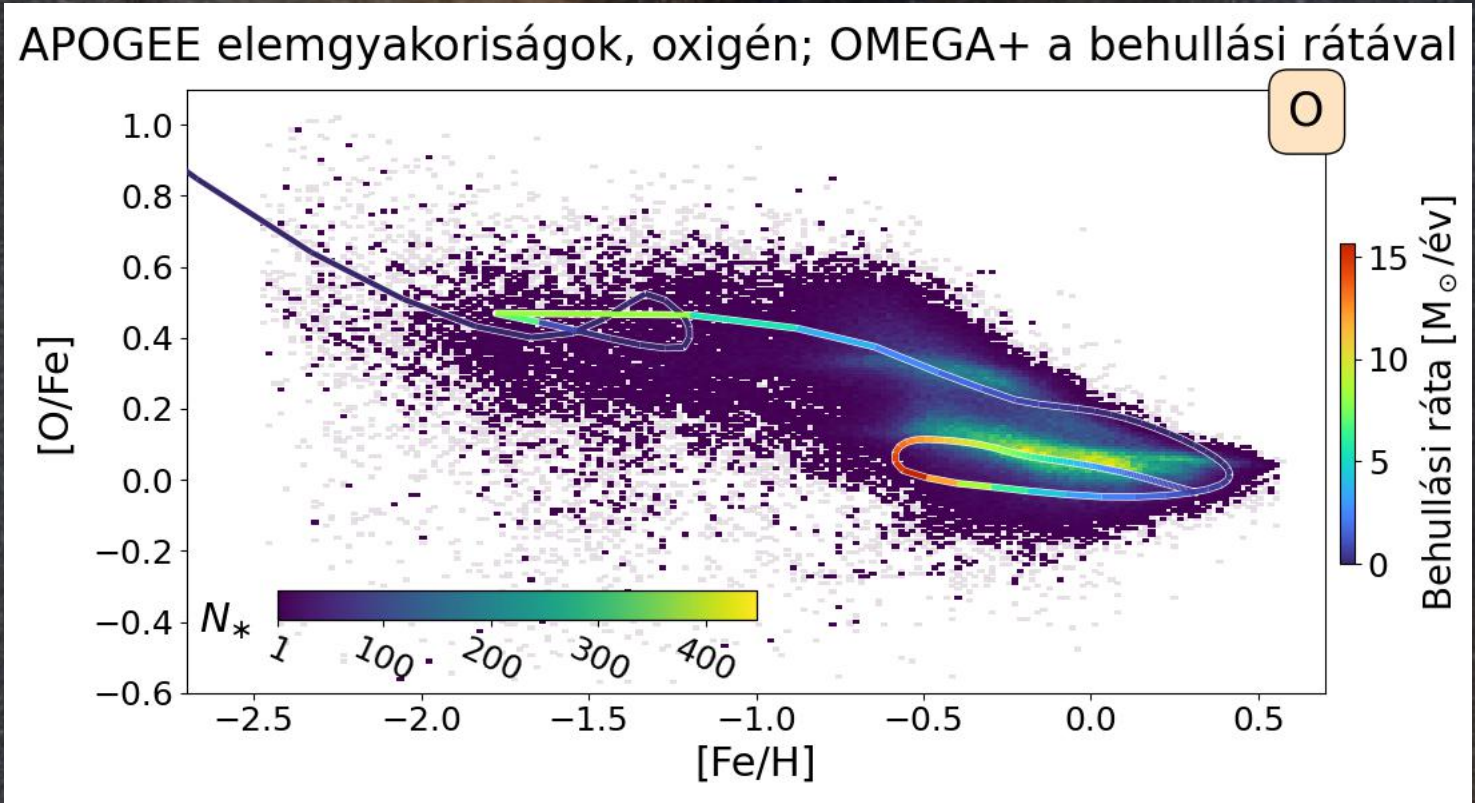
APOGEE

APOGEE, A. Almeida

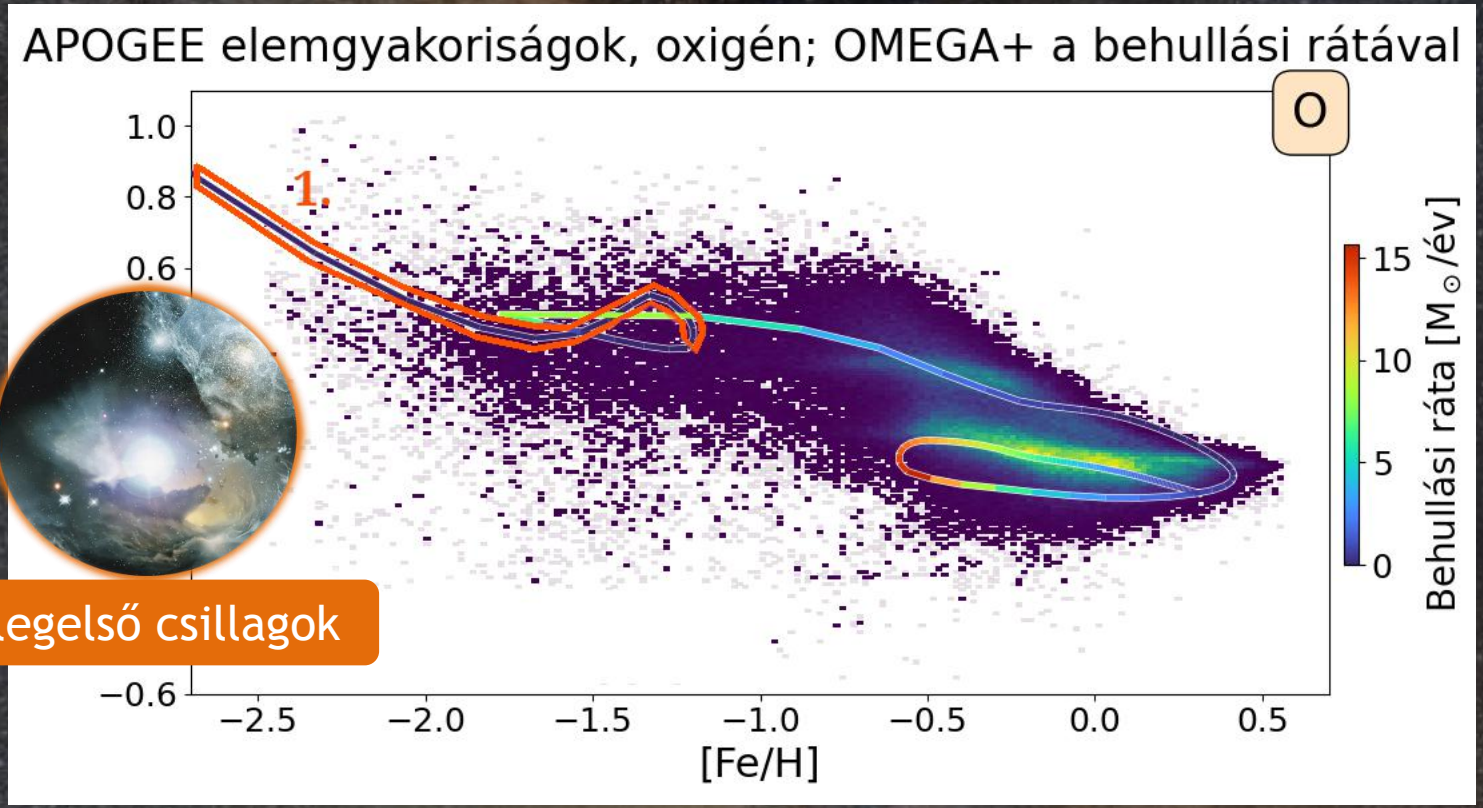
Kémiai kettősség



A Tejútrendszer kialakulásának folyamata



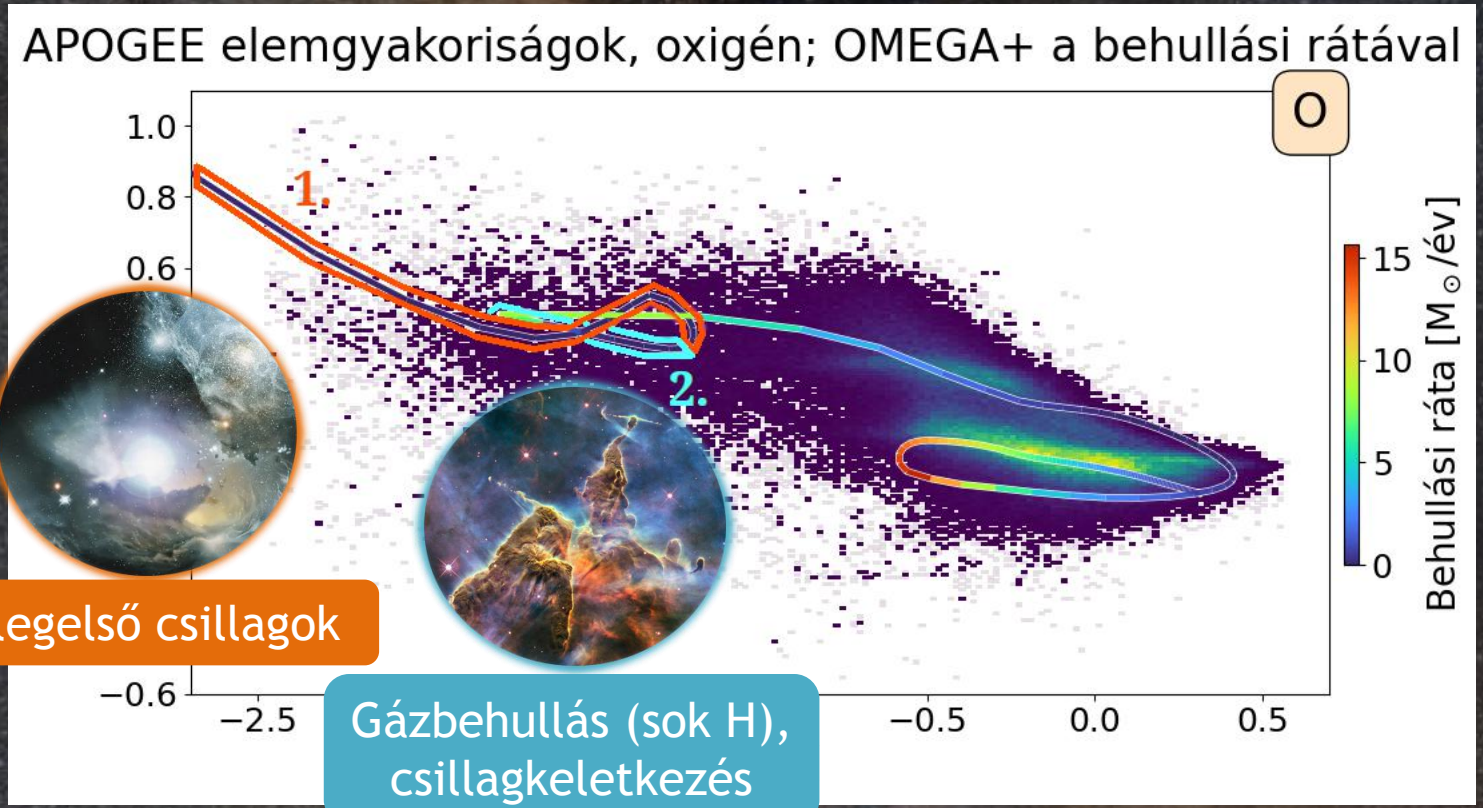
A Tejútrendszer kialakulásának folyamata



A legelső csillagok

NASA/ESA/ESO/Wolfram Freudling et al. (STECF)

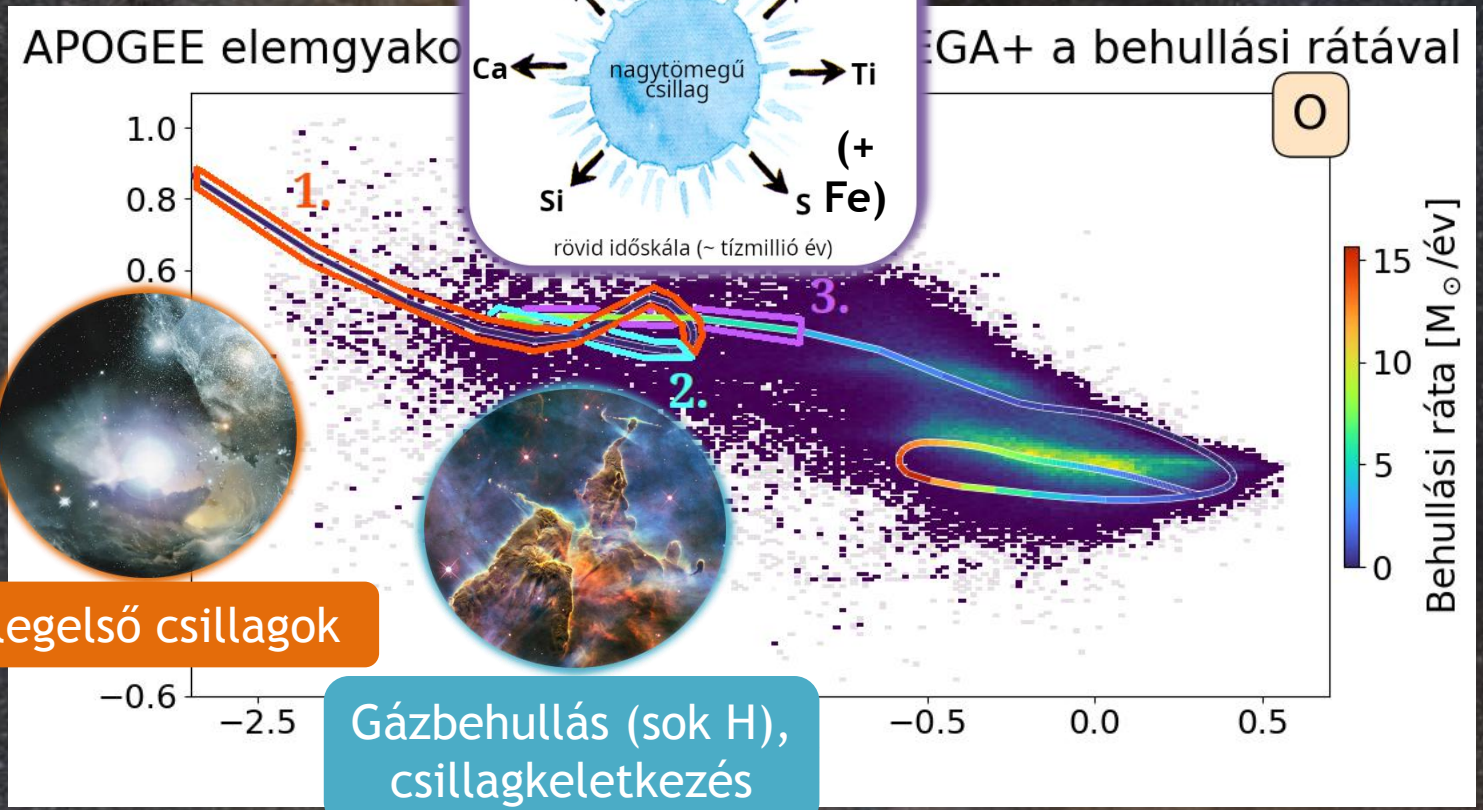
A Tejútrendszer kialakulásának folyamata



NASA/ESA/ESO/Wolfram Freudling et al. (STECF)

NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team

C. Chiappini



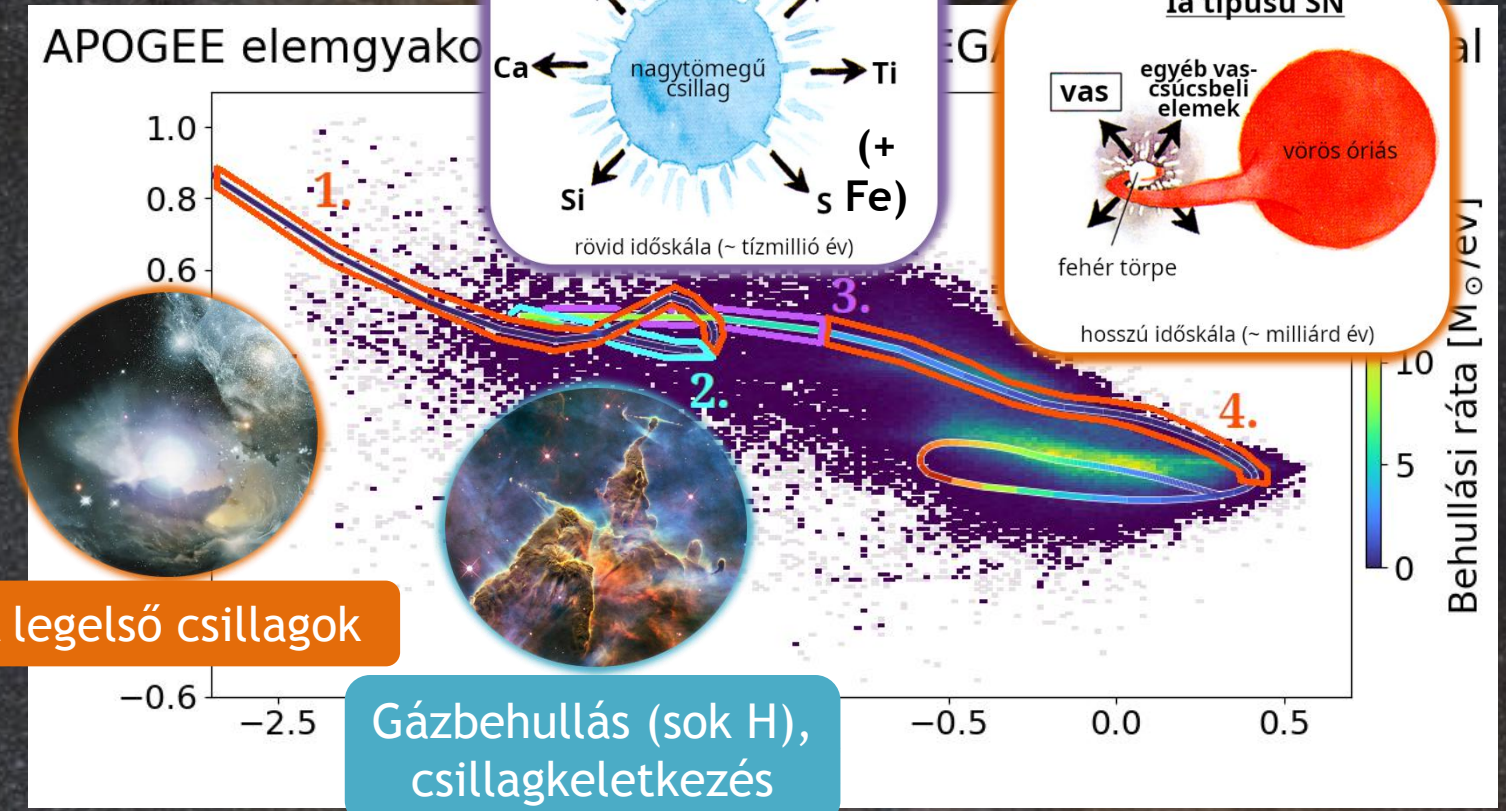
A legelső csillagok

Gázbehullás (sok H), csillagkeletkezés

NASA/ESA/ESO/Wolfram Freudling et al. (STECF)

NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team

C. Chiappini

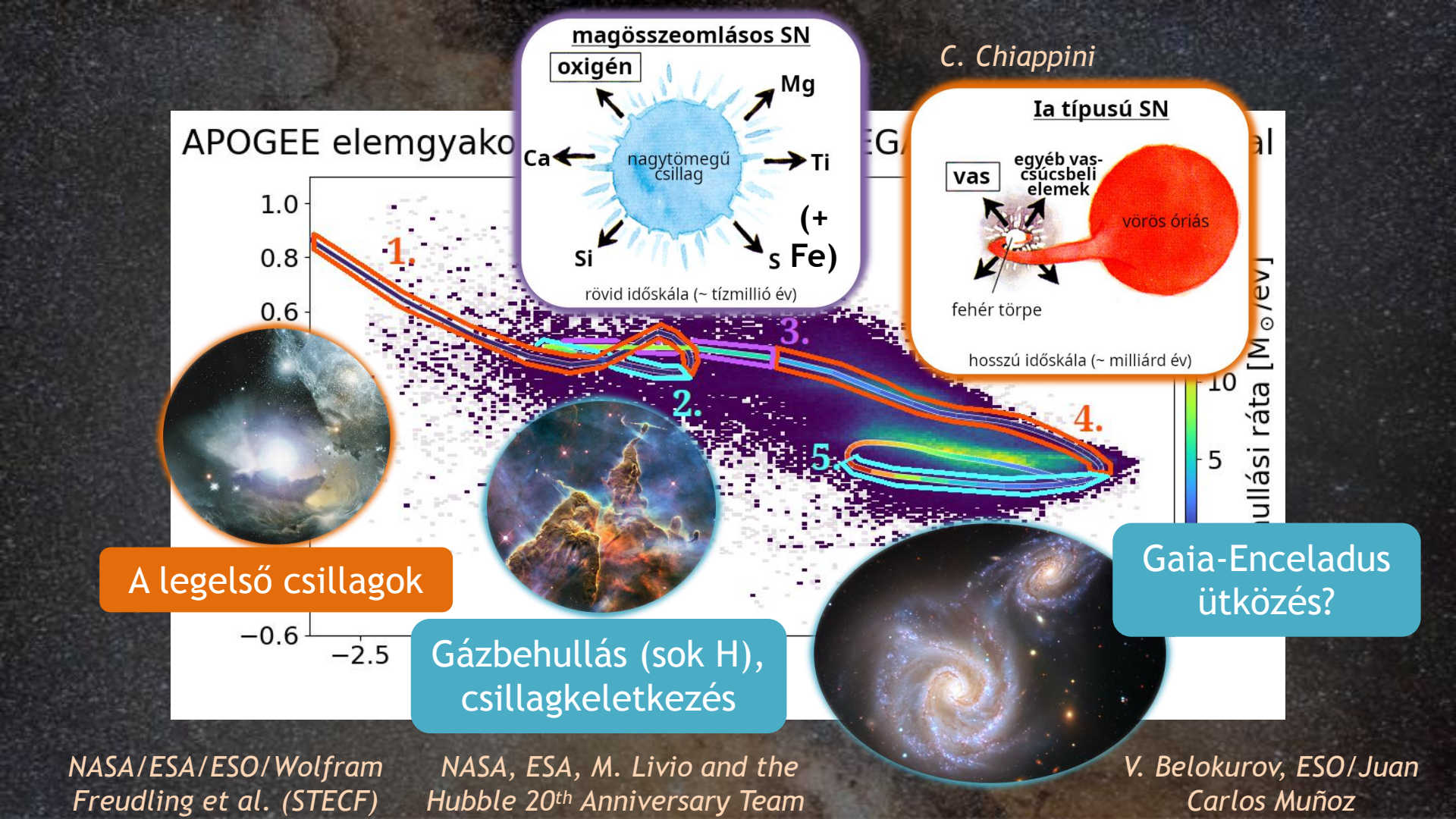


A legelső csillagok

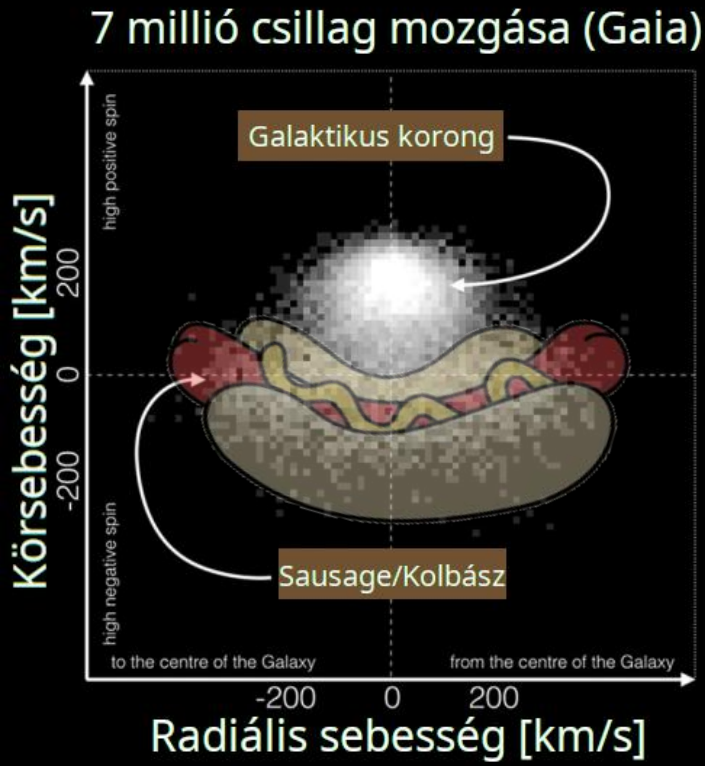
Gázbehullás (sok H), csillagkeletkezés

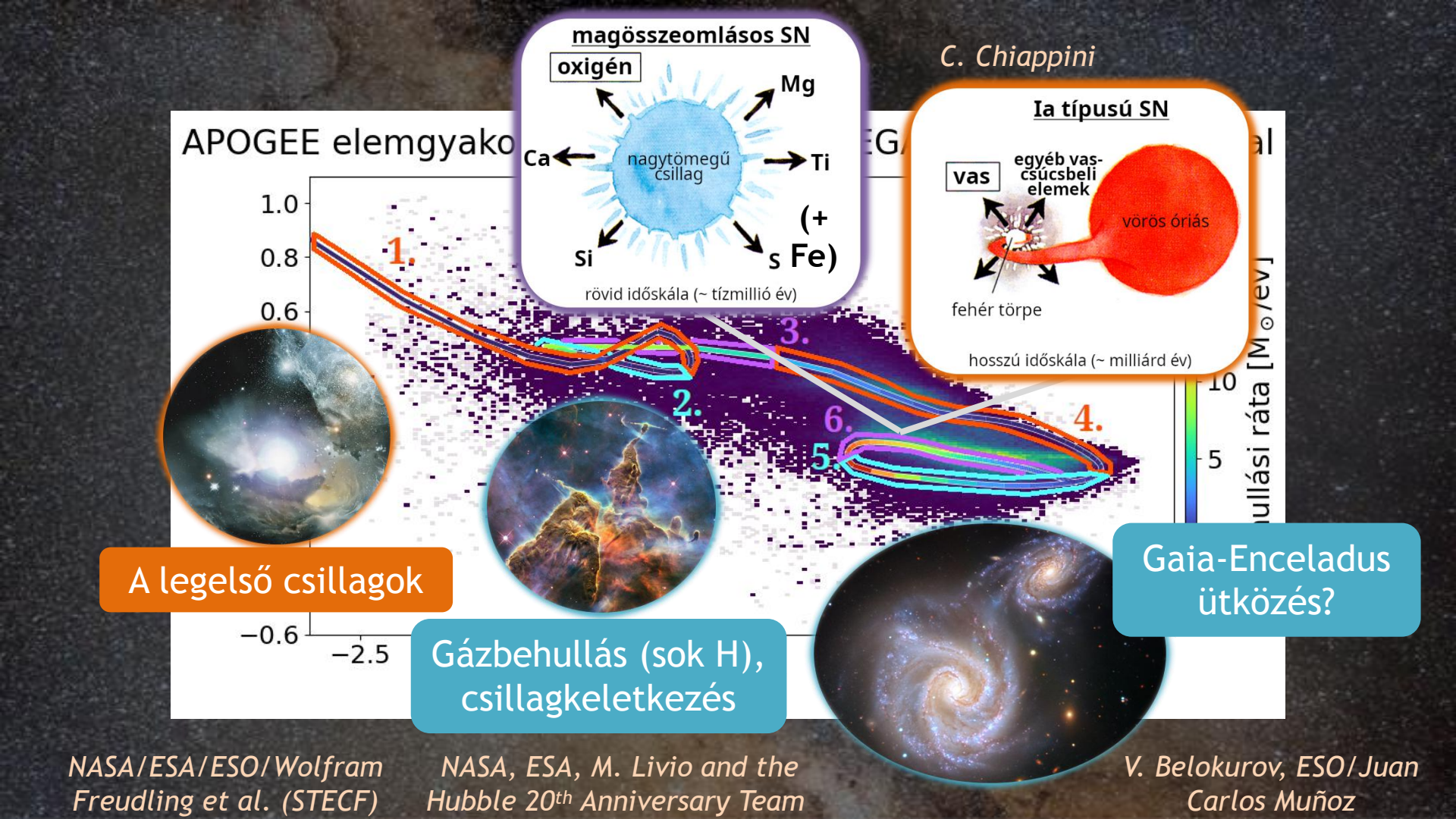
NASA/ESA/ESO/Wolfram Freudling et al. (STECF)

NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team


magösszeomlásos SN
oxigén
Mg
Ca
nagytömegű csillag
Ti
(+ Fe)
Si
S
rövid időskála (~ tízmillió év)
C. Chiappini
Ia típusú SN
vas
egyéb vas-csúcsbeli elemek
vörös óriás
fehér törpe
hosszú időskála (~ milliárd év)
APOGEE elemgyako
1.0
0.8
0.6
−0.6
−2.5
1.
2.
3.
4.
5
10
5
ullási ráta [M⊙/ev]
A legelső csillagok
Gázbehullás (sok H), csillagkeletkezés
Gaia-Enceladus ütközés?
NASA/ESA/ESO/Wolfram Freudling et al. (STECF)
NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team
V. Belokurov, ESO/Juan Carlos Muñoz

Gaia-Enceladus




magösszeomlásos SN
oxigén
Mg
Ca
nagytömegű csillag
Ti
(+ Si
S Fe)
rövid időskála (~ tízmillió év)
C. Chiappini
Ia típusú SN
vas
egyéb vas-csúcsbeli elemek
vörös óriás
fehér törpe
hosszú időskála (~ milliárd év)
APOGEE elemgyako
1.0
0.8
0.6
−0.6
−2.5
1.
2.
3.
4.
5.
6.
10
5
ulási ráta [M⊙/ev]
A legelső csillagok
Gázbehullás (sok H), csillagkeletkezés
Gaia-Enceladus ütközés?
NASA/ESA/ESO/Wolfram Freudling et al. (STECF)
NASA, ESA, M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team
V. Belokurov, ESO/Juan Carlos Muñoz

Galaxis a garázsban - a recept

- Gravitáció
- Gáz, por
- → csillagok!
- Sötét anyag

Galaxis a garázsban - a recept

- Gravitáció
- Gáz, por
- → csillagok!
- Sötét anyag
- Fúzió!

NE PRÓBÁLD KI OTTHON!