

# A szupernóvák fizikája

Készítette: Mamuzsics Gergő

2020. 10. 22.

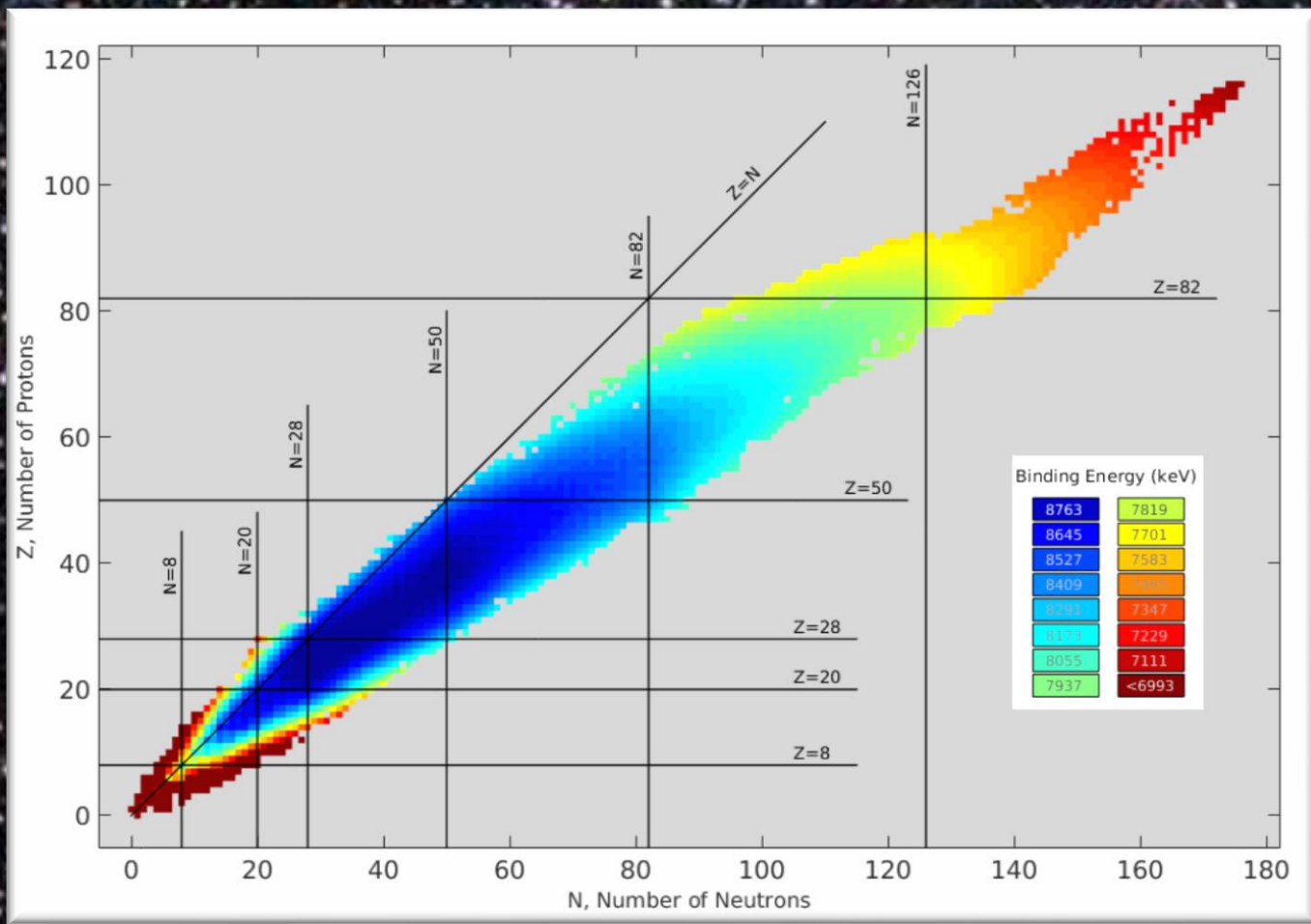
# Az előadás tartalma

- Miről lesz szó az előadás során?
  - a csillagok kialakulásáról, belső folyamatairól, pusztulásáról
  - a szupernóvarobbanás típusairól és jelenségeiről
- Választ kapunk rá:
  - Lesz-e a Napból szupernóva?
  - Hogy keletkeznek a vasnál nehezebb elemek az univerzumban?

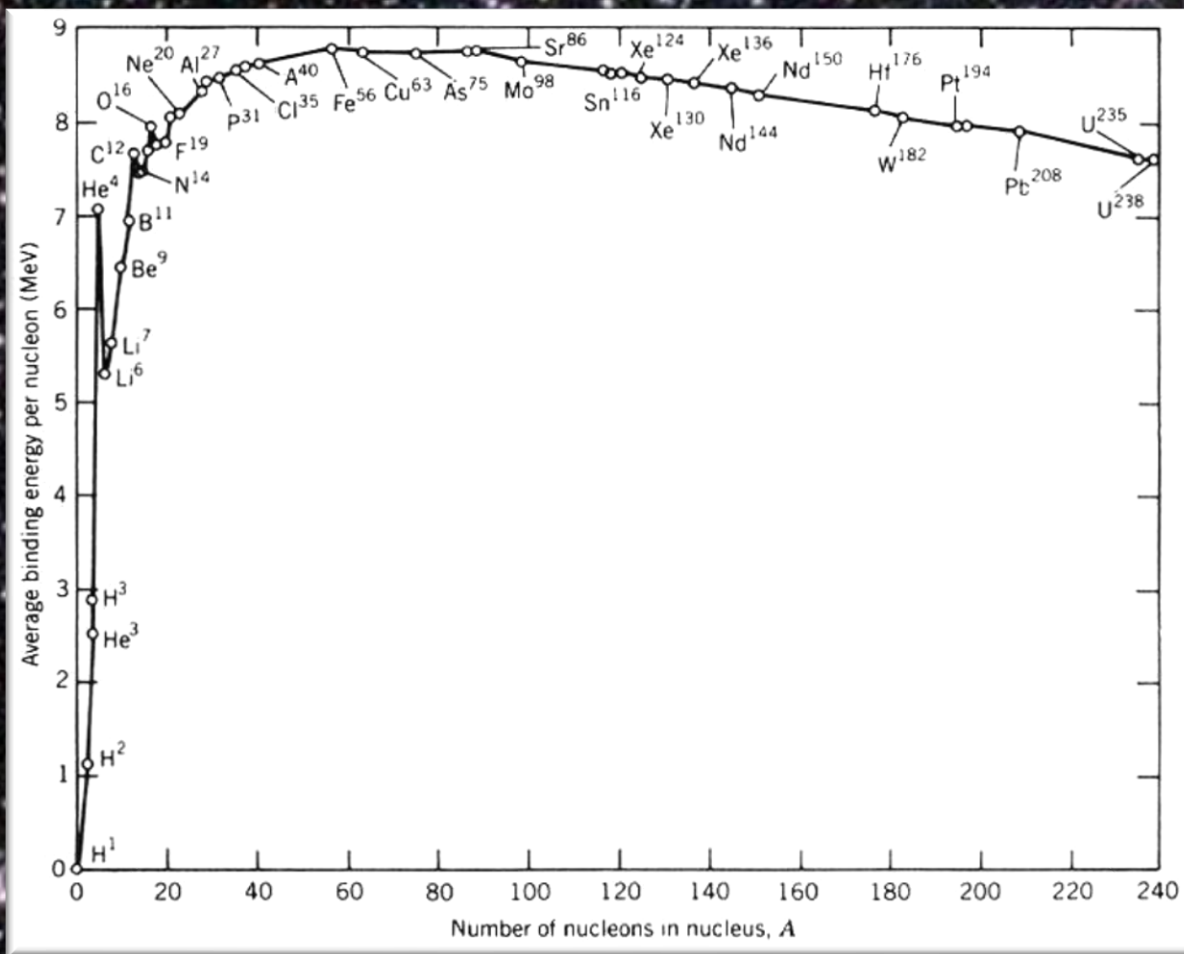
A dense field of stars in space, with a yellow rectangular box containing text in the center.

A csillagok életéről dióhéjban

# A stabil atommagok völgye



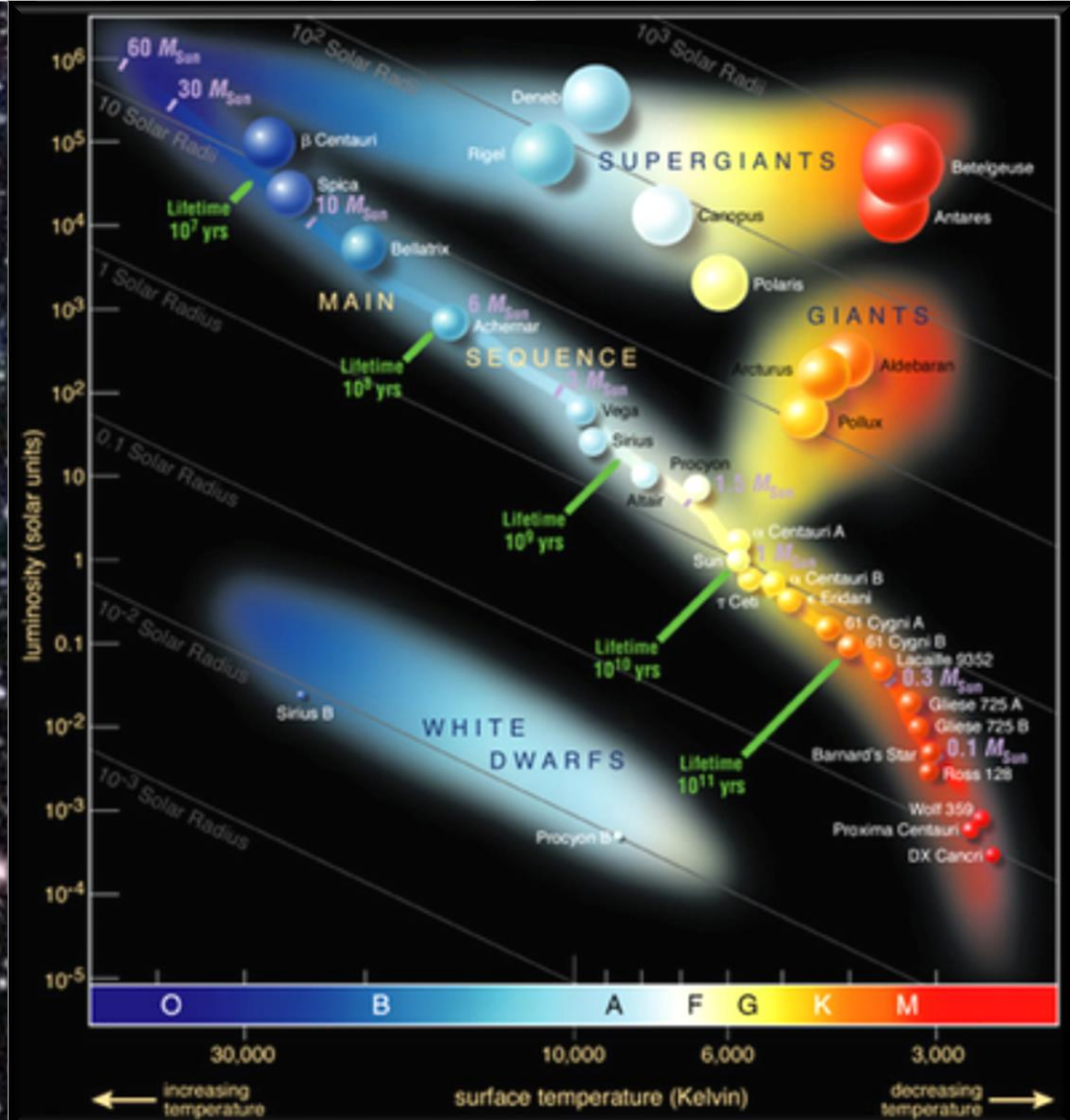
# A stabil atommagok völgye



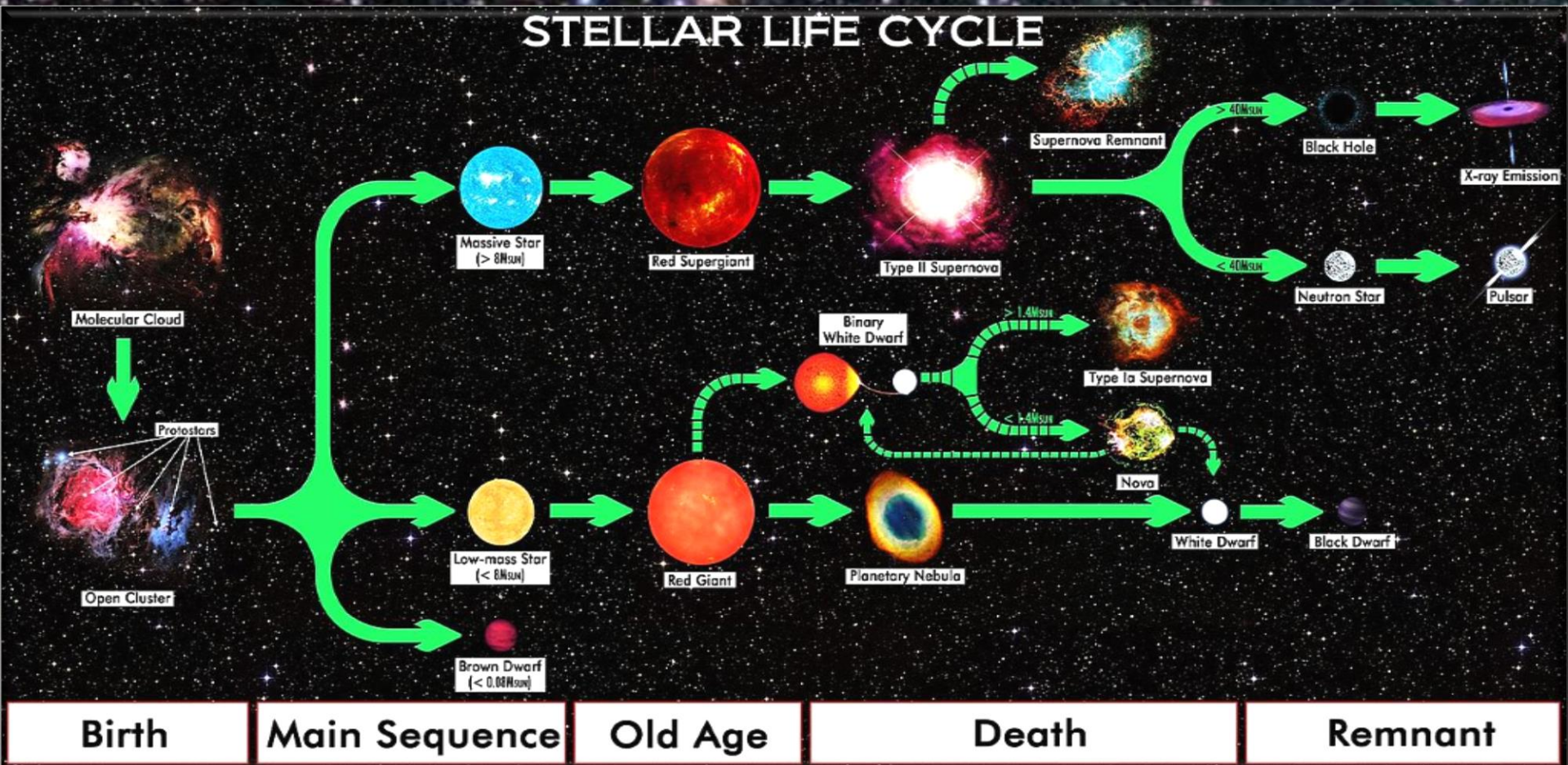
# Hertzsprung–Russell-diagram

luminozitás,  
szín,  
hőmérséklet,  
(tömeg)

összekapcsolása



# A csillagok élete

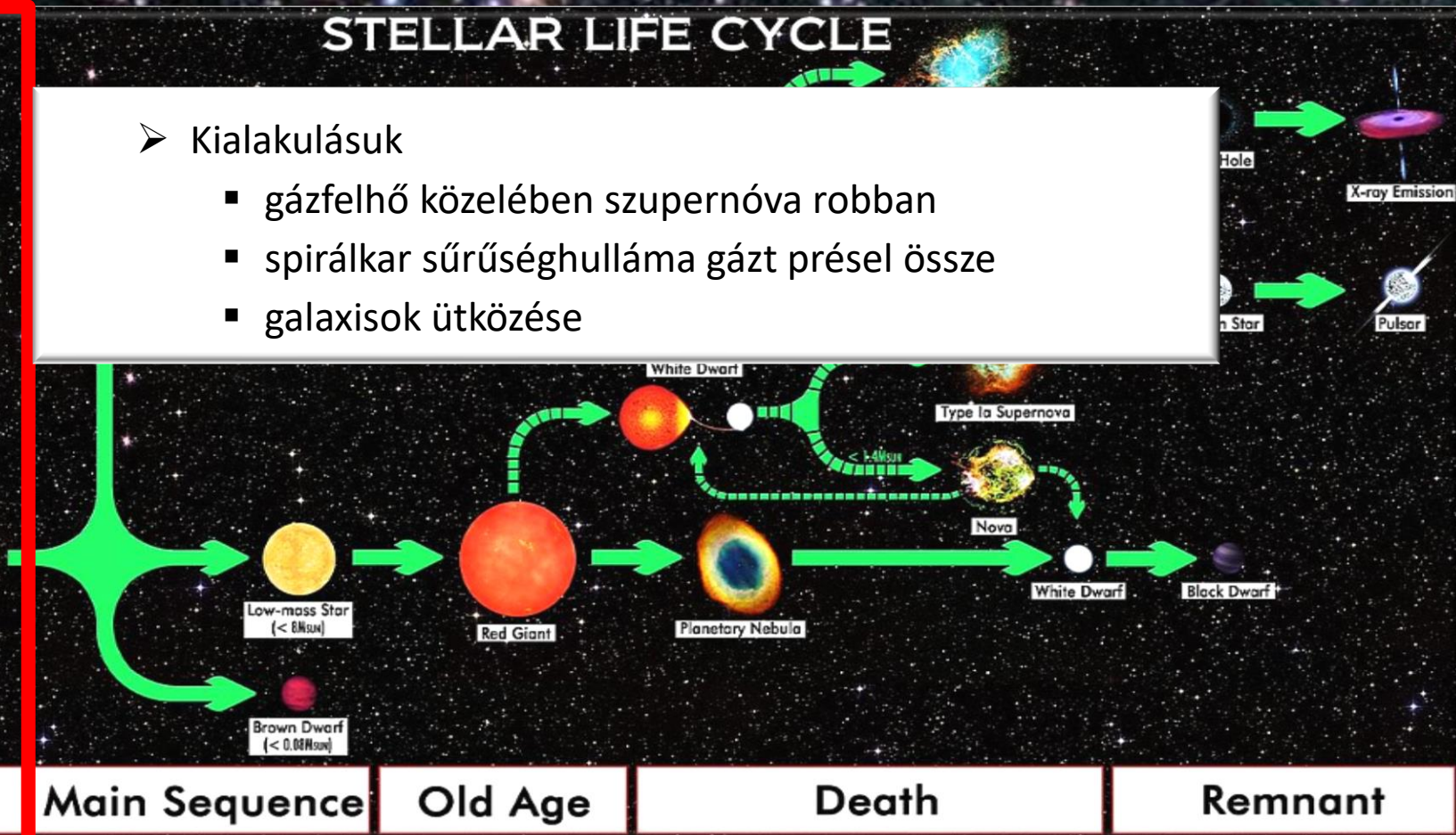


# A csillagok élete

## STELLAR LIFE CYCLE

### ➤ Kialakulásuk

- gázfelhő közelében szupernóva robban
- spirálkar sűrűség hulláma gázt présel össze
- galaxisok ütközése



Birth

Main Sequence

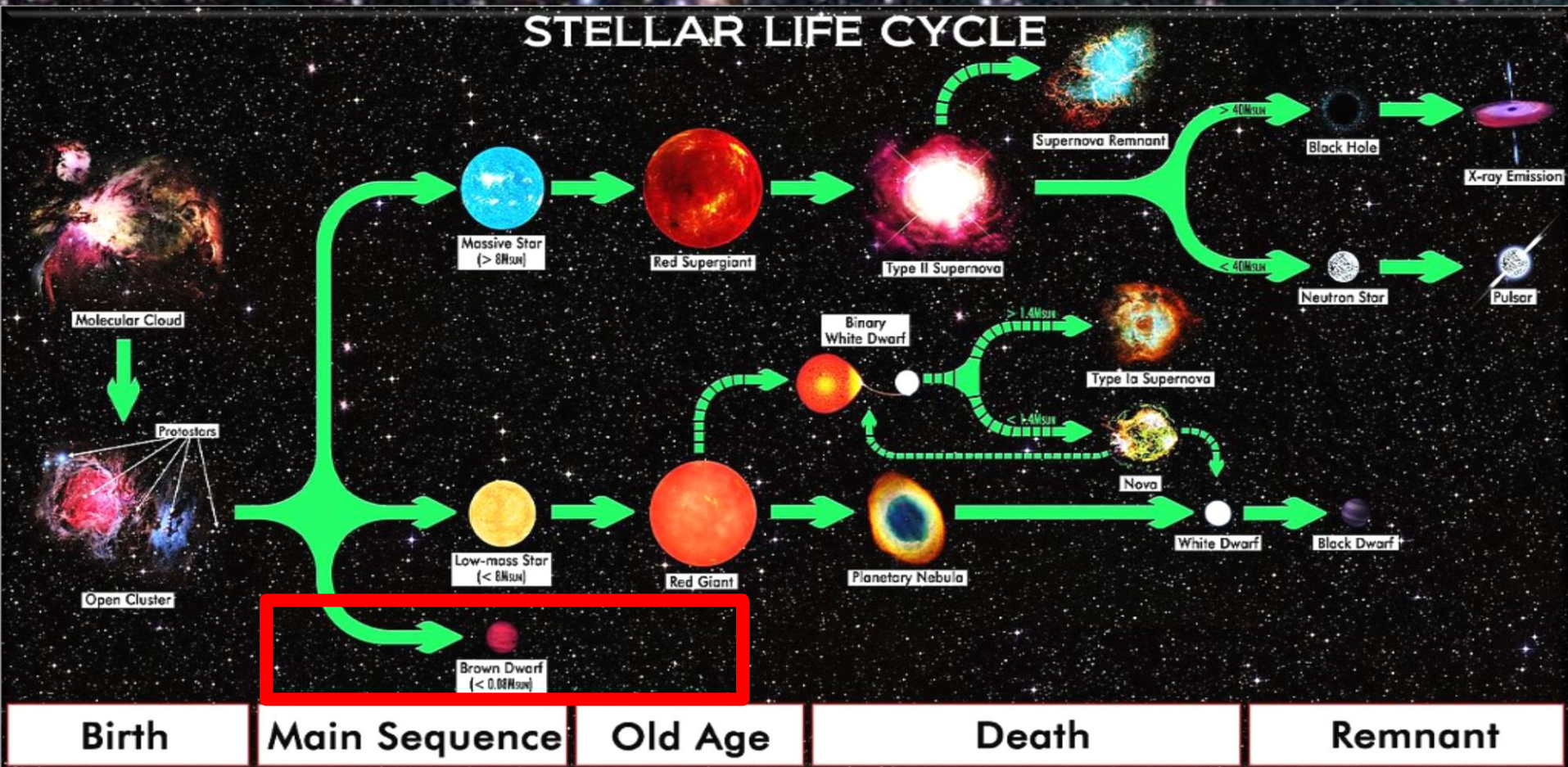
Old Age

Death

Remnant



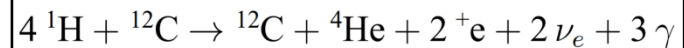
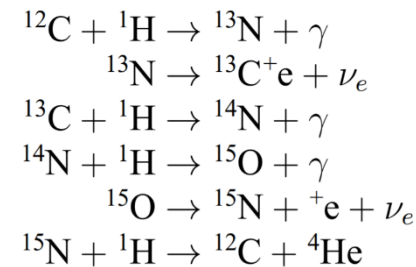
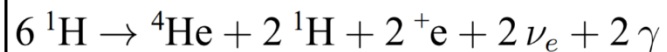
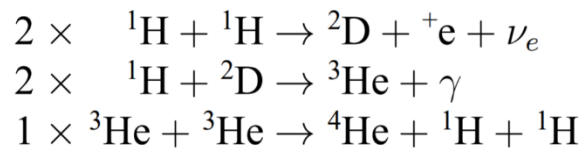
# A csillagok élete



# A csillagok élete

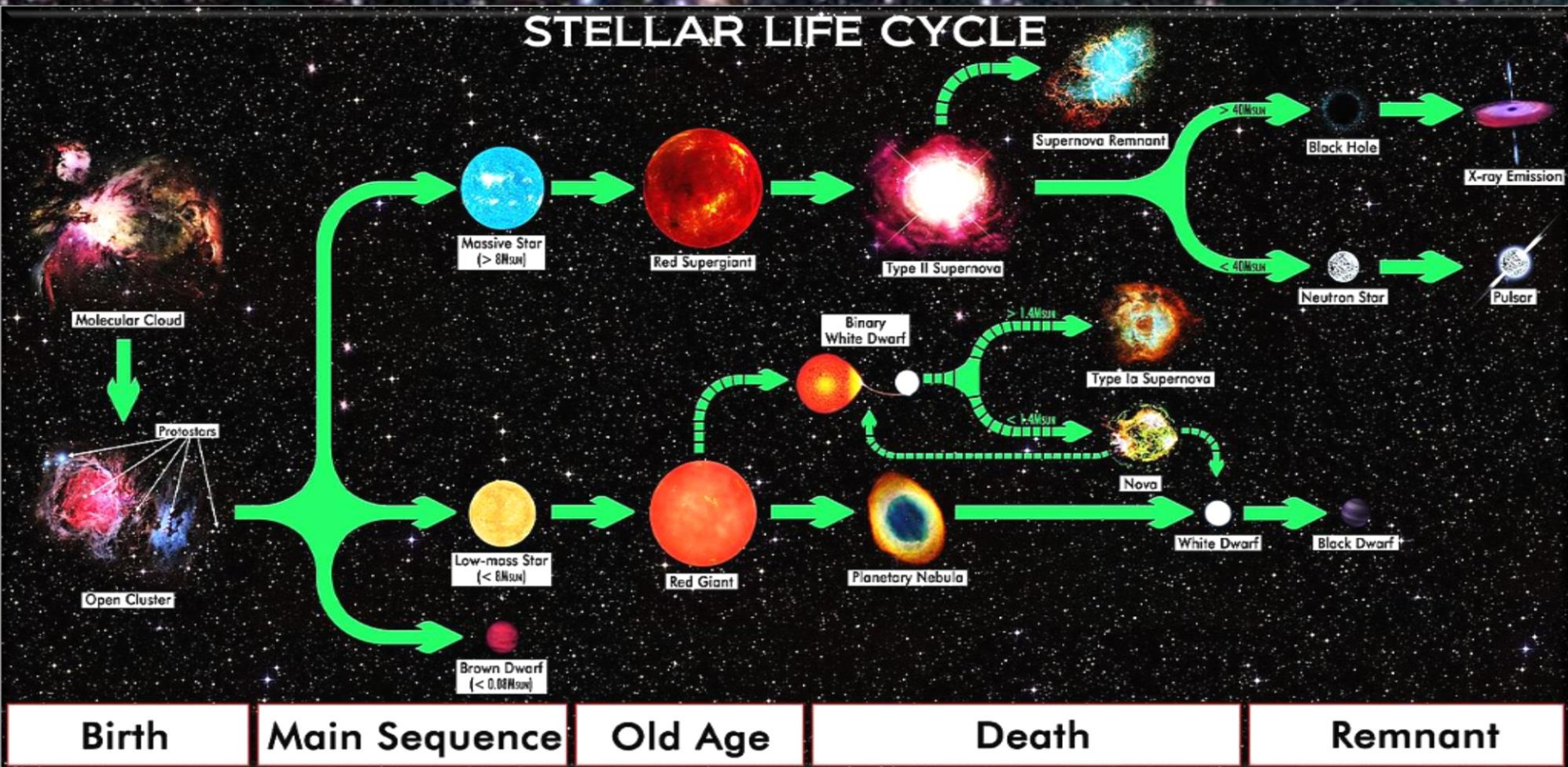
A tömegük (általában) predesztinálja a sorsukat.

- barna törpe ( $13-90 \cdot M_J$  ;  $0.02-0.08 \cdot M_\odot$ )
  - ◆ deutérium fúzió
- vörös törpe (és narancs törpe):  $0.08-(0.5)-0.8 \cdot M_\odot$ 
  - ◆ becslések szerint csillagok kb.  $\frac{3}{4}$ -e
  - ◆ főszorozaton 5000 milliárd-20 milliárd év
  - ◆ H-fúzió (pp-lánc [ $\alpha T^4$ ], CNO-ciklus [ $\alpha T^{20}$ ])

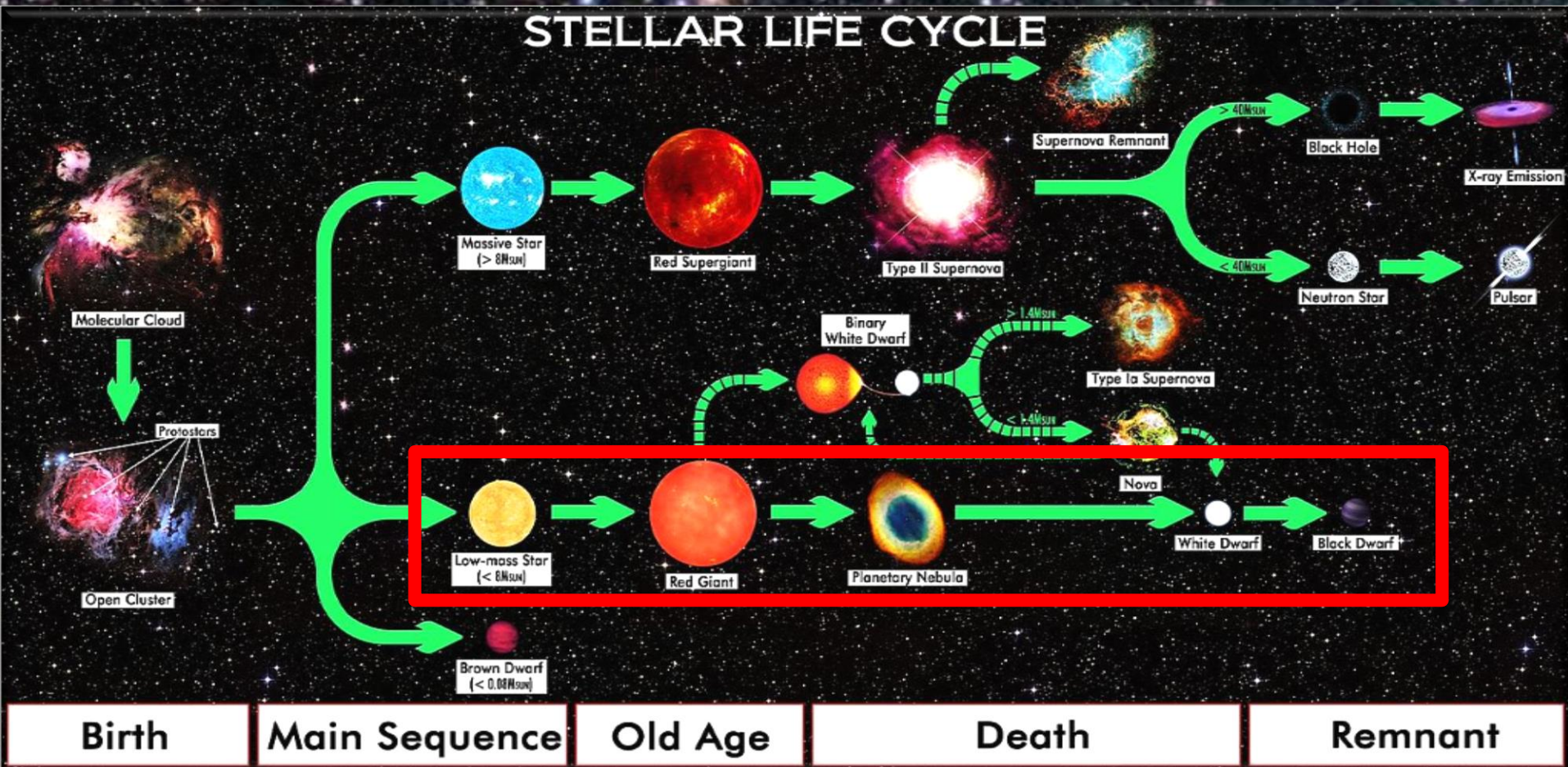


- ◆ H „elfogy” → fúzió megáll →
- ◆ → mag hőmérséklete és sugárnyomás csökken →
- ◆ → gravitáció összébb húz → nyomás, hőmérséklet nő

# A csillagok élete

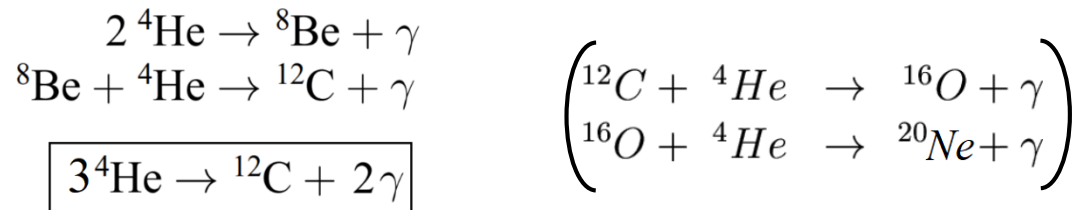


# A csillagok élete



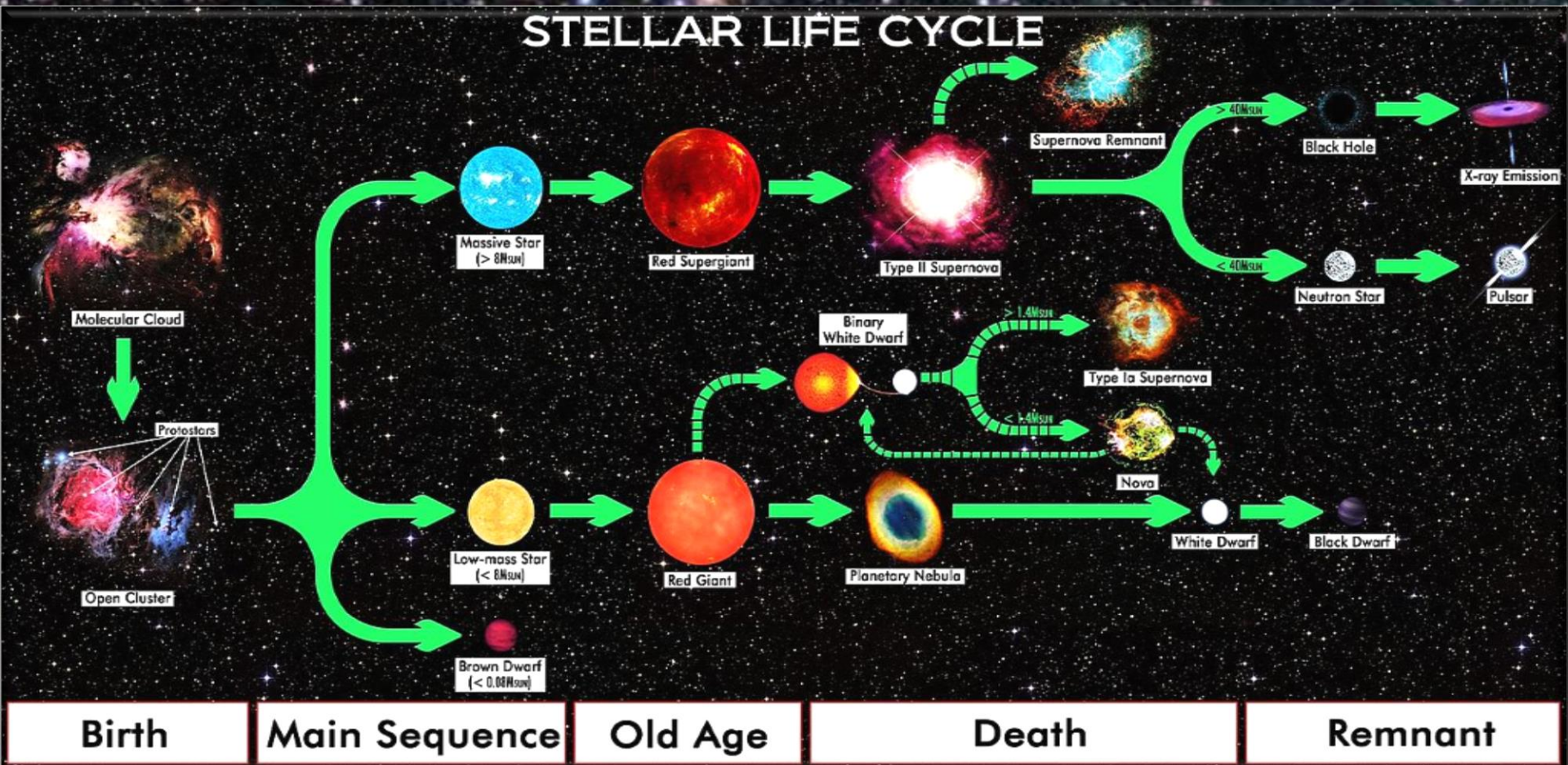
# A csillagok élete

- egyéb normál csillag ( $0.08-8 \cdot M_{\odot}$ )
  - ◆ [pl. Nap hőm.:  $15 \rightarrow 100$  millió K]
  - ◆ beindul a He-fúziója szénre (tripla alfa folyamat [ $\alpha T^{41}$ ]), és kicsi más is

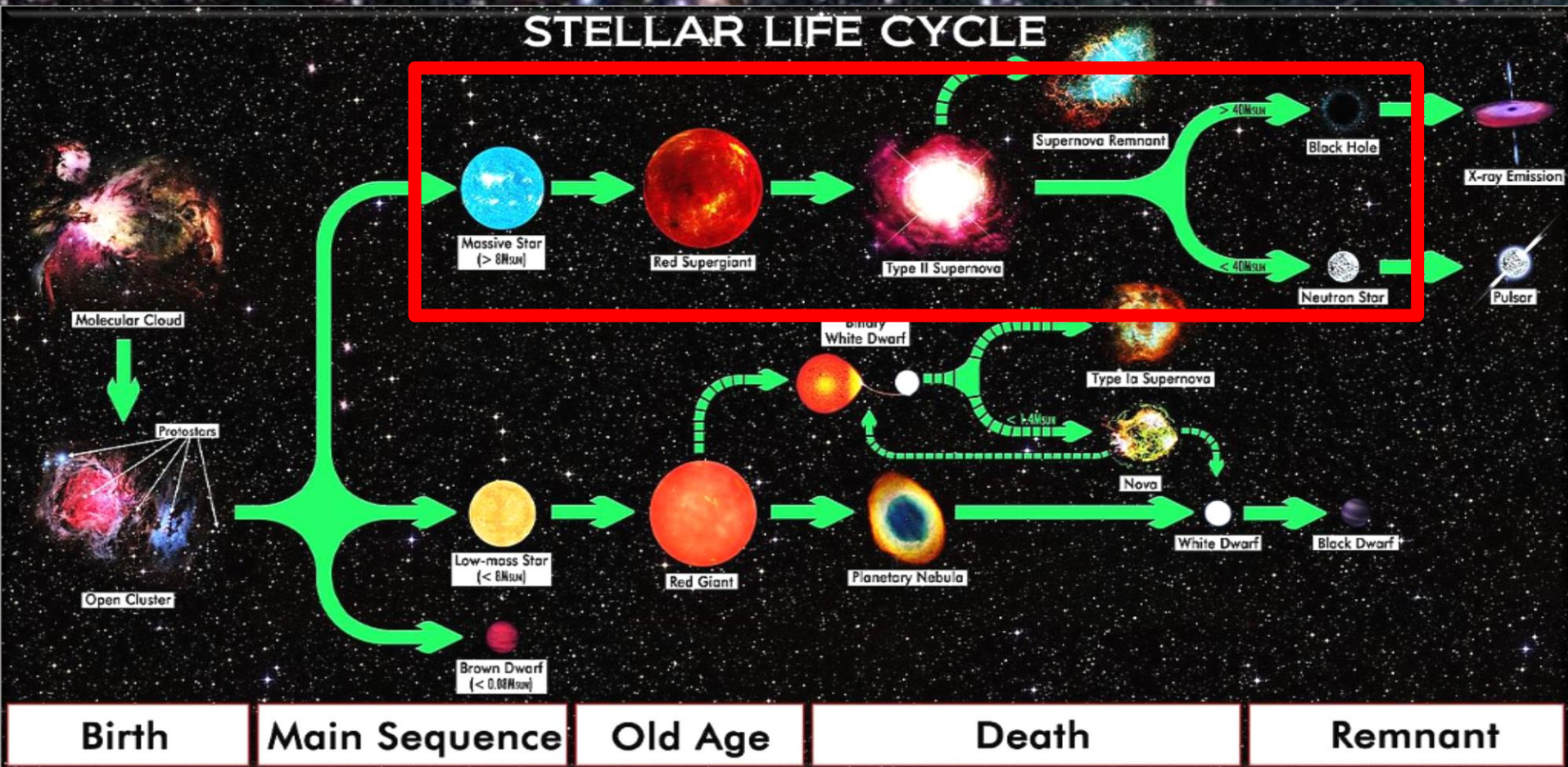


- ◆ [Nap: kb. 2 milliárd év]
- ◆  $\rightarrow$  nagy hőmennyiség, sok kiáramló foton  $\rightarrow$
- ◆  $\rightarrow$  a csillag külseje felfúvódik  $\rightarrow$
- ◆  $\rightarrow$  távolodó rétegek lehűlnek  $\rightarrow$  vörös óriás
- ◆ külső rétegek visszaszállnak
- ◆ He-fúzió vége  $\rightarrow$  újabb összeroskadás  $\rightarrow$
- ◆  $\rightarrow$  adiabatikus felmelegedés  $\rightarrow$  sok távozó foton  $\rightarrow$
- ◆  $\rightarrow$  külső rétegek kb. 95%-a lerepül  $\rightarrow$
- ◆  $\rightarrow$  szén-oxigén mag marad vissza  $\rightarrow$  fehér törpe

# A csillagok élete

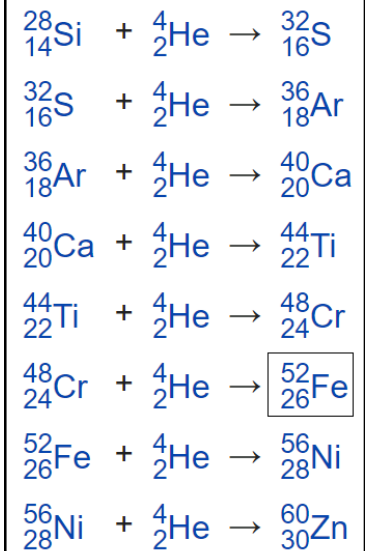
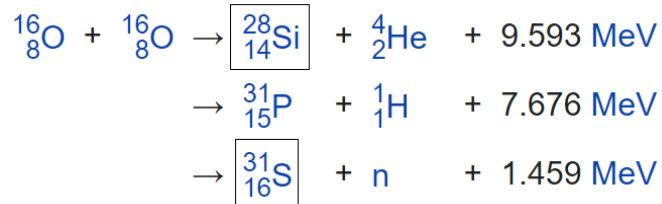
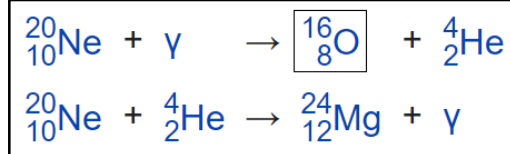
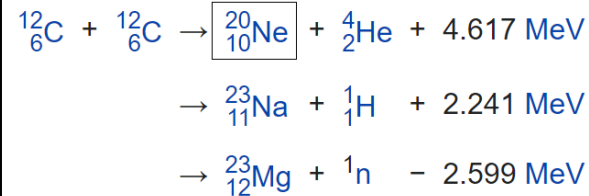
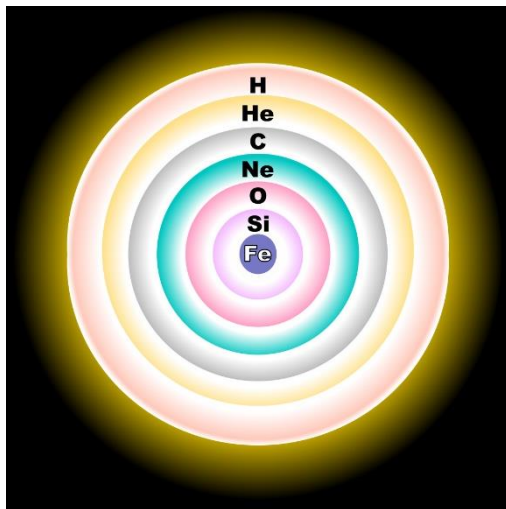


# A csillagok élete



# A csillagok élete

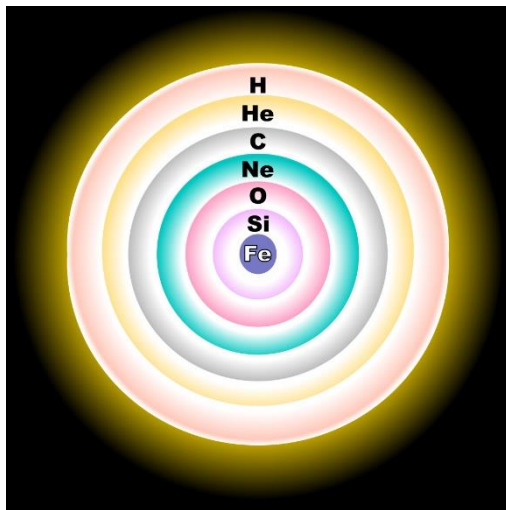
- nehéz csillag ( $8-100 \cdot M_{\odot}$ )
  - ◆ főágon 55 millió év - 100 ezer év
  - ◆ gravitáció visszahúzza a lerepülő külső rétegeket
  - ◆ magasabb hőmérséklet → C fúziója (évszázadok)
  - ◆ → Ne fúziója (évek)
  - ◆ → O fúziója (hónapok)
  - ◆ → Si fúziója (napok)





# A csillagok élete

- nehéz csillag ( $8-100 \cdot M_{\odot}$ )
  - ◆ főágon 55 millió év - 100 ezer év
  - ◆ gravitáció visszahúzza a lerepülő külső rétegeket
  - ◆ magasabb hőmérséklet → C fúziója (évszázadok)
  - ◆ → Ne fúziója (évek)
  - ◆ → O fúziója (hónapok)
  - ◆ → Si fúziója (napok) → vasmag



- ◆ energianyelő folyamatok indulnak be, de mind „csődöt mond”
- ◆ a hőmérséklet és nyomás tovább nő
- ◆ a vasmag összeomlik egy (kb.  $10^6$  K felszíni hőm.) neutroncsillaggá, ami egy bizonyos magméret fölött feketelyukká esik össze
- ◆ a keletkező lökéshullám ledobja a felhevülő külső gázrétegeket → szupernóva



# Szupernóvák osztályozása és jelenségei

# A szupernóvák típusai

Minkowski – Zwicky-osztályozás: abszorpciós spektrum szerint

## I-es típusú szupernóvák

- Ia osztály
  - ◆ általában H-ben gazdag színekép
  - ◆ előfordulásuk:
    - Kettőscsillagok (pl. fehér törpe – vörös óriás)



# A szupernóvák típusai

Minkowski – Zwicky-osztályozás: abszorpciós spektrum szerint

## I-es típusú szupernóvák

- Ia osztály
  - ◆ általában H-ben gazdag színekép
  - ◆ előfordulásuk:
    - Kettőscsillagok (pl. fehér törpe – vörös óriás)
  - ◆ fehér törpe: összepréselt, forró szénmag
  - ◆ elektrongáz nyomása tart ellen a gravitációnak
  - ◆ ha anyag kerül rá, csökken a sugara
    - Chandrasekhar-határ:  $M_{\text{ch}} = 1.4 \cdot M_{\odot}$
    - ezt a tömeget elérve felrobban
    - neutroncsillag keletkezik
  - ◆ a sok hidrogén a színeképben a vörös óriástól származik
  - ◆ kozmikus gyertya

# A szupernóvák típusai

Minkowski – Zwicky-osztályozás: abszorpciós spektrum szerint

## I-es típusú szupernóvák

- Ib és Ic alosztály (Ibc)

- ◆ kialakulásuk:

- $25 \cdot M_{\odot}$ -nél nagyobb tömegű csillagok (Wolf – Rayet)
- elvesztették a legkülső burkukat csillagszél vagy kísérő csillag miatt

- Ib: H-burkot

- Ic: H és He burok nagy részét

- ◆ magösszeomlással keletkeznek

# A szupernóvák típusai

Minkowski – Zwicky-osztályozás: abszorpciós spektrum szerint

## II-es típusú szupernóvák

- sok nehéz elem a színeképben
- szinte az összes vasnál nehezebb elem itt keletkezik
- masszív csillagok magösszeomlásakor történik
  - ◆ A vasmag határán megszűnt a fúzió
  - ◆ kívülről még jön be energia, a mag melegszik, de újabb energiatermelő reakció nem indul be, helyette energiafogyasztó reakciók [!]
  - ◆ elindul felfelé a „nukleáris lejtőn”, nehezebb magok keletkeznek
  - ◆ központban energiaforrás: gravitáció, és a külső héjak fúziója
  - ◆ magok kötési energiájába beépül, raktározódik
  - ◆ a vasmag fotodisszociációja:  $k_B T > E_0$



# A szupernóvák típusai

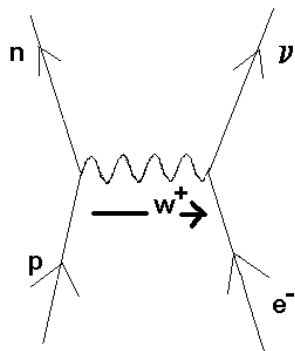
Minkowski – Zwicky-osztályozás: abszorpciós spektrum szerint

## II-es típusú szupernóvák

- ◆ hőmérséklet kb. állandó, amíg van Fe a magban [analógia!]
- ◆ a csillag tovább sűrűsödik, már szinte csak  $\alpha$ -részecskék
- ◆ újabb disszociációs hőmérséklet elérése  $\rightarrow$

$\rightarrow$  széthullás protonokra és neutronokra  $\rightarrow$

- ◆ endoterm folyamat, addig kb. állandó a maghőmérséklet
- ◆ a magban kb. csak protonok és neutronok
- ◆ az extrém nagy nyomáson megnő a gyenge kölcsönhatás valószínűsége  $\rightarrow$  elektronbefogás



Electron Capture

- ◆ hirtelen nagy mennyiségű neutrínó szabadul ki  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  sok energiát szállít ki a forró plazmából  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$  melegedés lassul, de folytatódik

# A szupernóvák típusai

Minkowski – Zwicky-osztályozás: abszorpciós spektrum szerint

## II-es típusú szupernóvák

- ◆ a neutrínók közepes szabad úthossza csökken →  
(40 milliárd K-nél már csak kb. 100 m)
- ◆ → a befelé hulló anyag szinte falként ütközik neki, és átveszi az impulzust
- ◆ kifelé lökéshullám indul → felhevül az összesűrűsödő gáz →
- ◆ → héjakban megélénkül a fúzió →
- ◆ → újabb lökéshullám befelé és kifelé
- ◆ magból neutroncsillag vagy feketelyuk
- ◆ tűzgyűrű
- ◆ egyes vasnál nehezebb elemek is keletkeznek ilyenkor





# Tartalmi források

1. Dávid Gyula: Szupernova, avagy a felrobbanó hűtőgép (Atomcsill, 2013.09.19.)
2. Balog Dániel: Bevezetés az asztrofizikába (2011. őszi előadásjegyzet)
3. [https://www.astro.ru.nl/~onnop/education/stev\\_utrecht\\_notes/chapter12-13.pdf](https://www.astro.ru.nl/~onnop/education/stev_utrecht_notes/chapter12-13.pdf)  
"Pre-supernova evolution of massive stars"
4. <https://www.youtube.com/watch?v=udFxKZRyQt4> "Neutron Stars"
5. Kocsis Bence: Csillagok keletkezése és halála (Bevezetés az asztrofizikába előadásjegyzet)
6. Robert Geller & Roger Freedman & William J. Kaufmann III - Universe (2019, W. H. Freeman)/Chapter 20: "Stellar Evolution: The Deaths of Stars"
7. <https://en.wikipedia.org/wiki/Star>
8. [https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_dwarf](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_dwarf)
9. [https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-burning\\_process](https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon-burning_process)
10. <http://burro.cwru.edu/academics/Astr221/StarPhys/nucleosynth.html>
11. [https://en.wikipedia.org/wiki/Type\\_Ib\\_and\\_Ic\\_supernovae](https://en.wikipedia.org/wiki/Type_Ib_and_Ic_supernovae)

# Vizuális források

1. By Carlos A. Bertulani - <http://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/8573>, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30623104>
2. By R.N. Bailey - Own work, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59672008>
3. By User:Rursus - R. J. Hall, CC BY 2.5, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2565862>
4. By cmglee, NASA Goddard Space Flight Center - Star life cycles red dwarf.jpgBlack hole's accretion disk blank.jpg, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=39174476>
5. <http://web.phys.ntnu.no/~mika/MS.pdf>
6. Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1004195>
7. [https://usm.maine.edu/sites/default/files/planet/Hertzprung-Russel\\_StarData.png](https://usm.maine.edu/sites/default/files/planet/Hertzprung-Russel_StarData.png)
8. By Bdushaw - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=61302796>
9. <https://www.youtube.com/watch?v=5YZkAoR3WLE>
10. By Lithopsian - OOCalc chart, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19759805>
11. <https://www.ias.edu/ideas/2015/brandt-dating-the-earth>
12. [csillagaszat.hu](http://csillagaszat.hu)



Köszönöm a figyelmet!