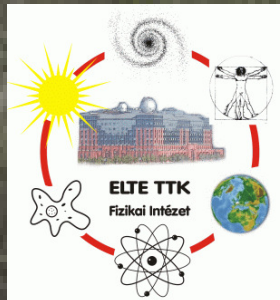


Szupernova

avagy a
felrobbanó
hűtőgép

(a csillagok
termodinamikája 3.)



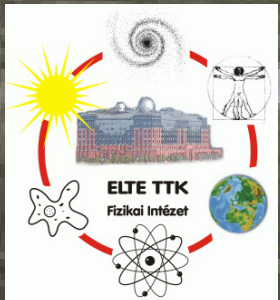
Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2013. 09. 19.

Szupernova avagy a felrobbanó hűtőgép

(a csillagok
termodinamikája 3.)

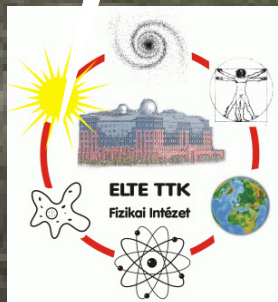


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2013. 09. 19.

Szupernova avagy a felrobbanó hűtőgép

(a csillagok
termodinamikája 3.)

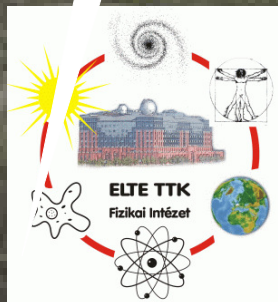


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2013. 09. 19.

Szupernova avagy a felrobbanó hűtőgép

(a csillagok
termodinamikája 3.)

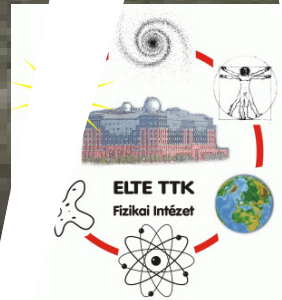


Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2013. 09. 19.

Szupernova avagy a felrobbanó hűtőgép

(a csillagok
termodinamikája 3.)



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2013. 09. 19.

Szupernova

**avagy a
felrobbanó
hűtőgép**

**(a csillagok
termodinamikája 3.)**



Az atomoktól a csillagokig

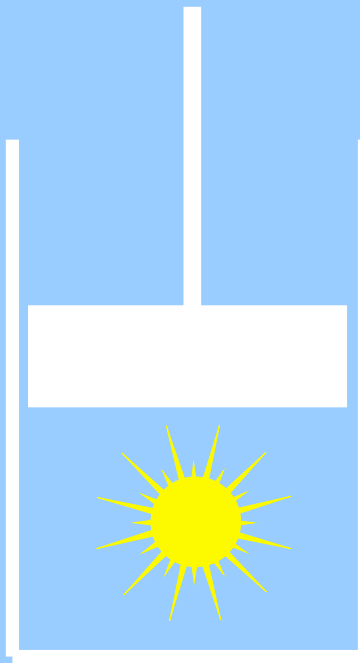
Dávid Gyula

2013. 09. 19.

A csillagok termodinamikája 3.



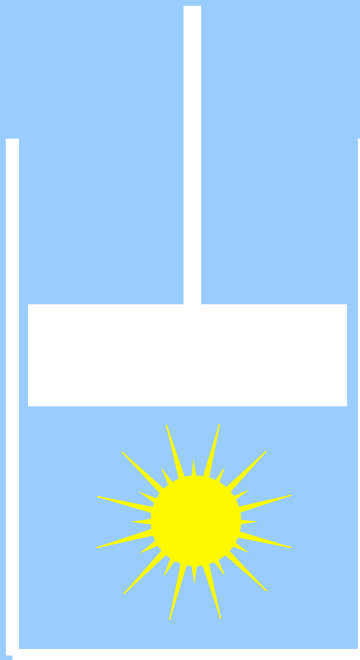
A csillagok termodinamikája 3.



A csillagok termodinamikája 3.

A termodinamika tudománya nem merül ki az ideális gáz állapotegyenletének napi ötszöri felírásában és átrendezésében.

(Sir James Clark Maxwell)



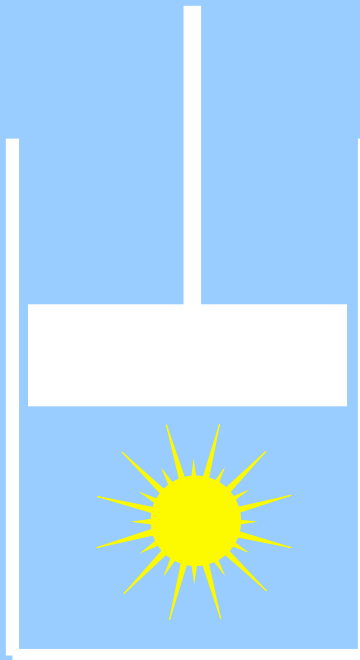
A csillagok termodinamikája 3.

A termodinamika tudománya nem merül ki az ideális gáz állapotegyenletének napi ötszöri felírásában és átrendezésében.

(Sir James Clark Maxwell)

Friss, csodálkozó szemmel nézni a leghétköznapibb dolgokra – ez a gyermekek és az igazi tudósok kiváltsága.

(Albert Einstein)



A csillagok termodinamikája 3.

A termodinamika tudománya nem merül ki az ideális gáz állapotegyenletének napi ötszöri felírásában és átrendezésében.

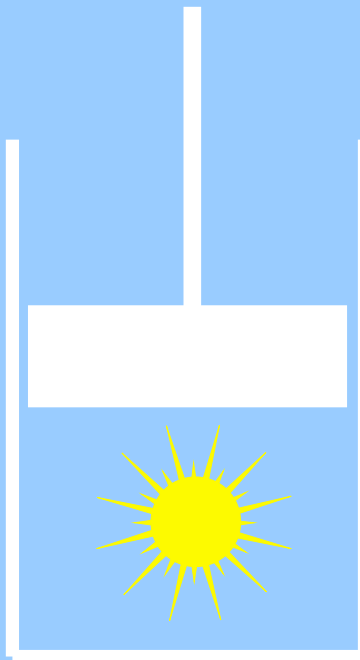
(Sir James Clark Maxwell)

Friss, csodálkozó szemmel nézni a leghétköznapibb dolgokra – ez a gyermekek és az igazi tudósok kiváltsága.

(Albert Einstein)

Most már épp eleget tudunk a fizikából ahhoz, hogy megérthessünk egy olyan egyszerű dolgot, mint egy csillag.

(Sir Arthur S. Eddington)



Előzmények:

A kvarkoktól az atomerőműig – kirándulás a nukleáris völgybe

Atomcsill 2011. szeptember 29.

A lehűléstől forrósodó téglá

Atomcsill 2012. január 19.

Hamuval fűteni

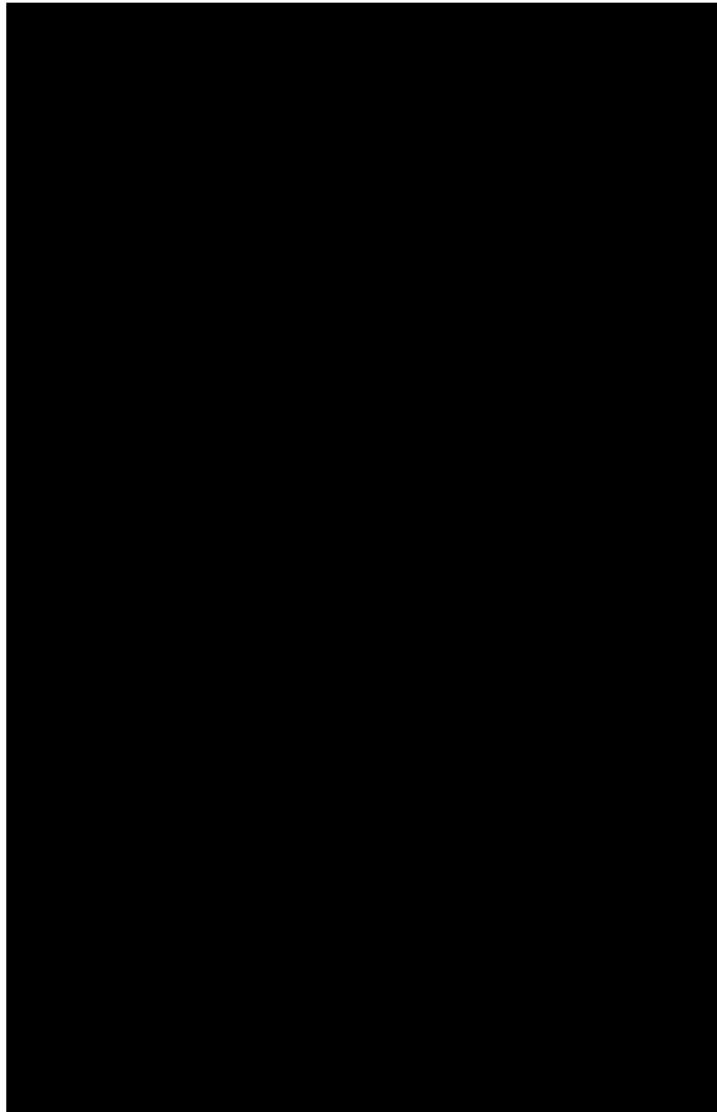
Atomcsill 2013. január 10.



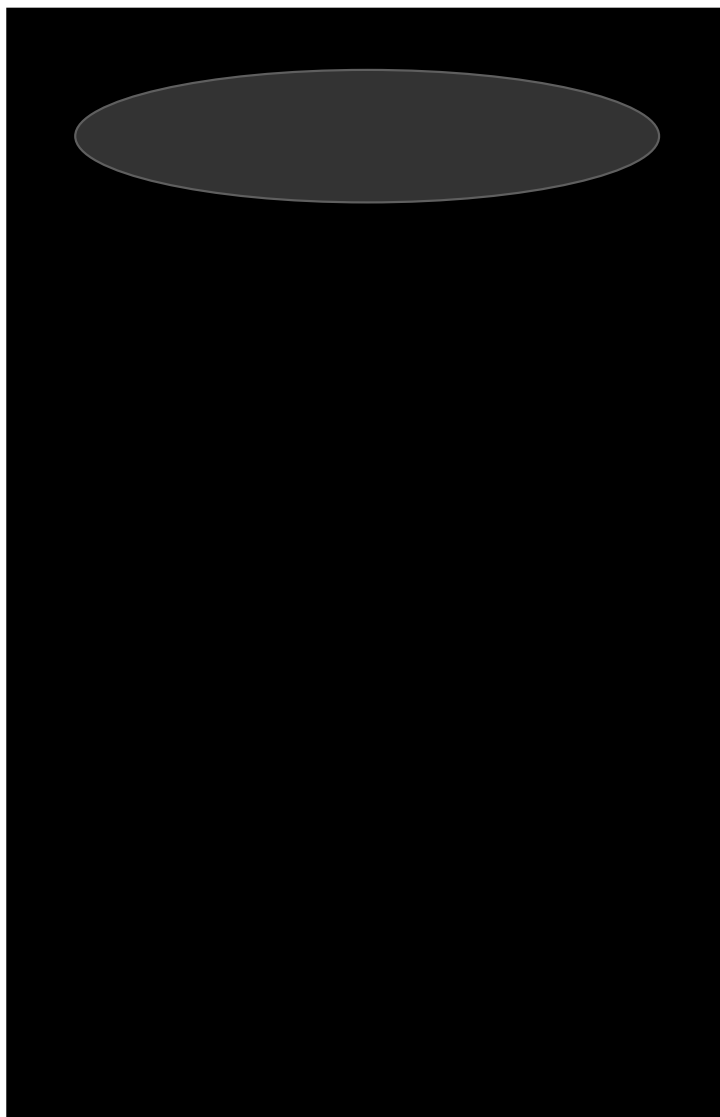
A csillag keletkezése



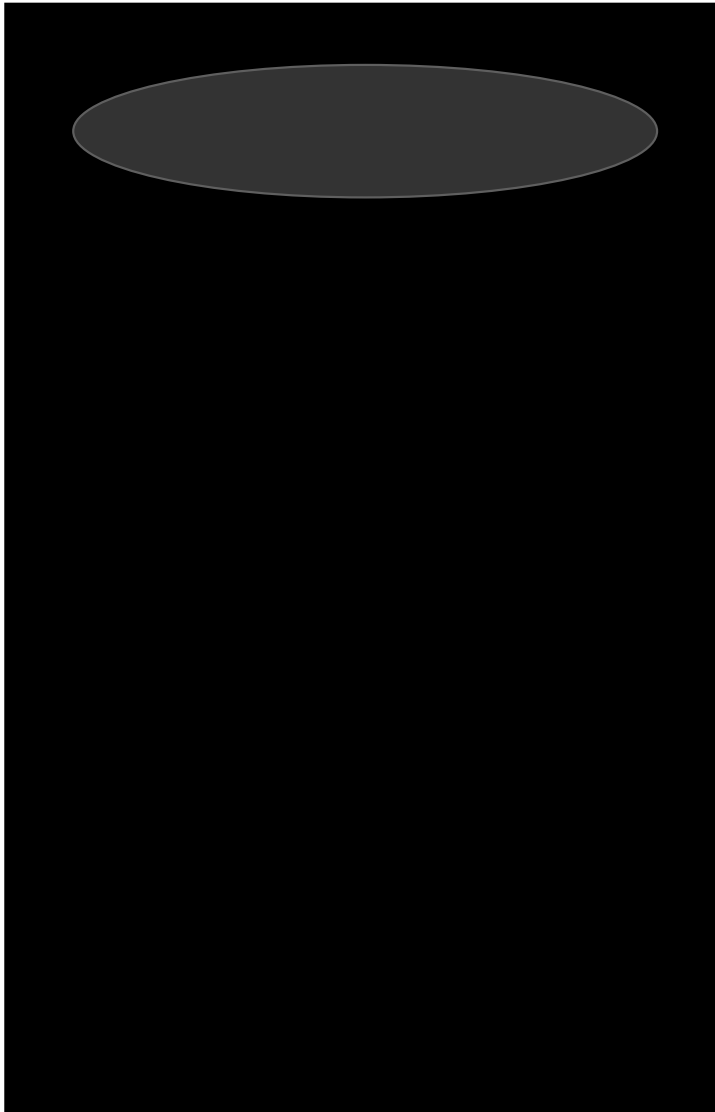
A csillag keletkezése



A csillag keletkezése

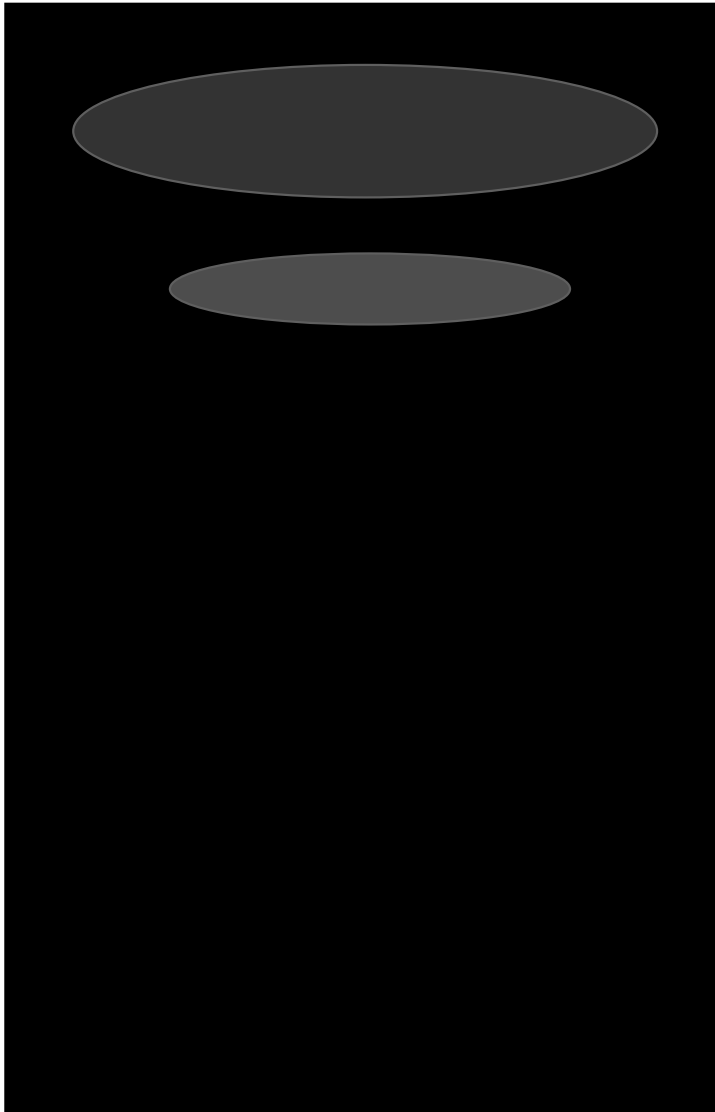


A csillag keletkezése



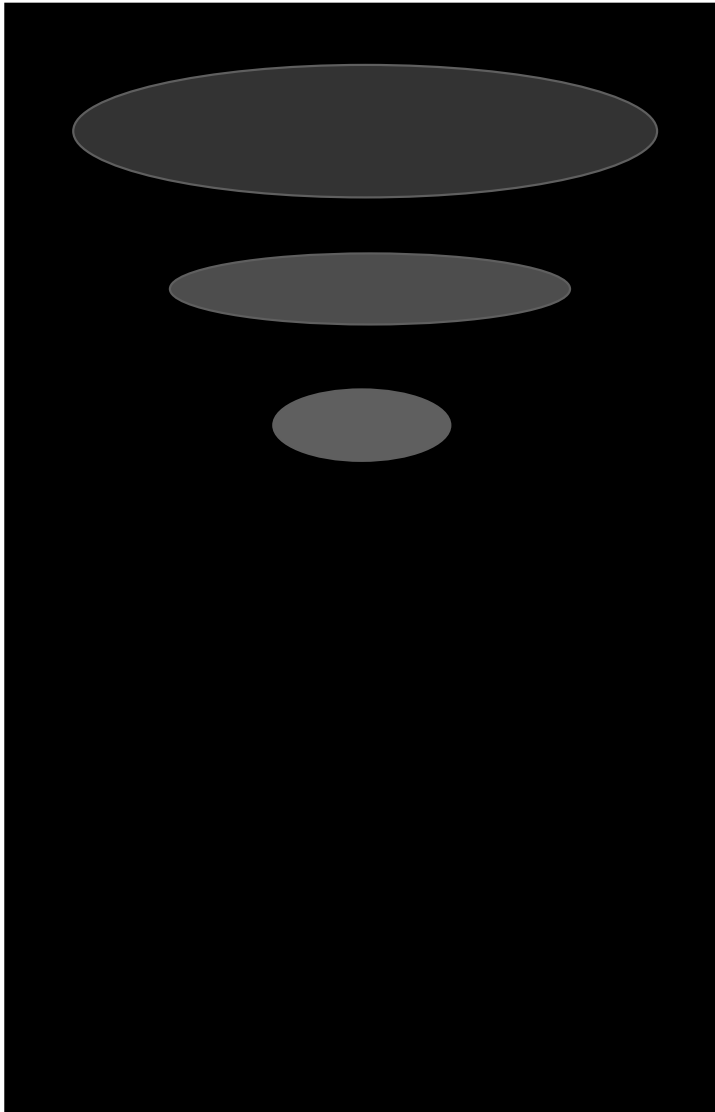
hideg, ritka
gázfelhő

A csillag keletkezése



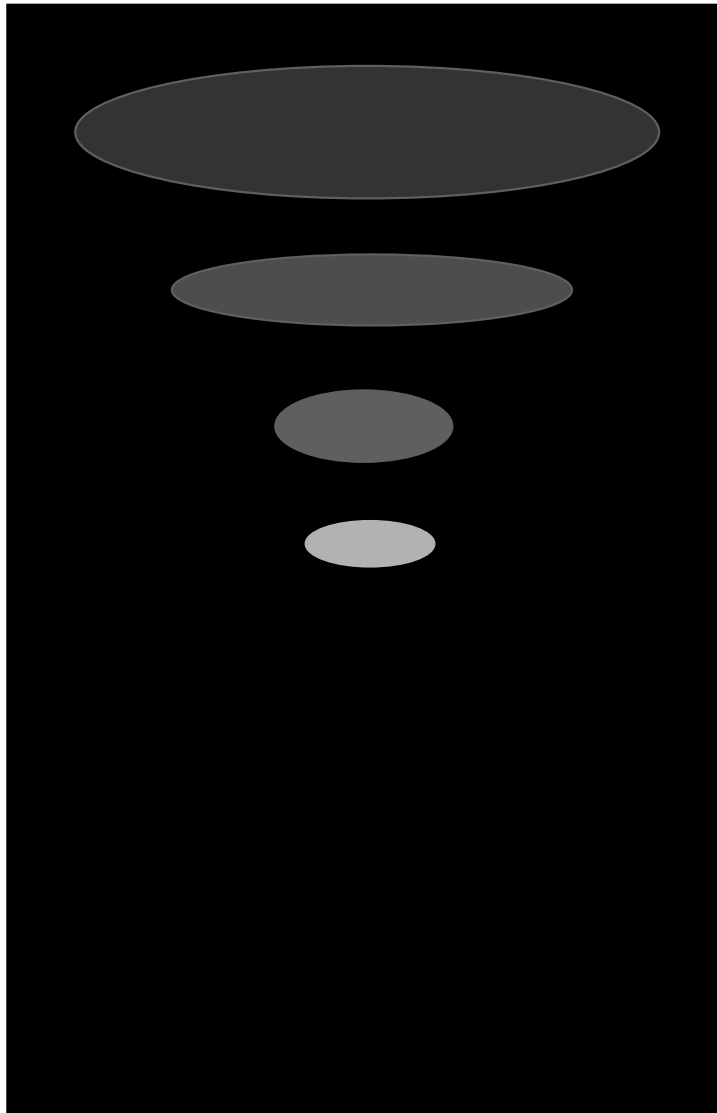
hideg, ritka
gázfelhő

A csillag keletkezése



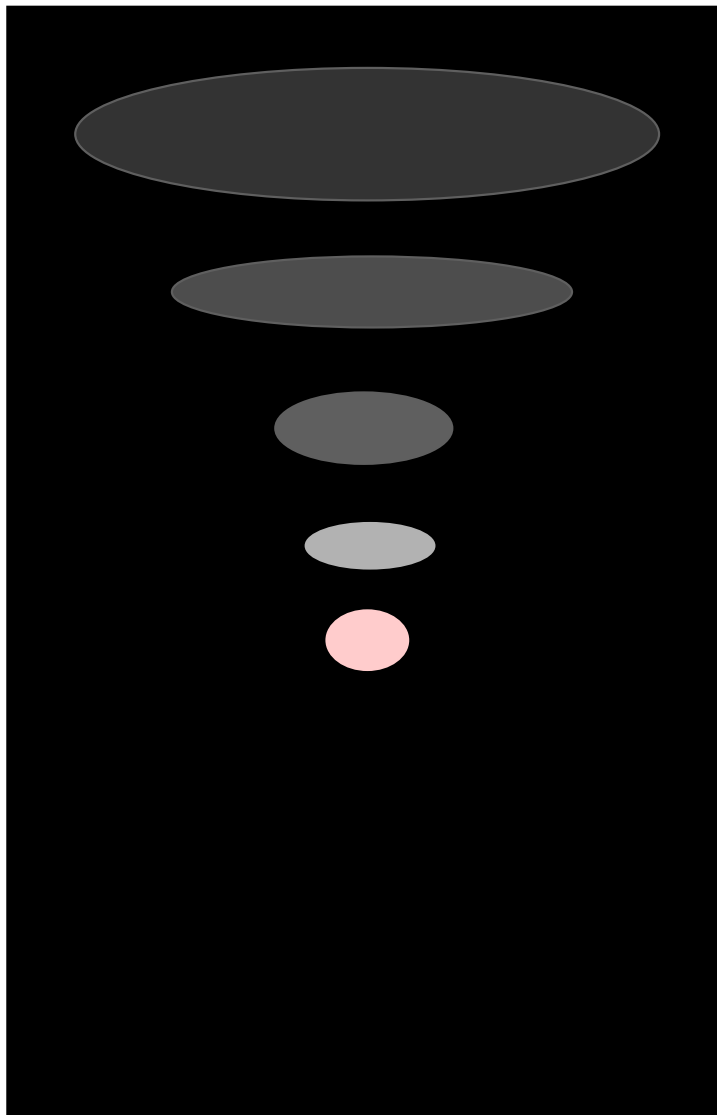
hideg, ritka
gázfelhő

A csillag keletkezése



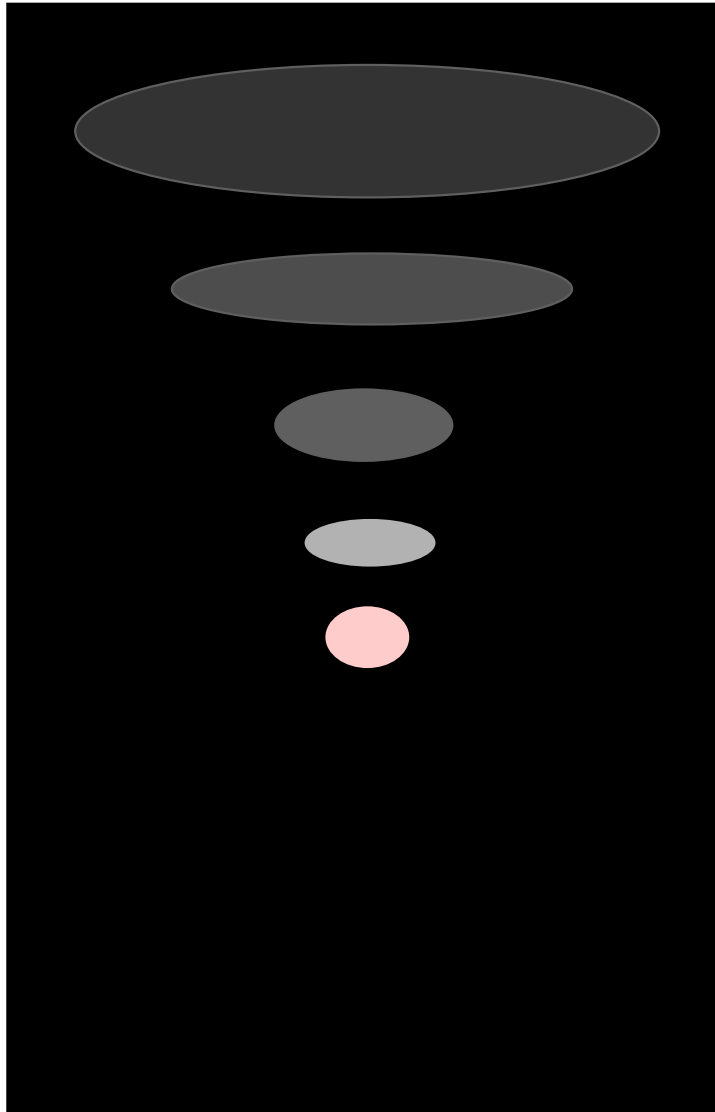
hideg, ritka
gázfelhő

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő

A csillag keletkezése

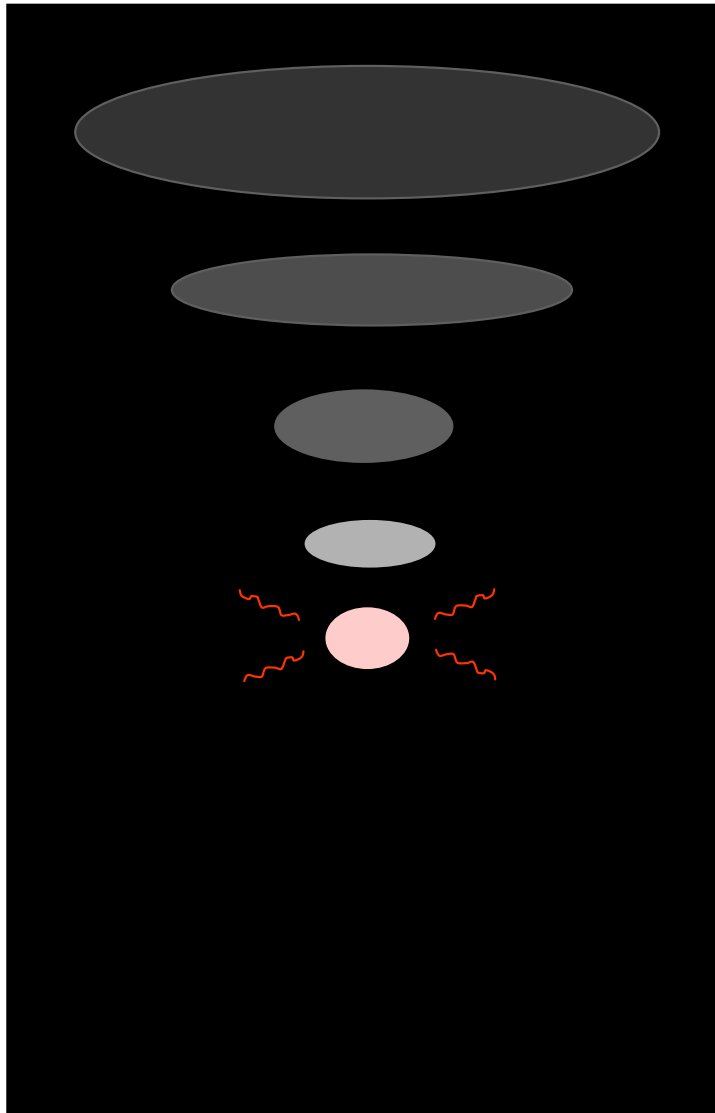


hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő

A csillag keletkezése

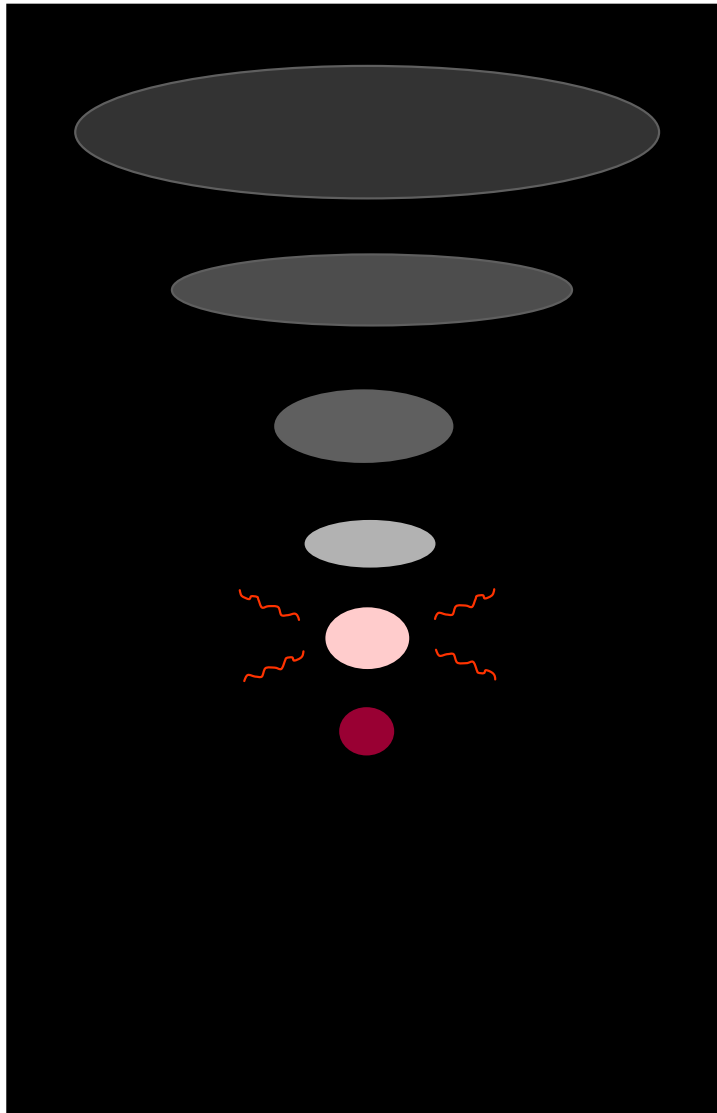


hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő

A csillag keletkezése

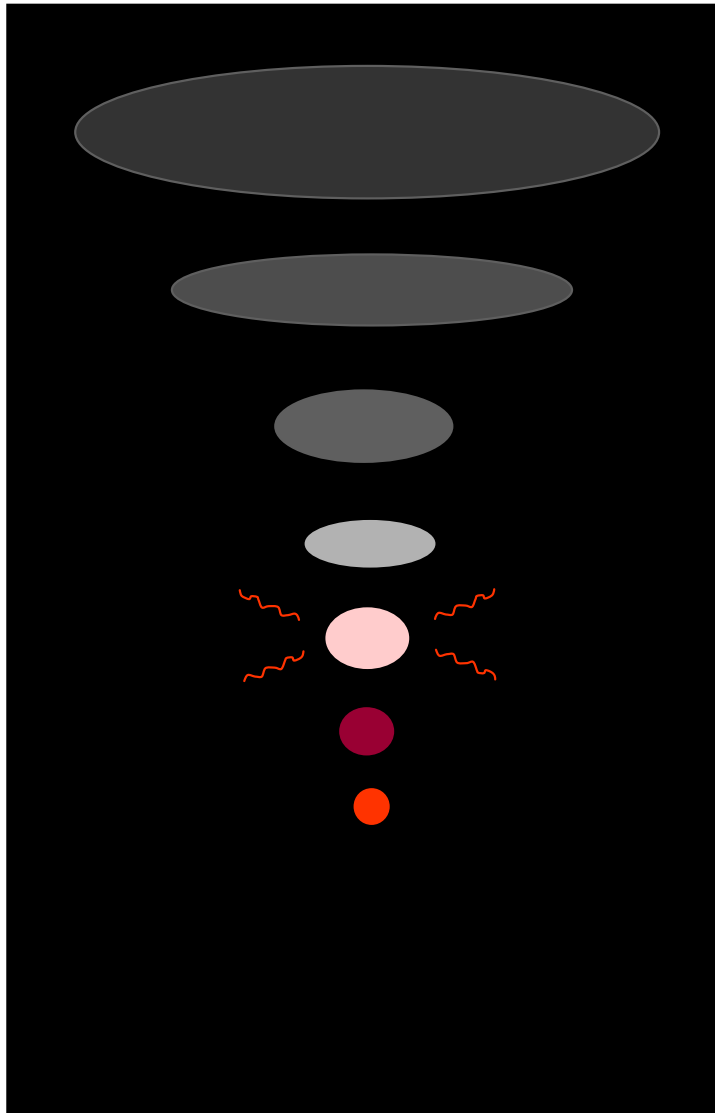


hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő

A csillag keletkezése

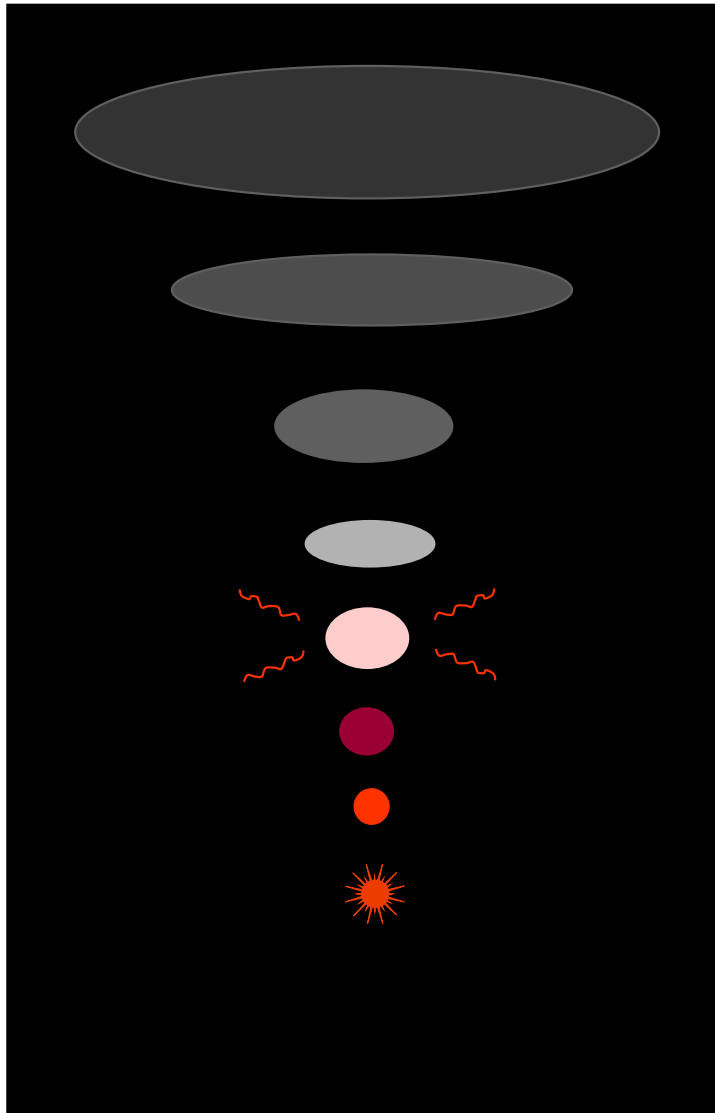


hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő

A csillag keletkezése

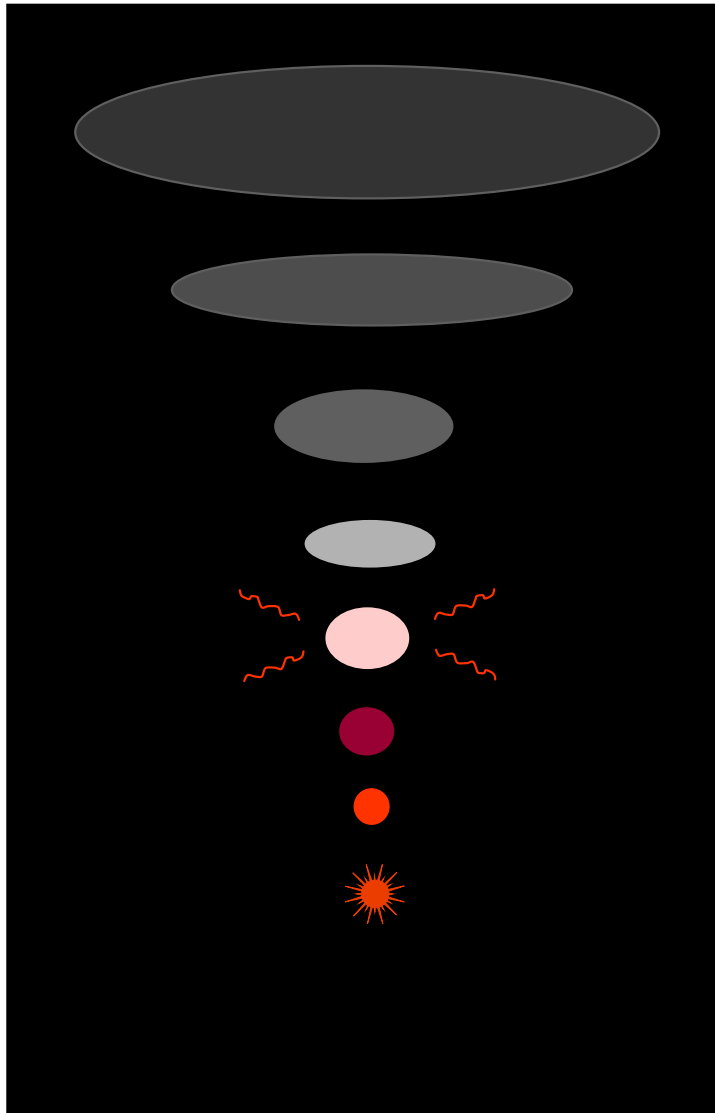


hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő

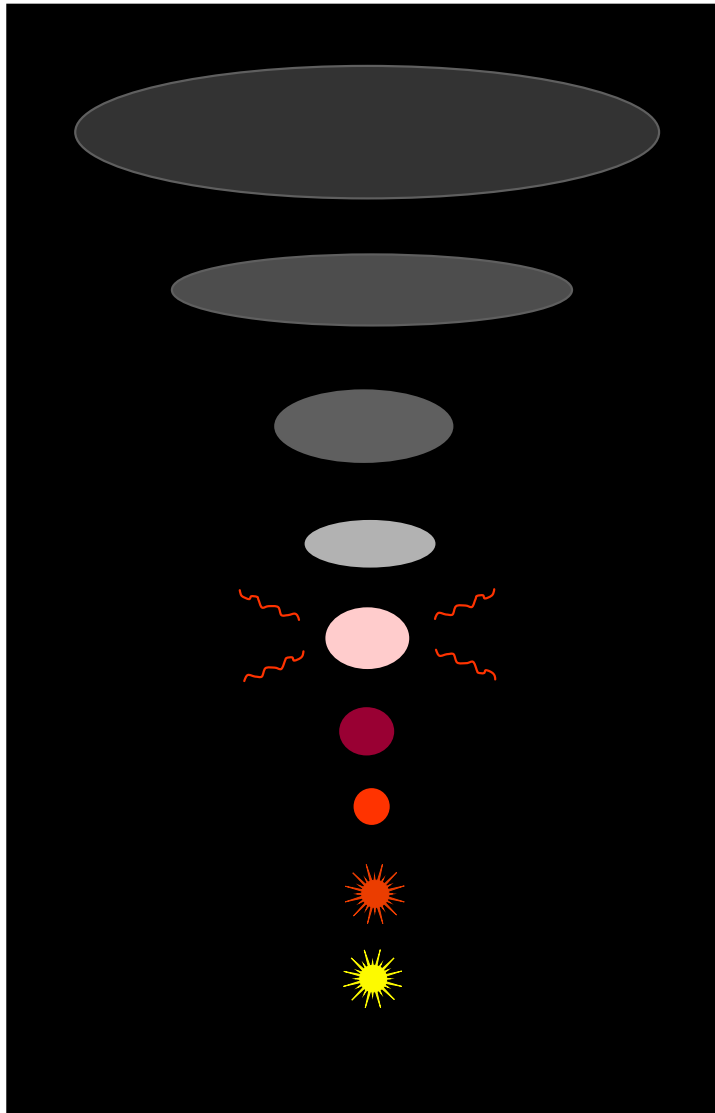


langyos,
sűrűbb
gázfelhő

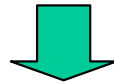


protocsillag

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő

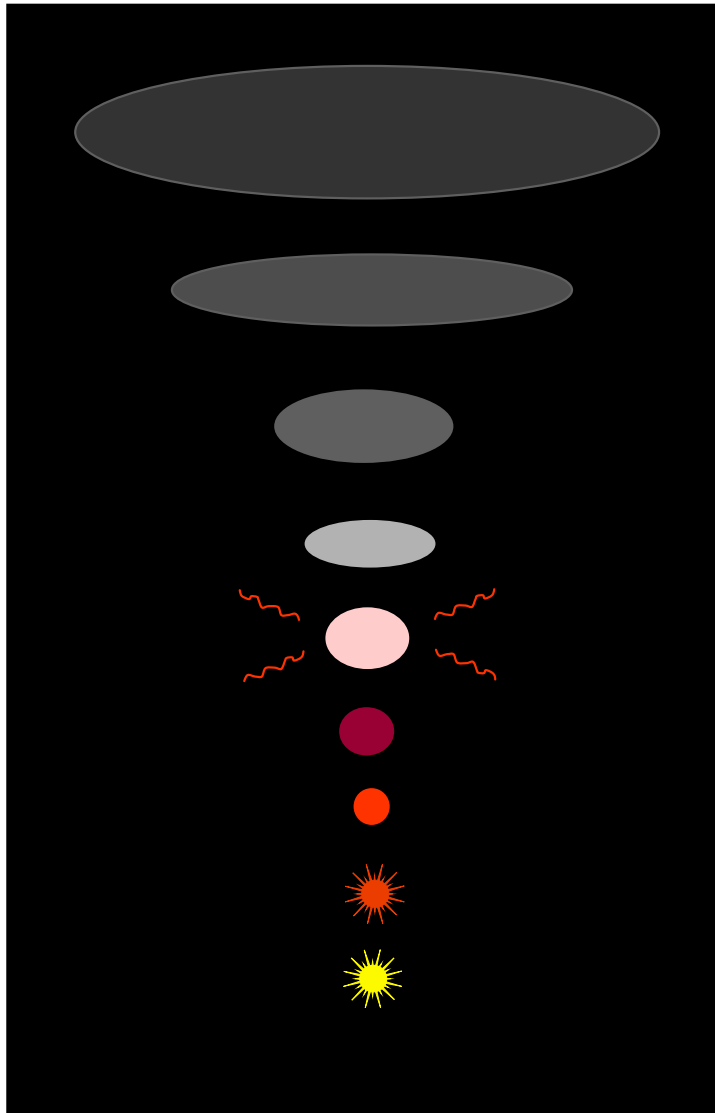


langyos,
sűrűbb
gázfelhő



protocsillag

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő

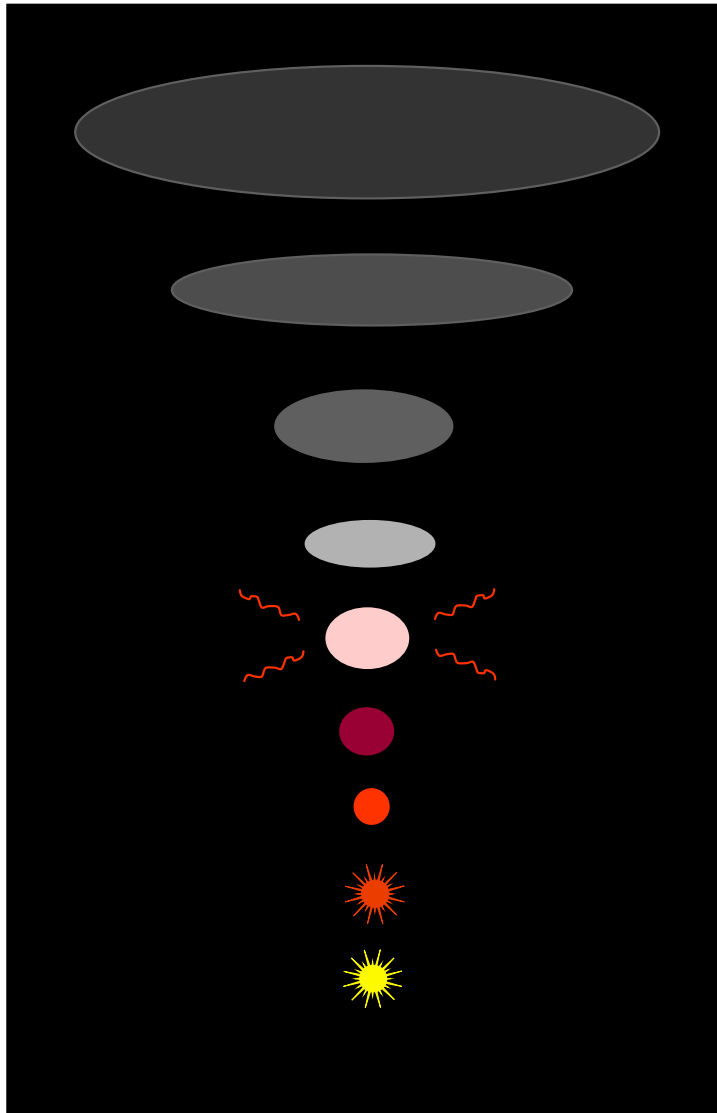


protocsillag



forró,
sűrű
csillag

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



langyos,
sűrűbb
gázfelhő



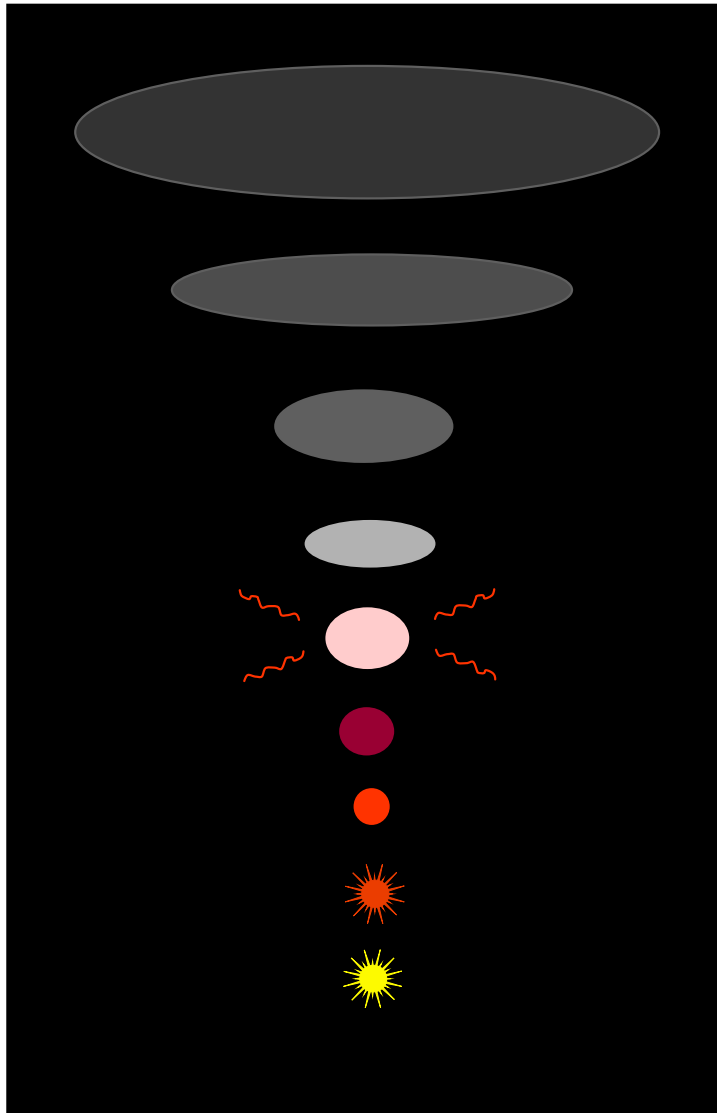
protocsillag



forró,
sűrű
csillag

A csillag élete a fősorozaton

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



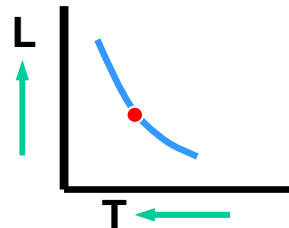
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



protocsillag

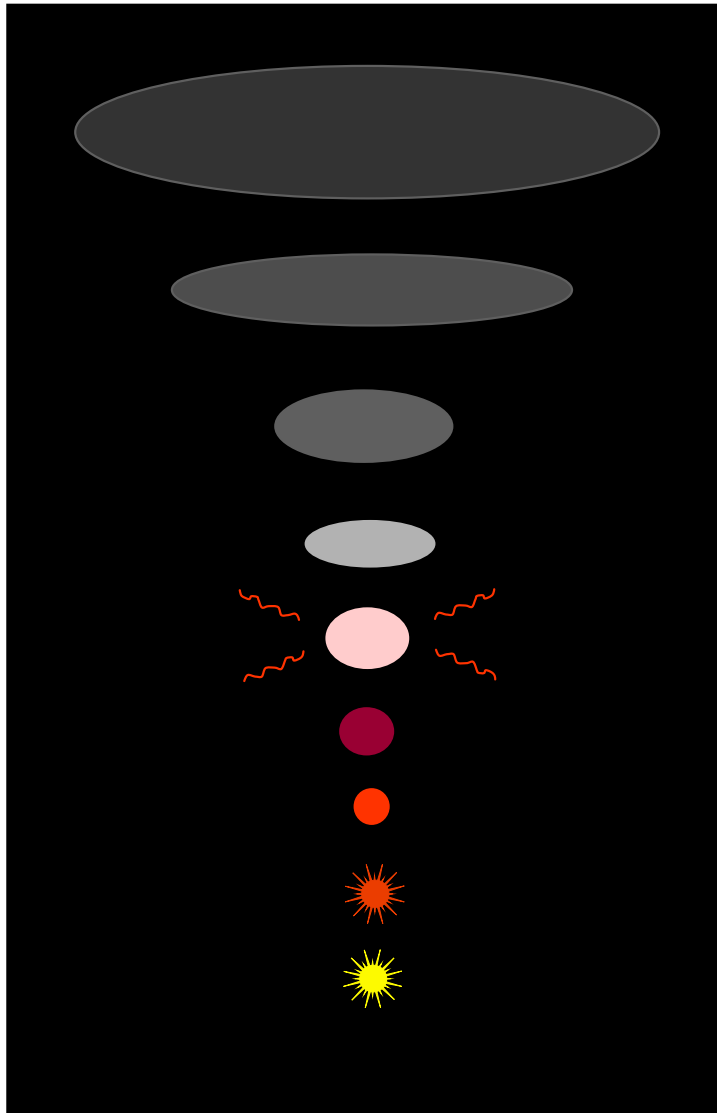


forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton

A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



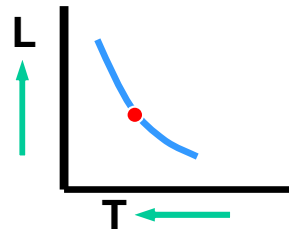
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



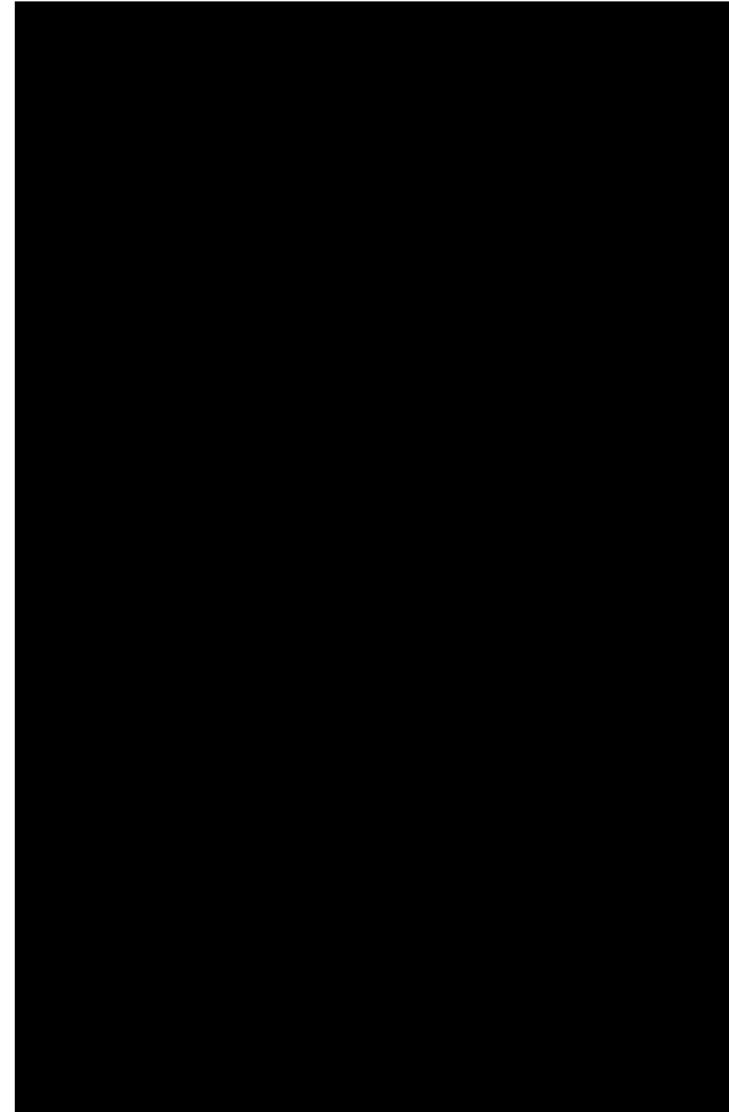
protocsillag



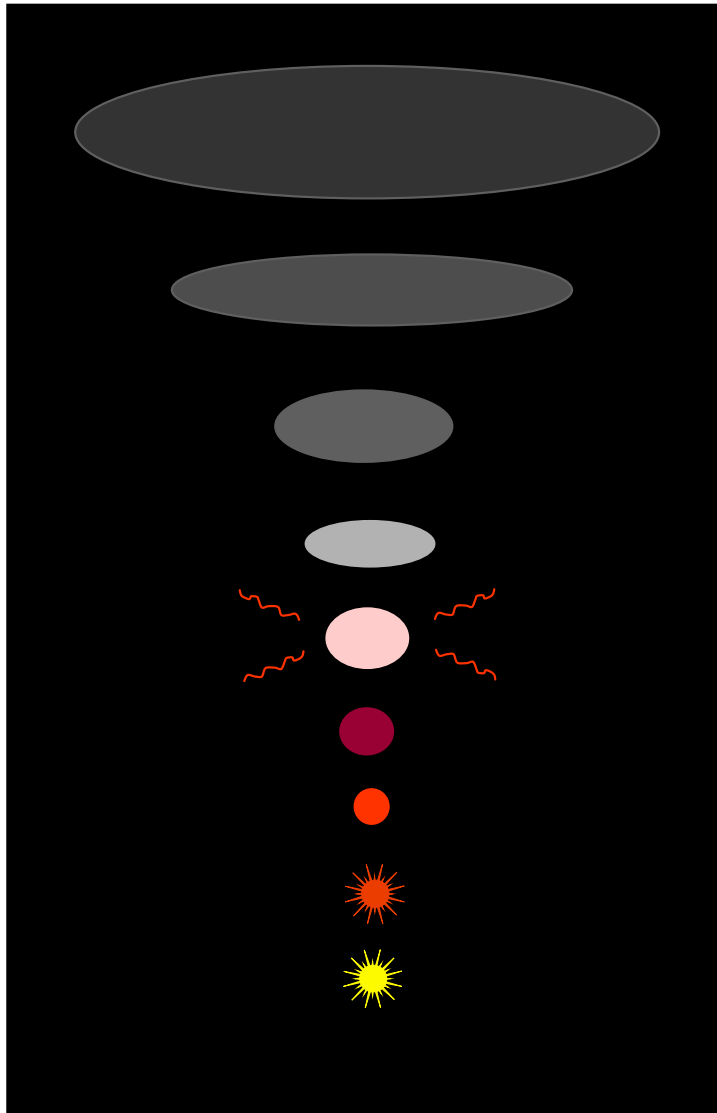
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



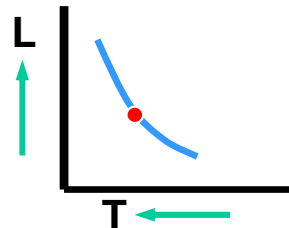
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



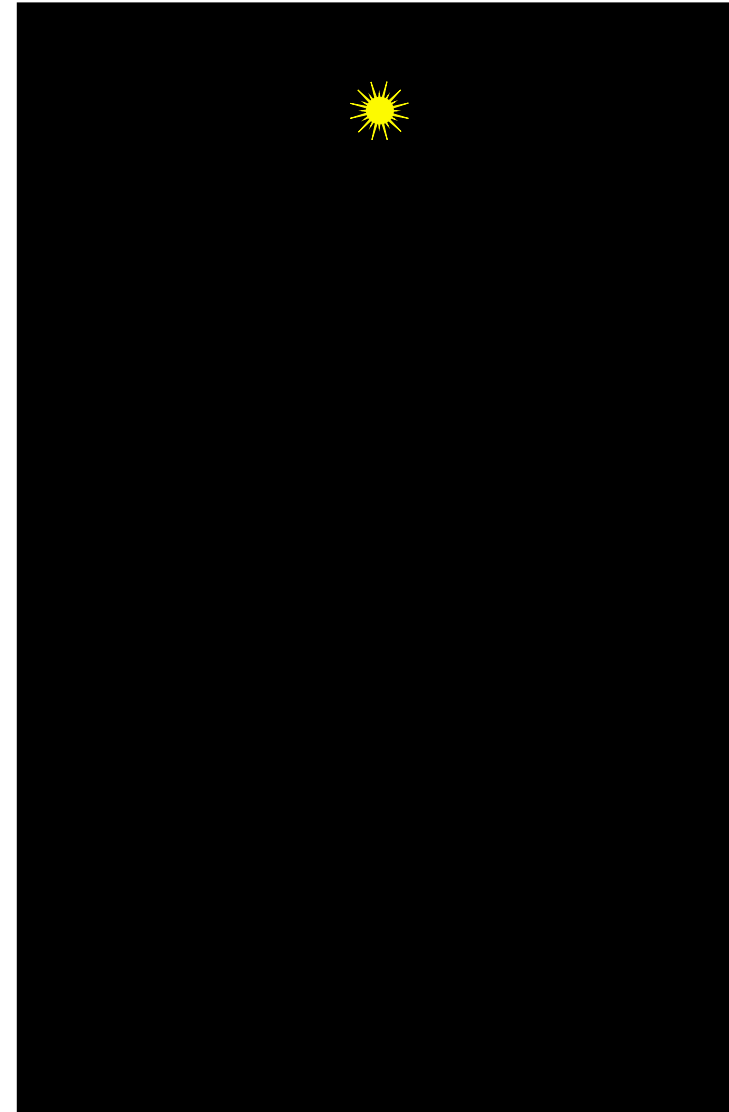
protocsillag



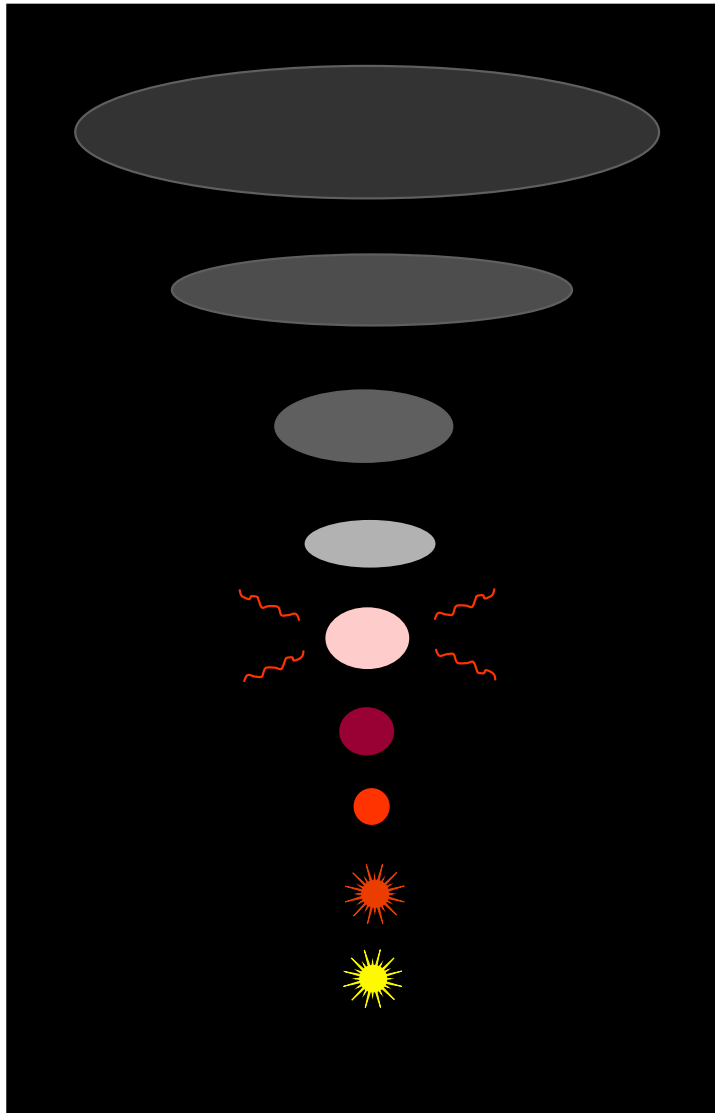
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



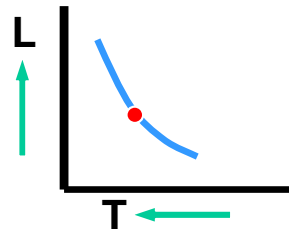
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



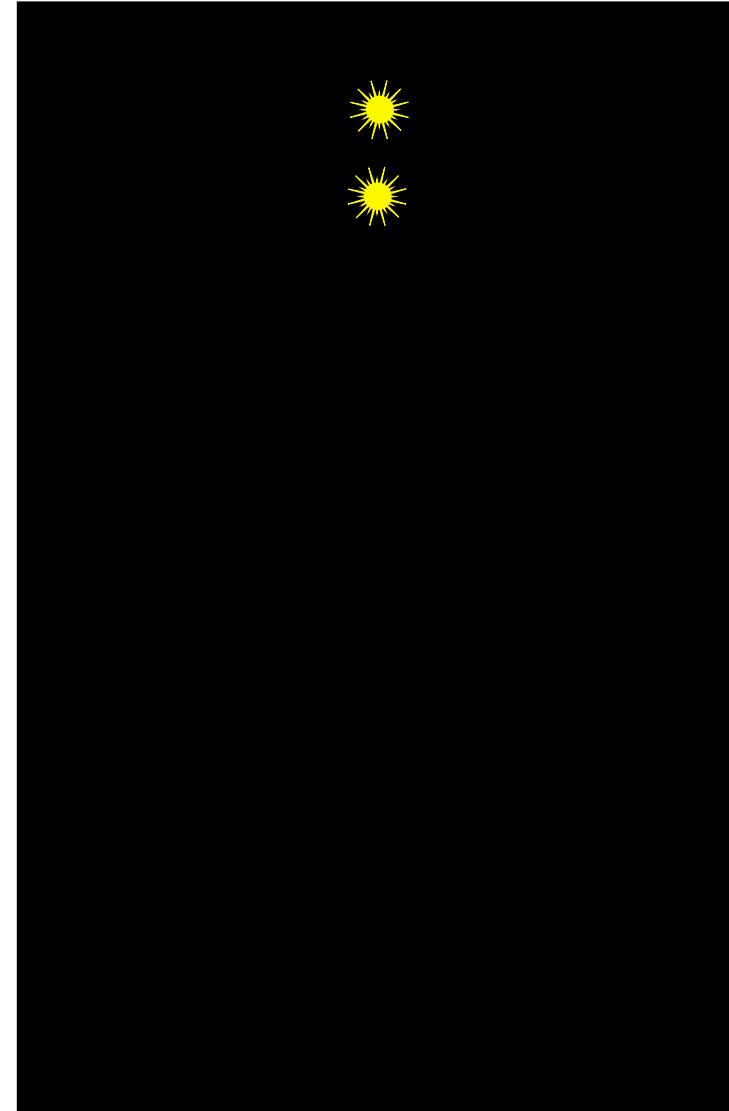
protocsillag



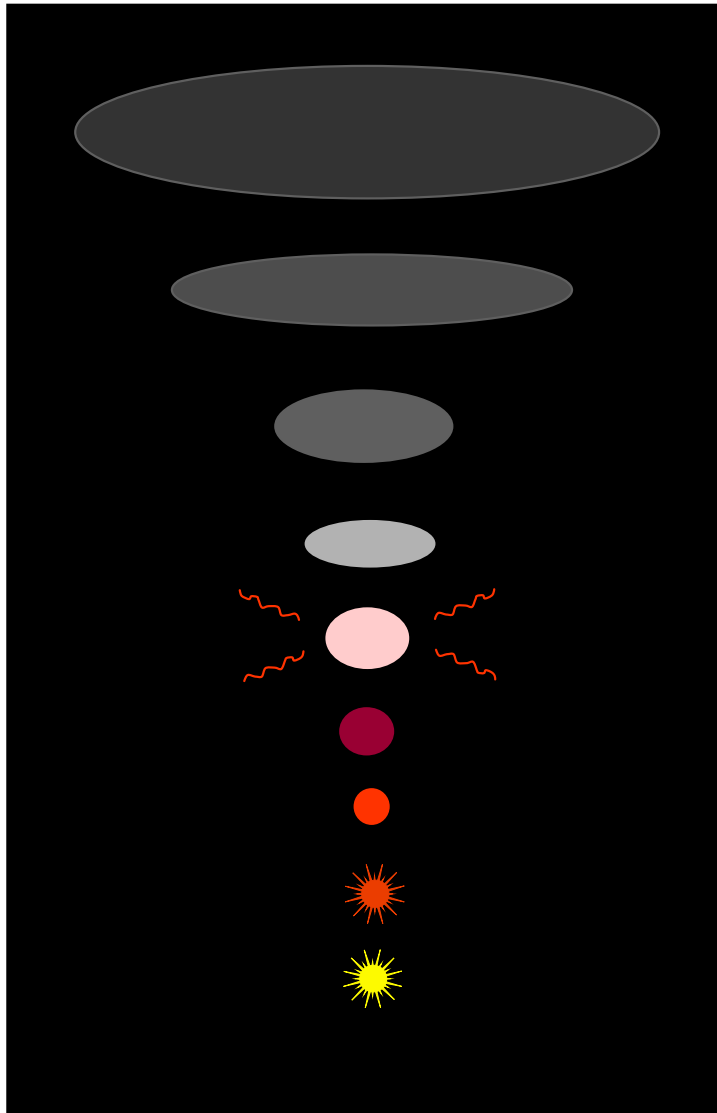
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



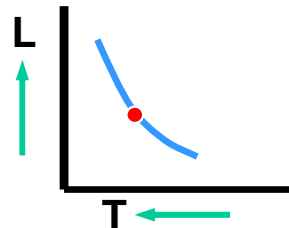
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



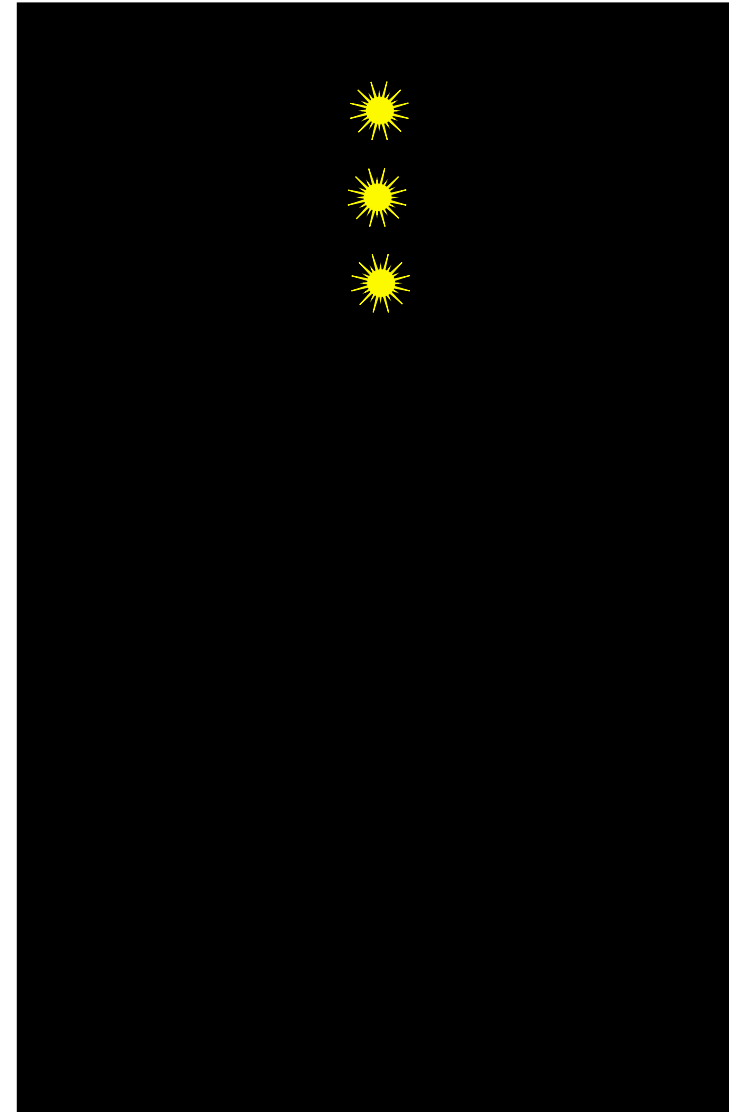
protocsillag



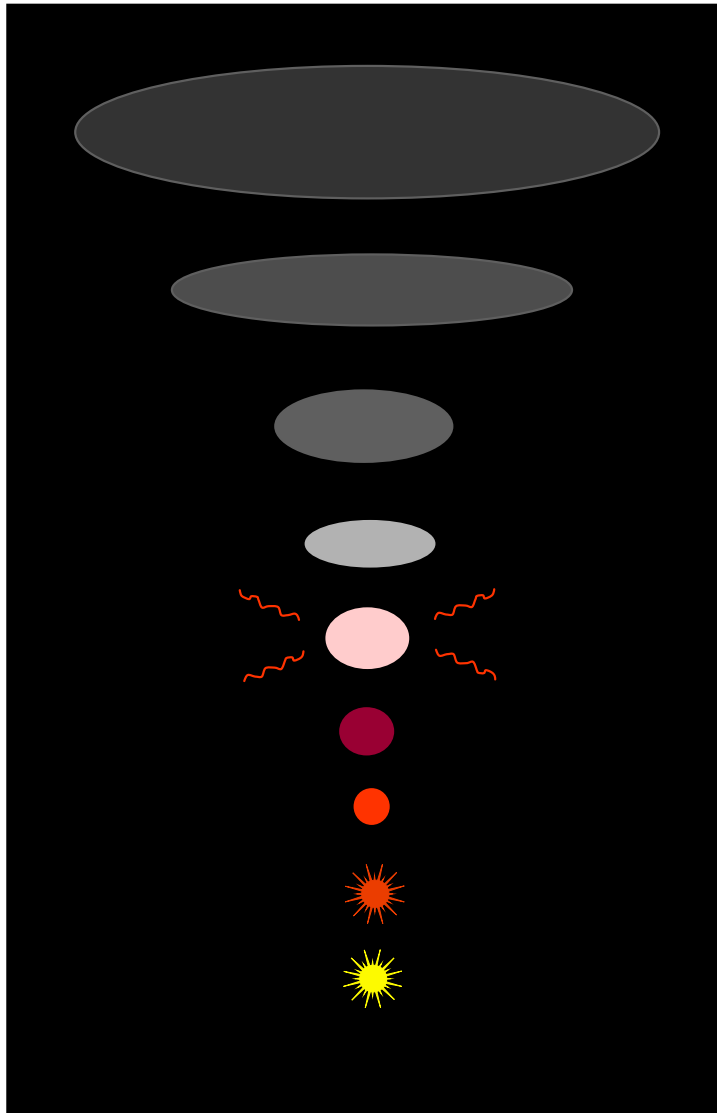
forró,
sűrű
csillag



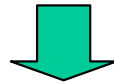
A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



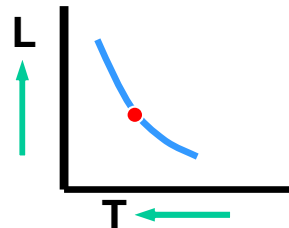
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



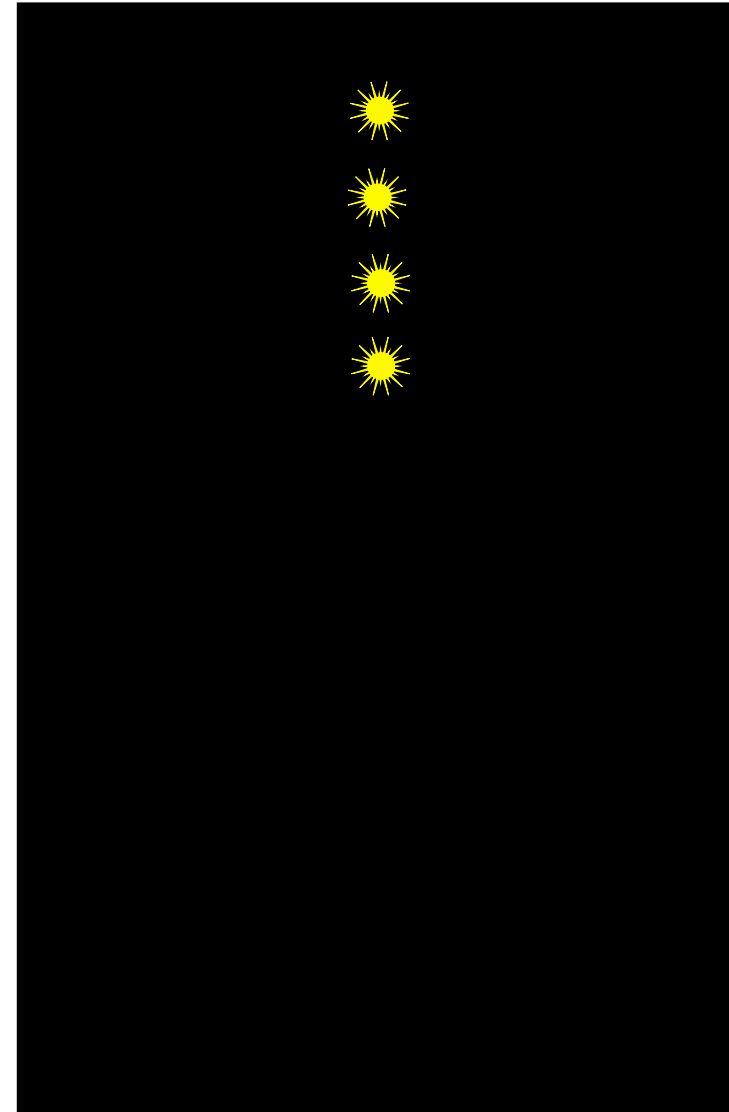
protocsillag



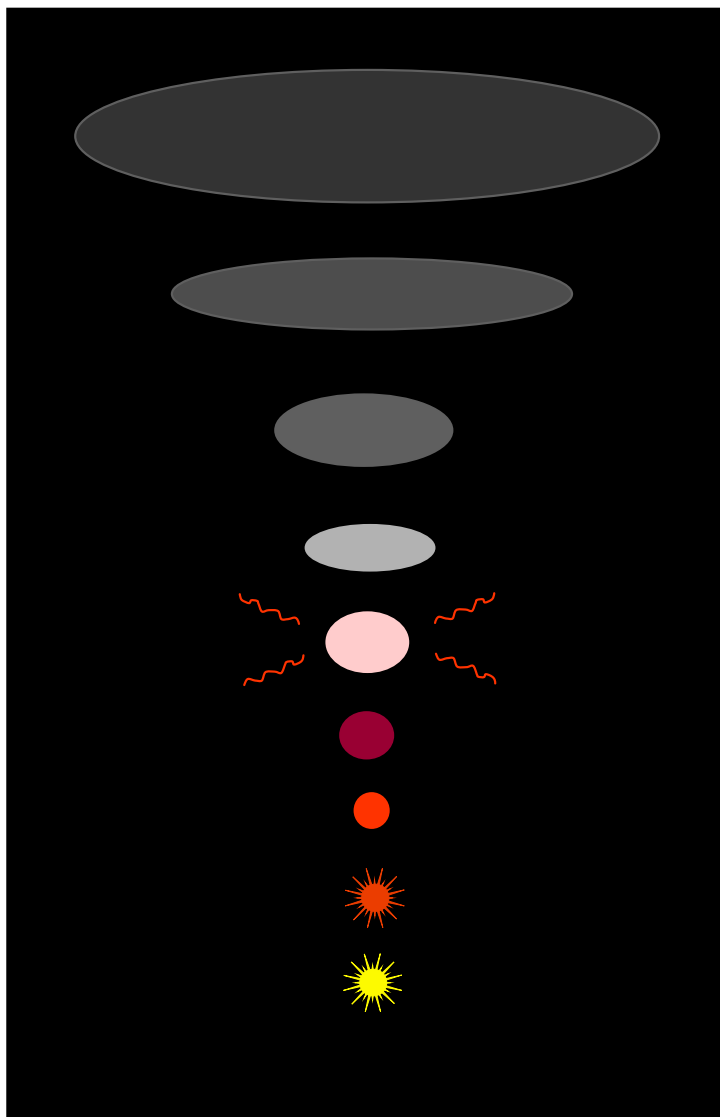
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



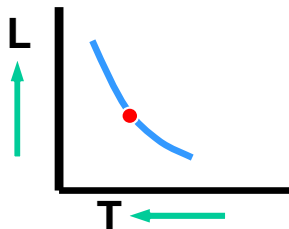
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



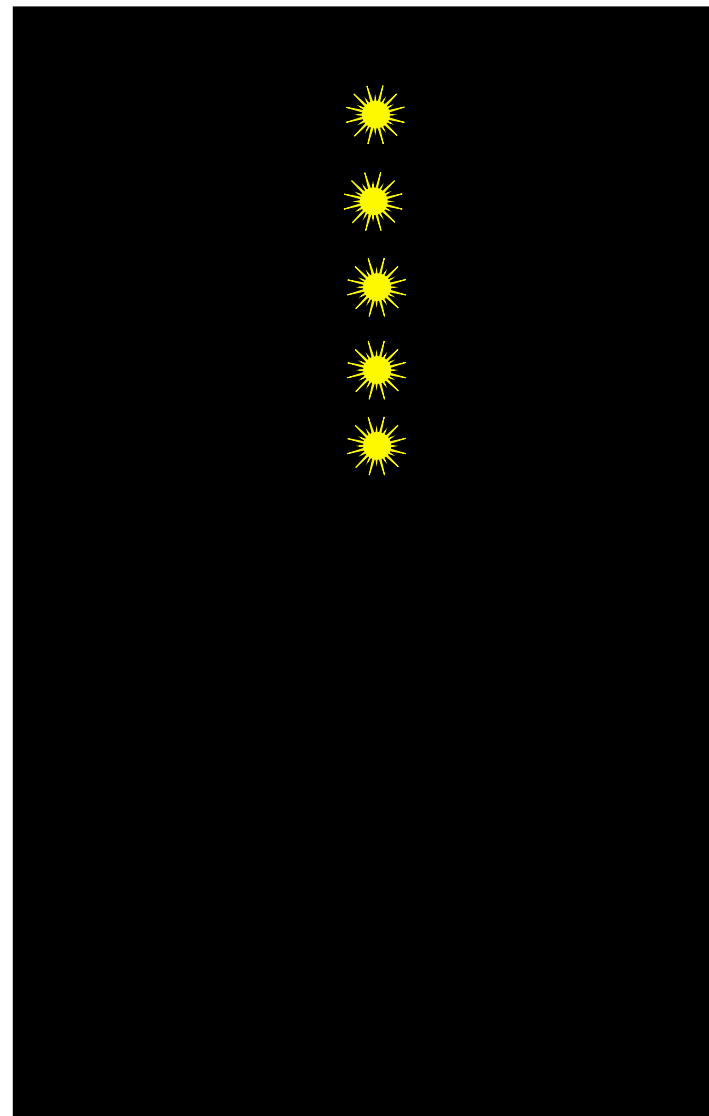
protocsillag



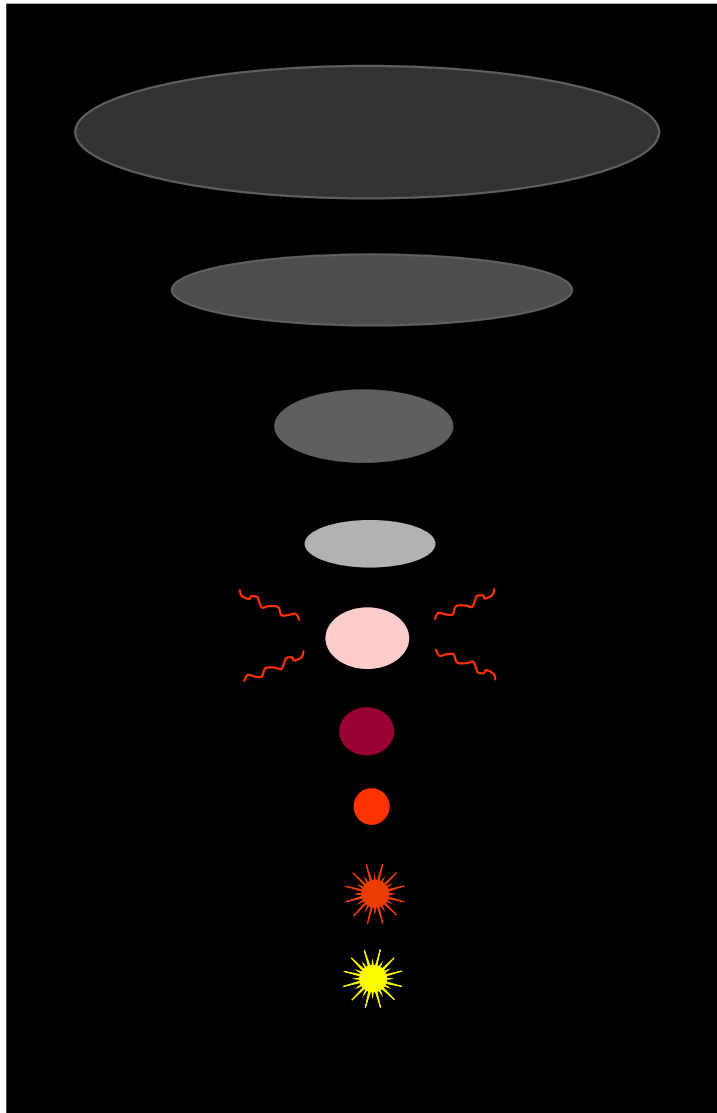
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



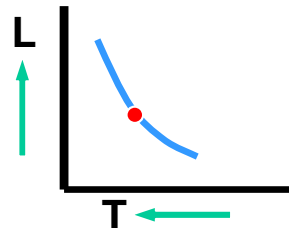
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



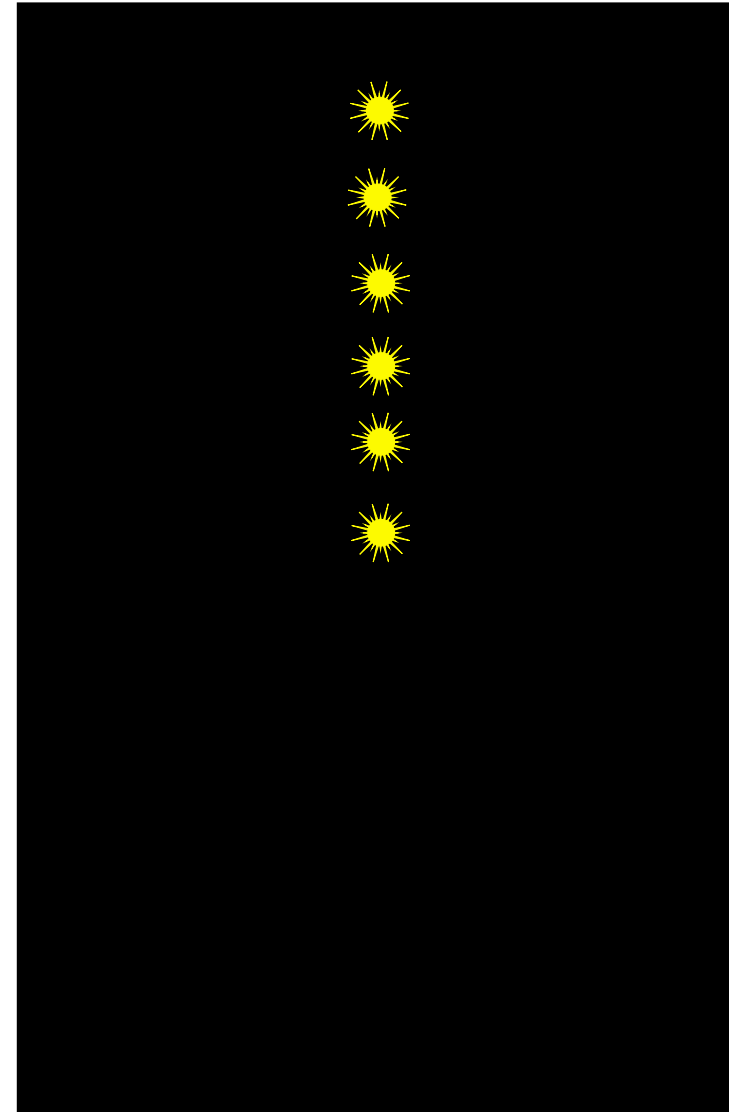
protocsillag



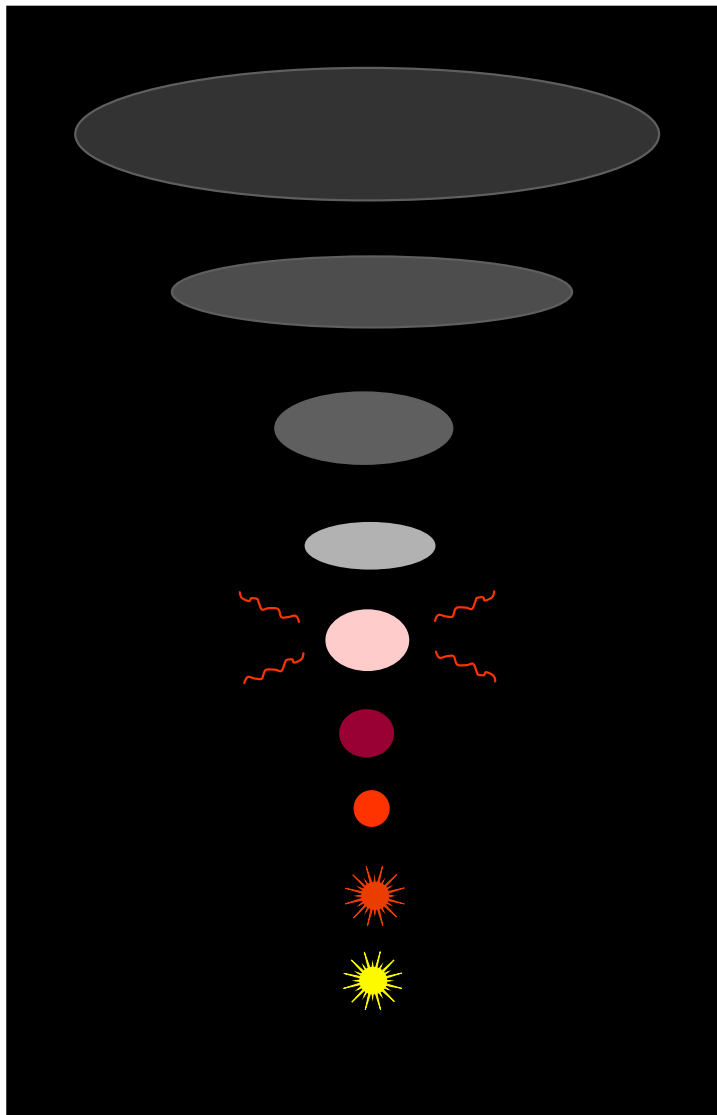
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



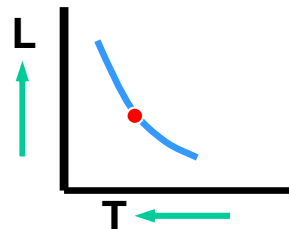
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



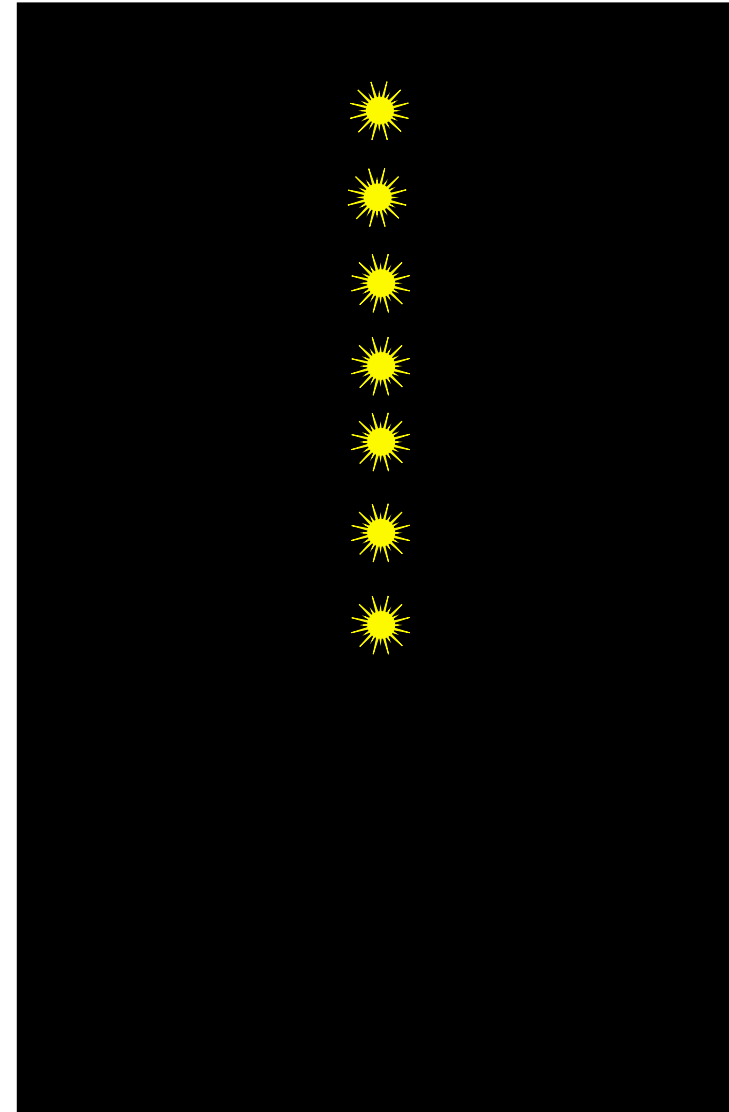
protocsillag



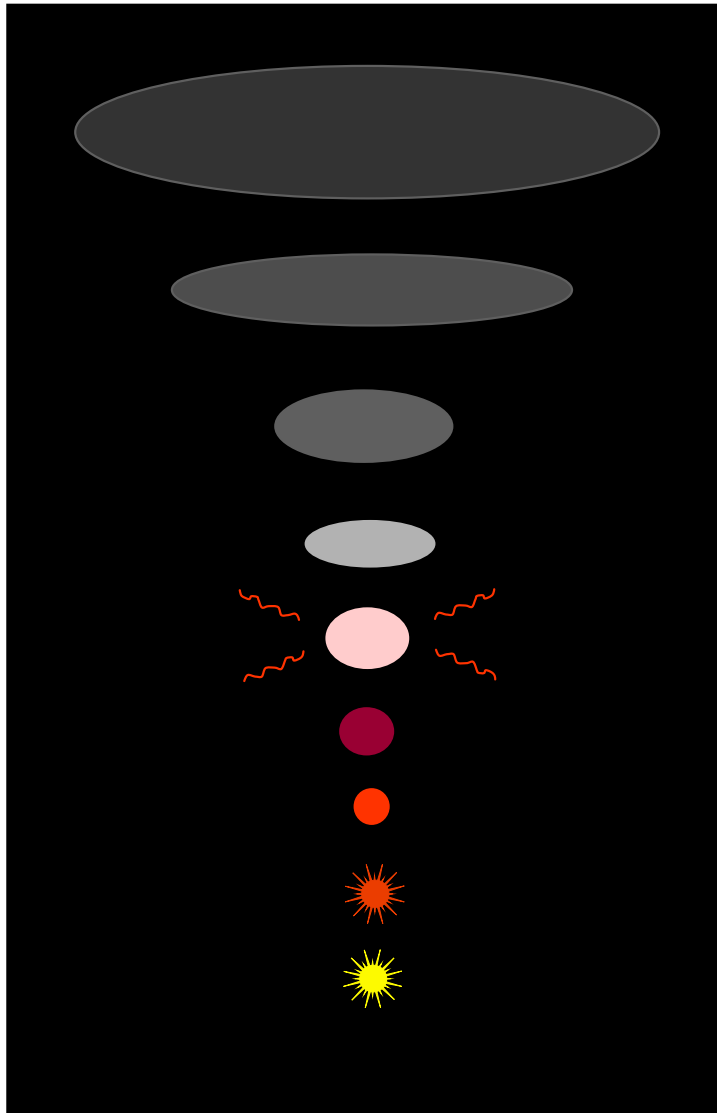
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



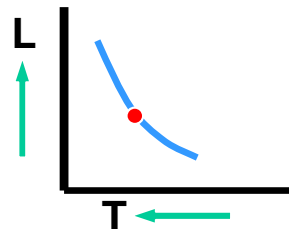
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



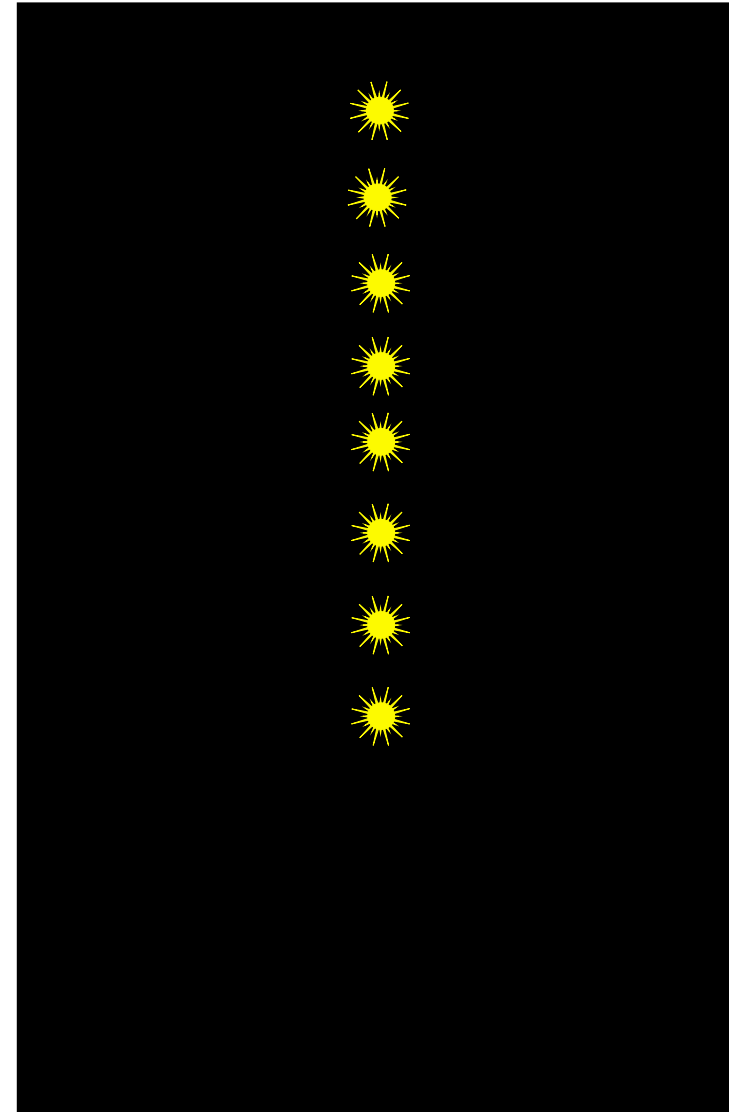
protocsillag



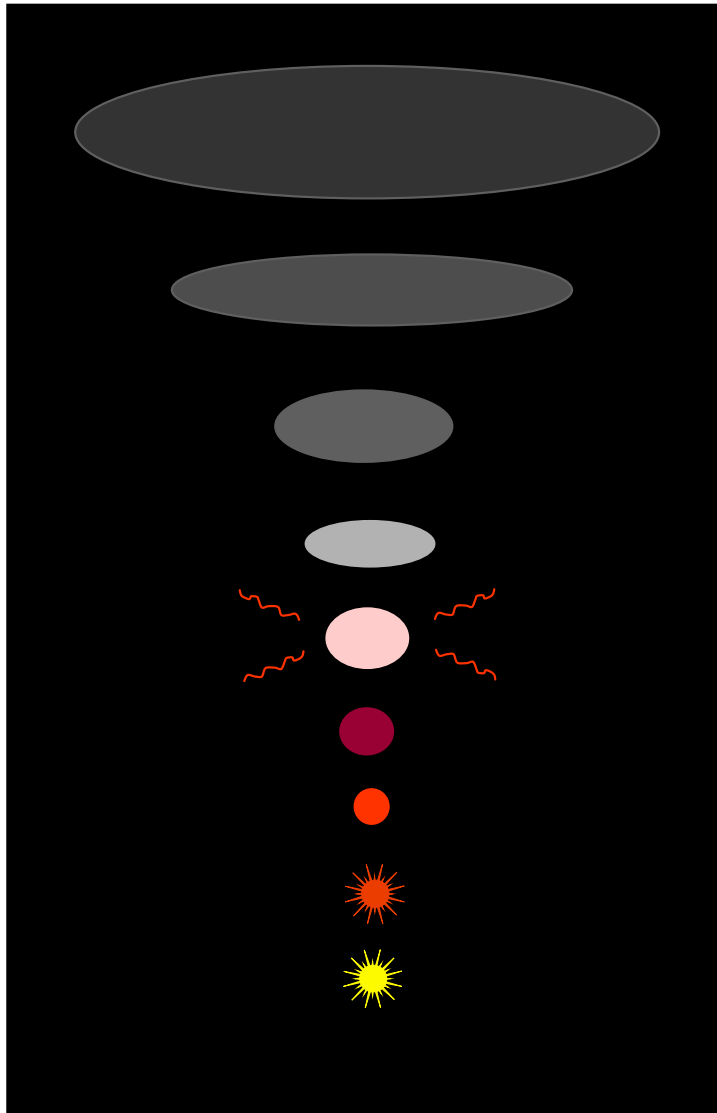
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



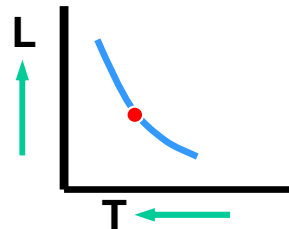
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



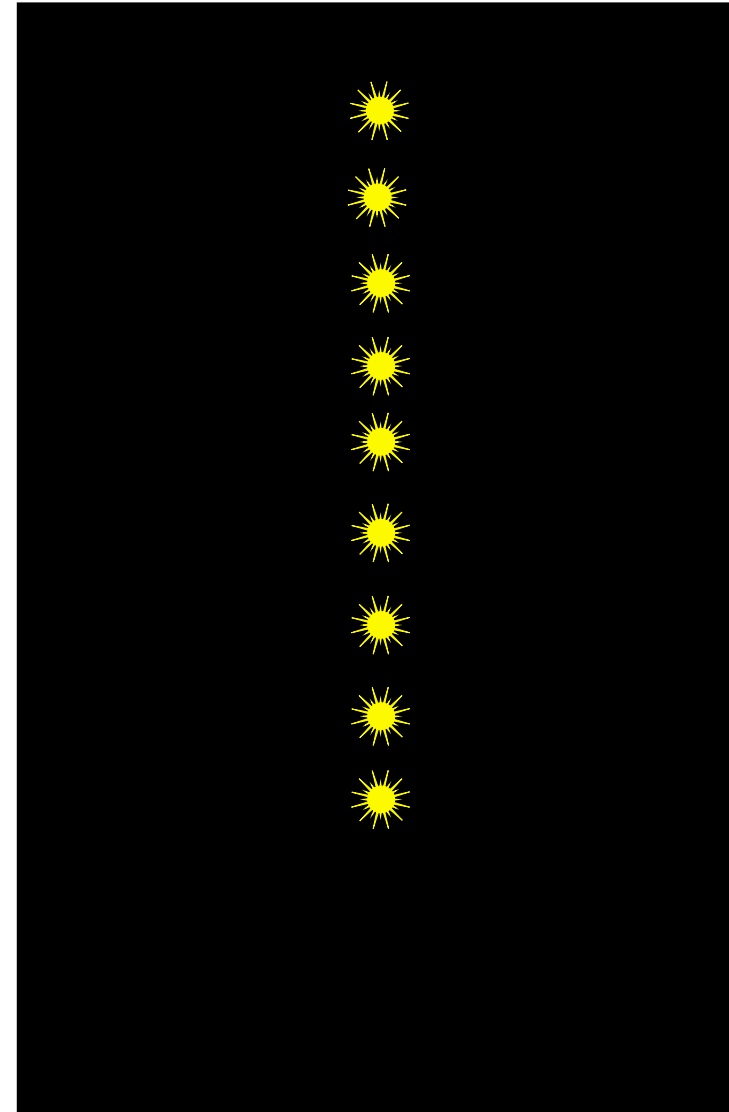
protocsillag



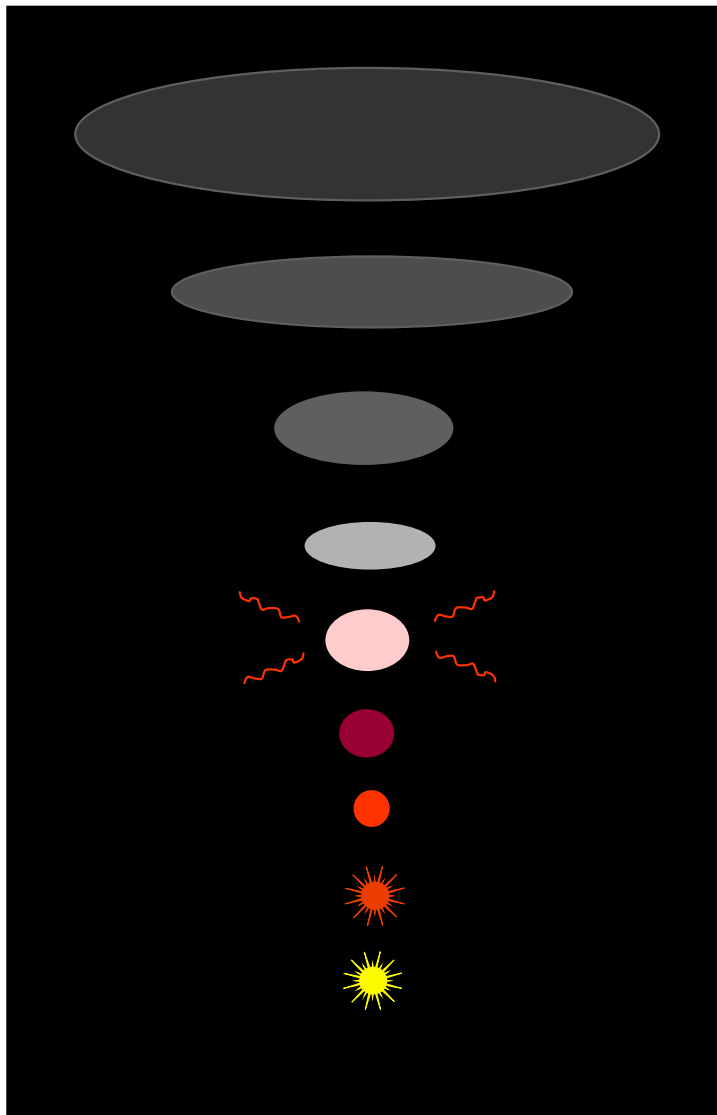
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



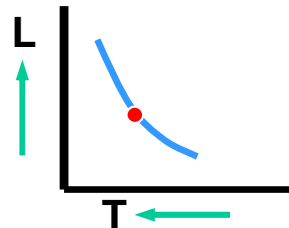
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



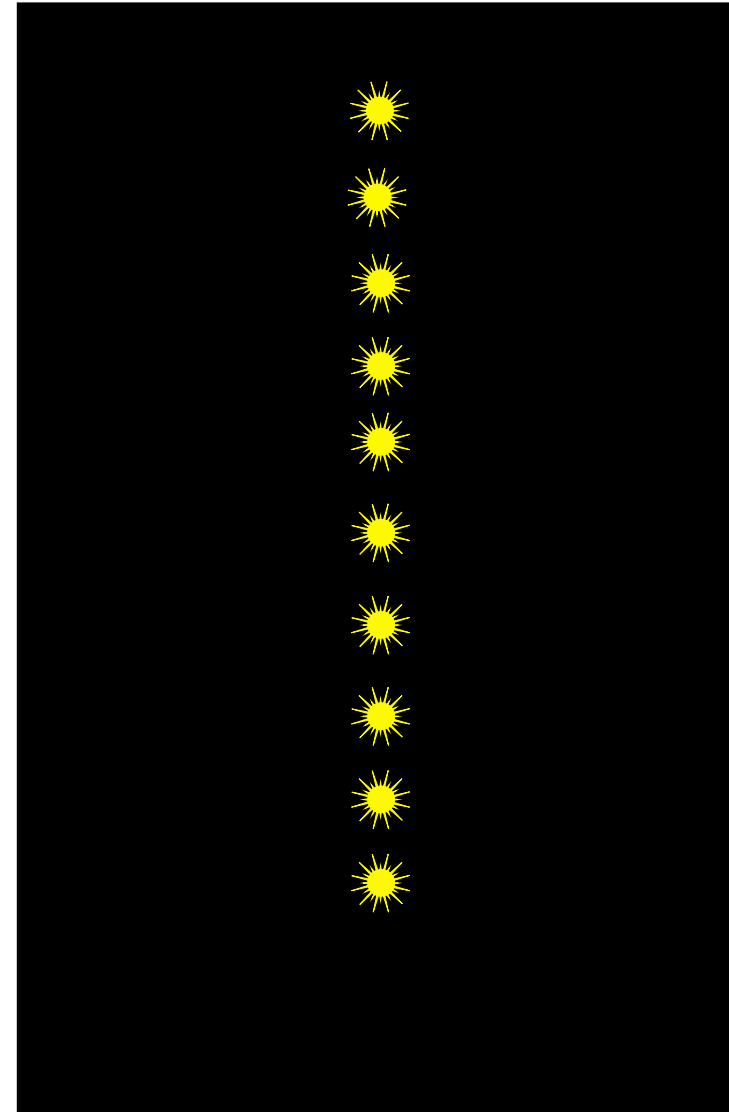
protocsillag



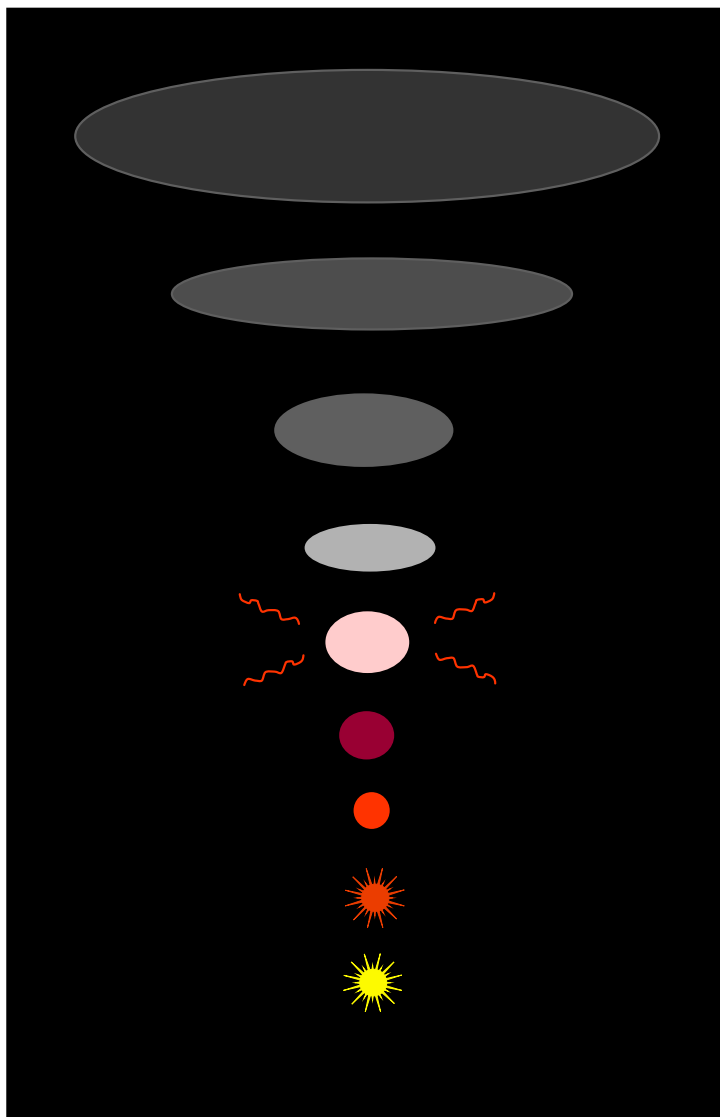
forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



A csillag keletkezése



hideg, ritka
gázfelhő



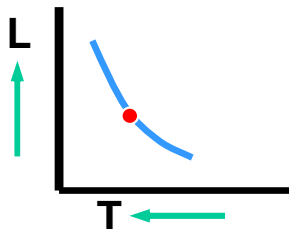
langyos,
sűrűbb
gázfelhő



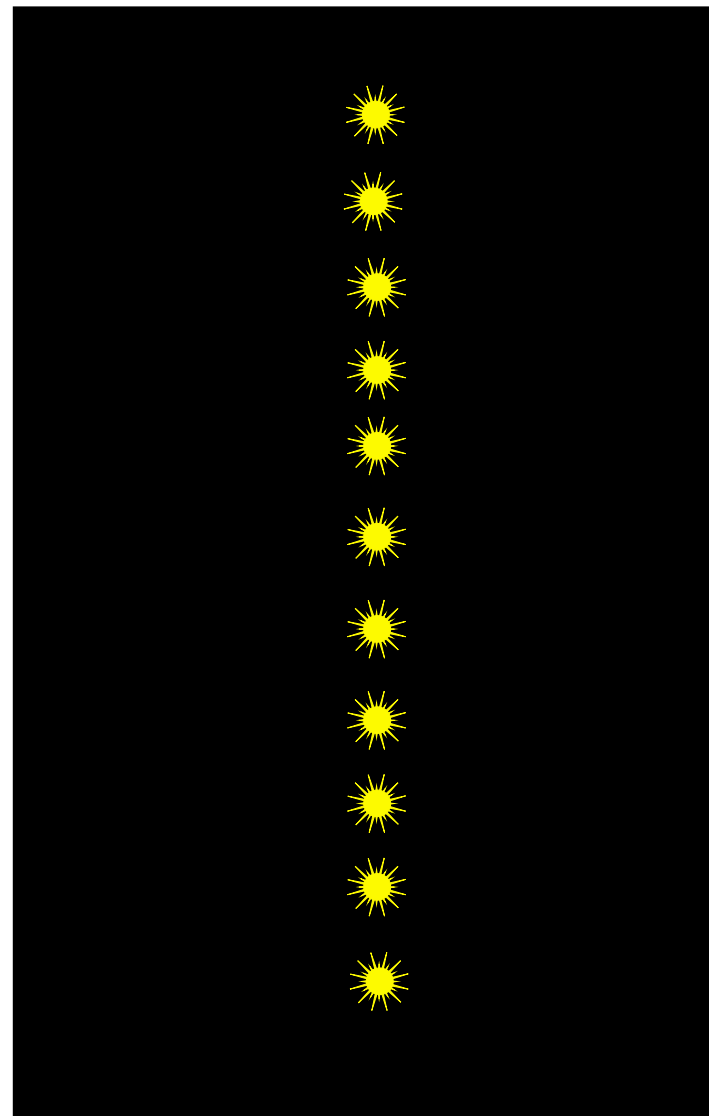
protocsillag



forró,
sűrű
csillag



A csillag élete a fősorozaton



Csillag:



Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag
stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént



Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

**önszabályozási
mechanizmusok:**



Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag
stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:



Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

**önszabályozási
mechanizmusok:**

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás



Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

**önszabályozási
mechanizmusok:**

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás

gravitáció



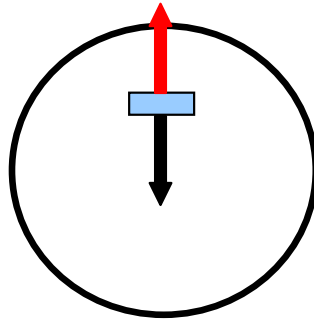
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



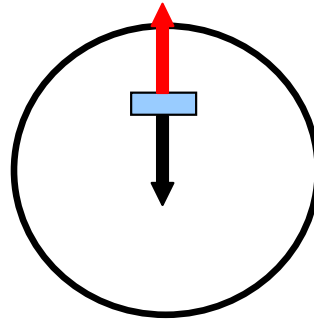
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:

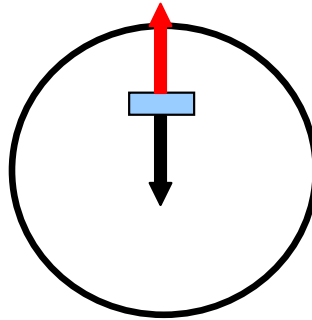
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

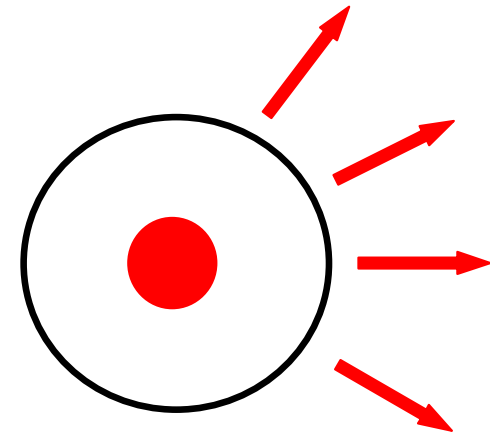
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



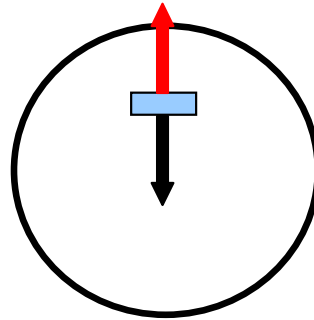
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

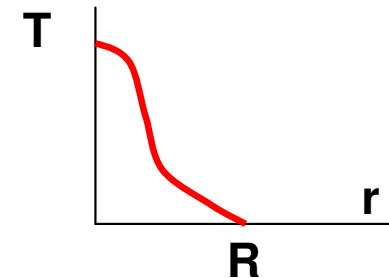
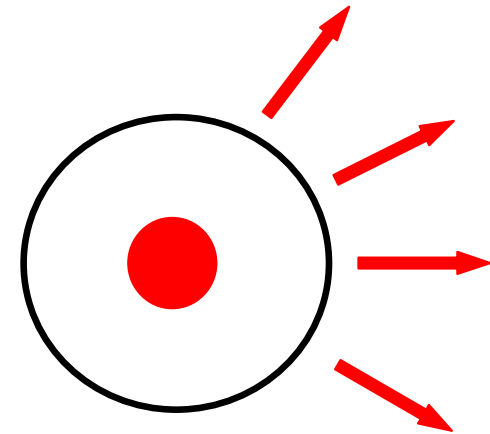
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



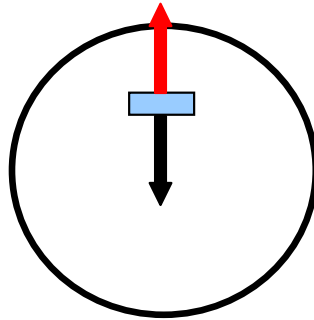
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

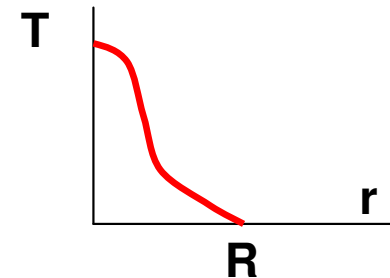
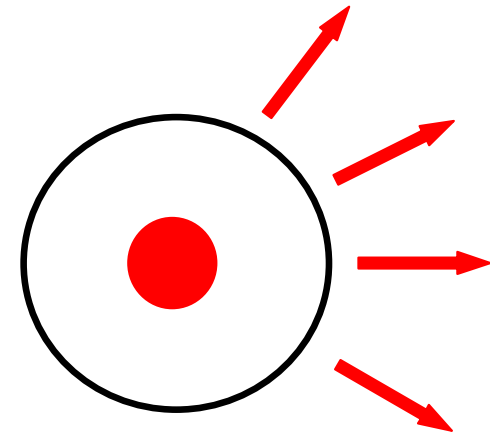
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

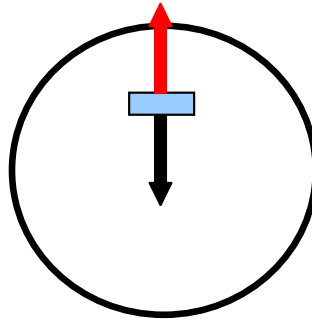
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

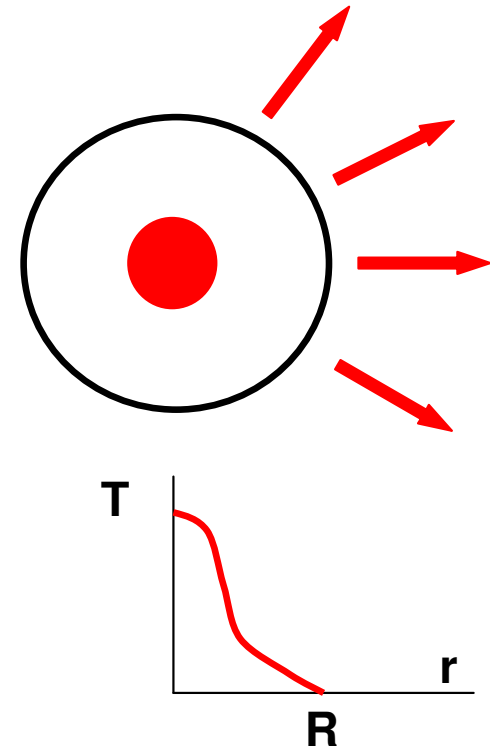
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

mechanikai, termikus és sugárzási
egyensúlyban

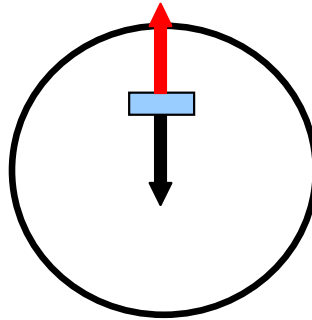
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

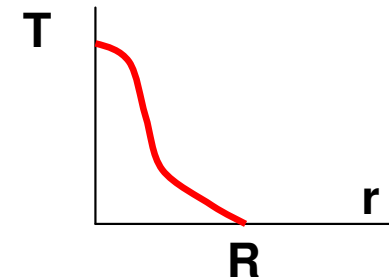
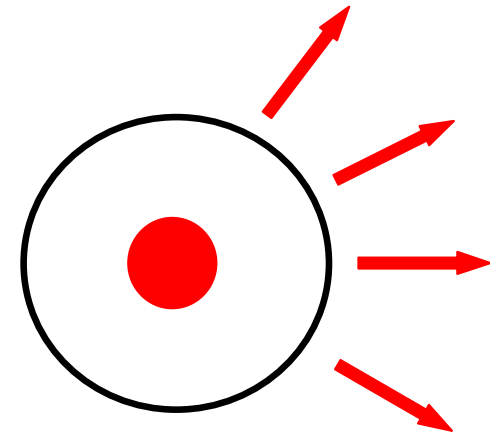
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

mechanikai, termikus és sugárzási
egyensúlyban

Meddig?

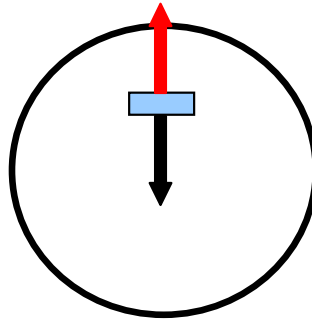
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

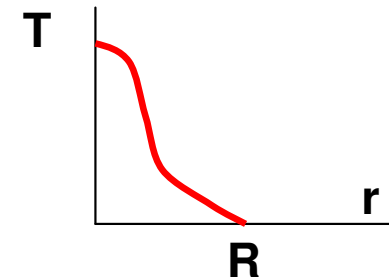
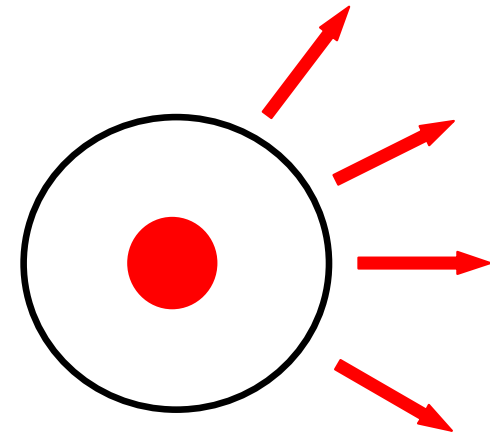
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

amíg el nem fogy
a hidrogén...

mechanikai, termikus és sugárzási
egyensúlyban

Meddig?

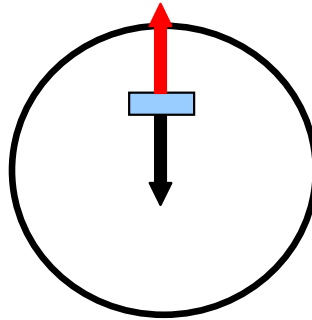
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

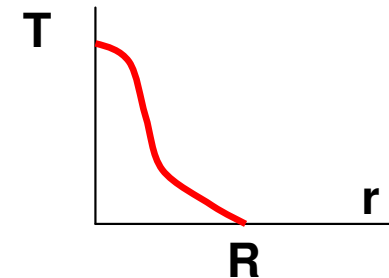
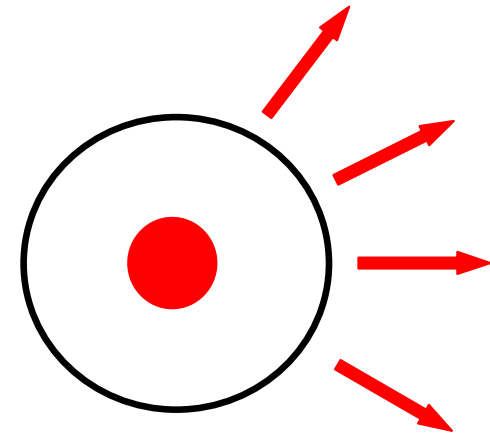
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

mechanikai, termikus és sugárzási
egyensúlyban

Meddig?

amíg el nem fogy
a hidrogén...

a centrális hőmérséklettől
(azaz a tömegtől) függően

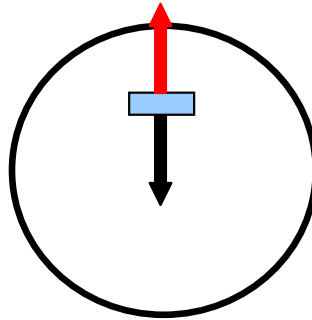
Csillag:

évmilliárdokig nem történik vele semmi érdekes: a csillag stacionárius üzemmódban, egyenletesen égeti a hidrogént

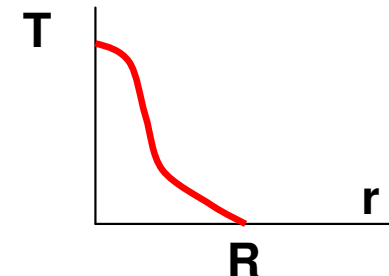
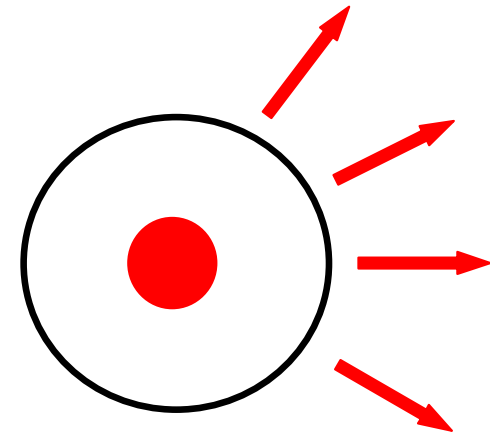
önszabályozási
mechanizmusok:

mechanikai, hidrosztatikai:

sugár- + hidrosztatikai
nyomás
gravitáció



termikus,
hővezetési,
energetikai:



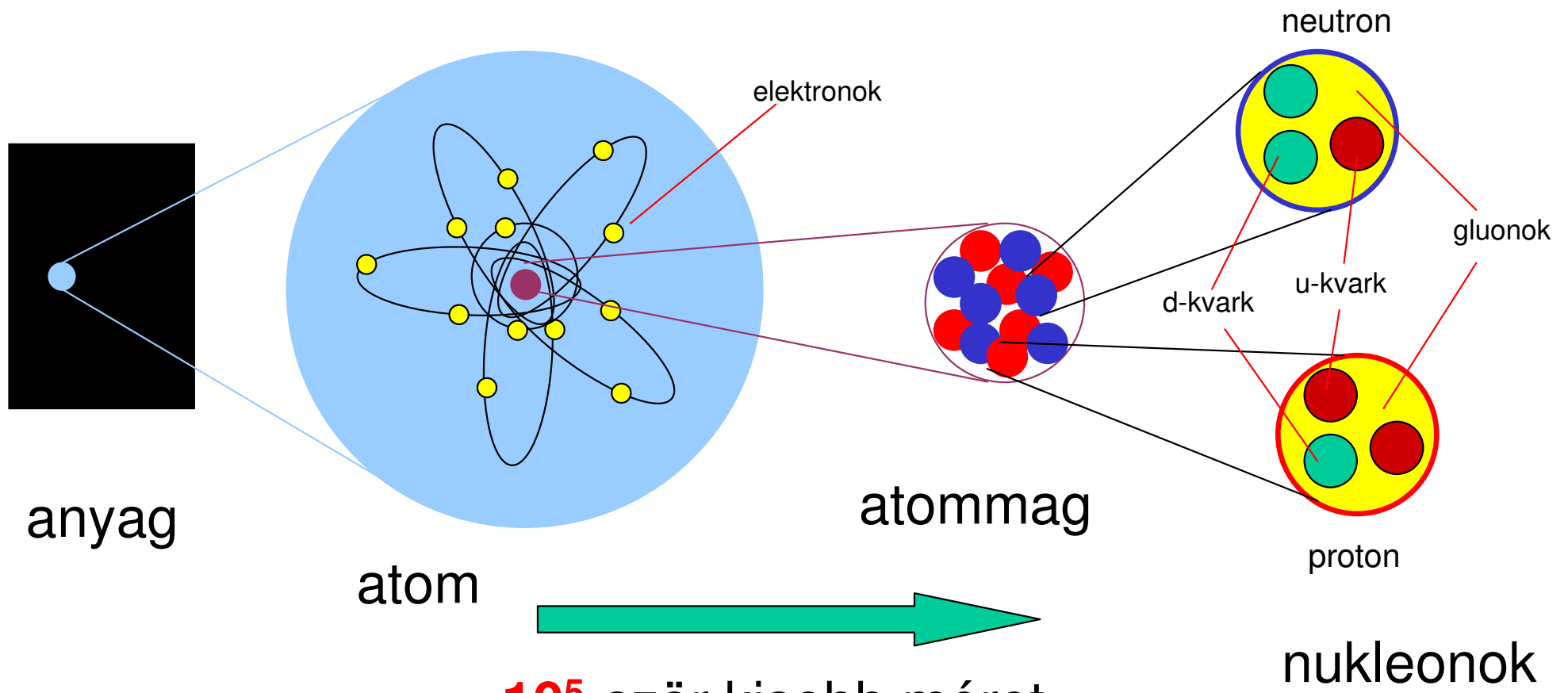
a csillag egy negatív visszacsatolású,
önszabályozó nukleáris kazán

amíg el nem fogy
a hidrogén...

mechanikai, termikus és sugárzási
egyensúlyban

Meddig?

a centrális hőmérséklettől
(azaz a tömegtől) függően
10 millió – 100 milliárd év



Mi tartja össze az atommagot?

10^5 -ször kisebb méret
 10^5 -ször nagyobb energia

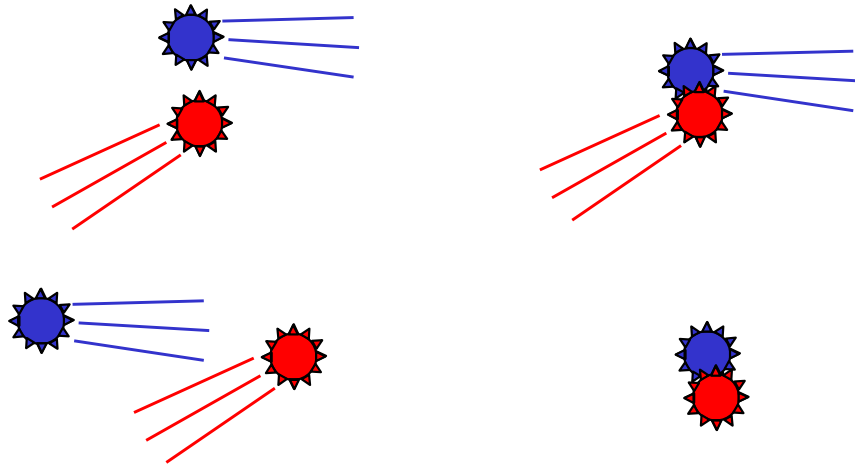
A MAGERŐ
 (erős kölcsönhatás)
VONZÓERŐ

$$n - n \approx n - p \approx p - p$$

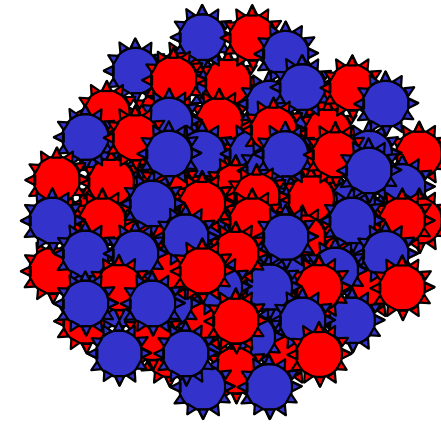
itt még egy kis elektromos taszítás is fellép...



„Bogáncofizika”

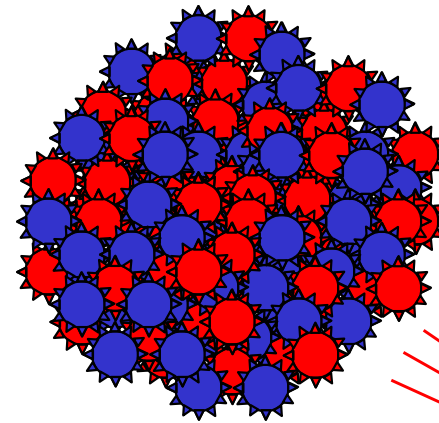
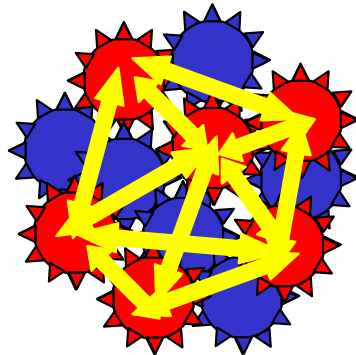


Összetettebb atommag



nagy bogánco gömb

elektromos
taszítóerő
MINDEN
protonpár között



a túl nagy mag
kilöki felesleges
részeit

Az atommagok térképe

protonok száma: **Z**

neutronok száma: **N**

^{238}U
2.342E7 Y
 α : 100.00%
SF: 9.4E-8%

alfa-bomlás

^{209}Bi
STABLE
52.4%

STABIL MAG

^{128}Pr
2.64 S
 ϵ : 100.00%

béta(+)-bomlás

^{20}F
11.07 S
 β^- : 100.00%

béta-bomlás

^{12}O
0.40 MeV
P

proton-emisszió

^{273}Sg
1 M
SF

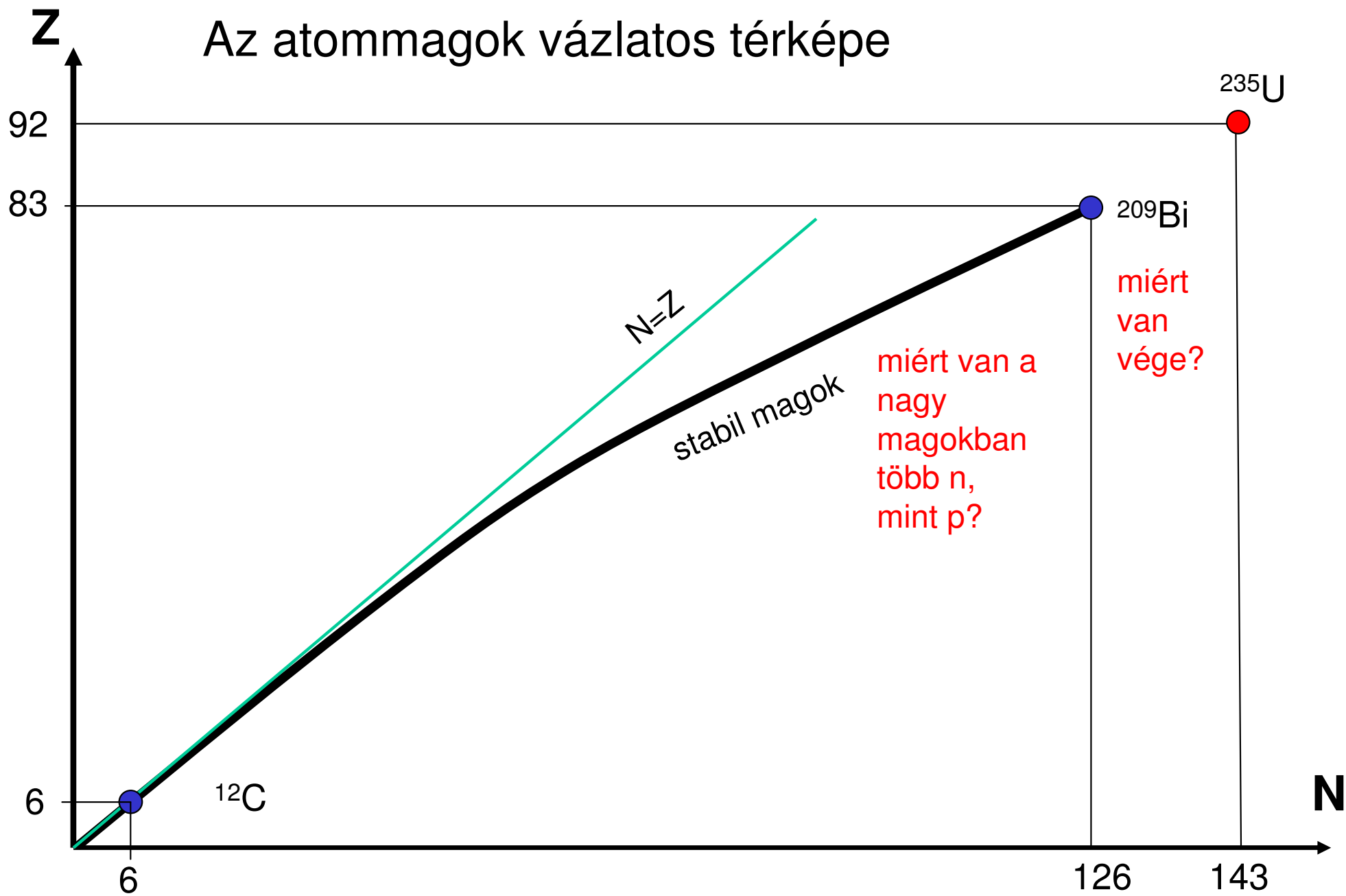
spontán hasadás

^{28}F
<40 NS
N

neutron-emisszió

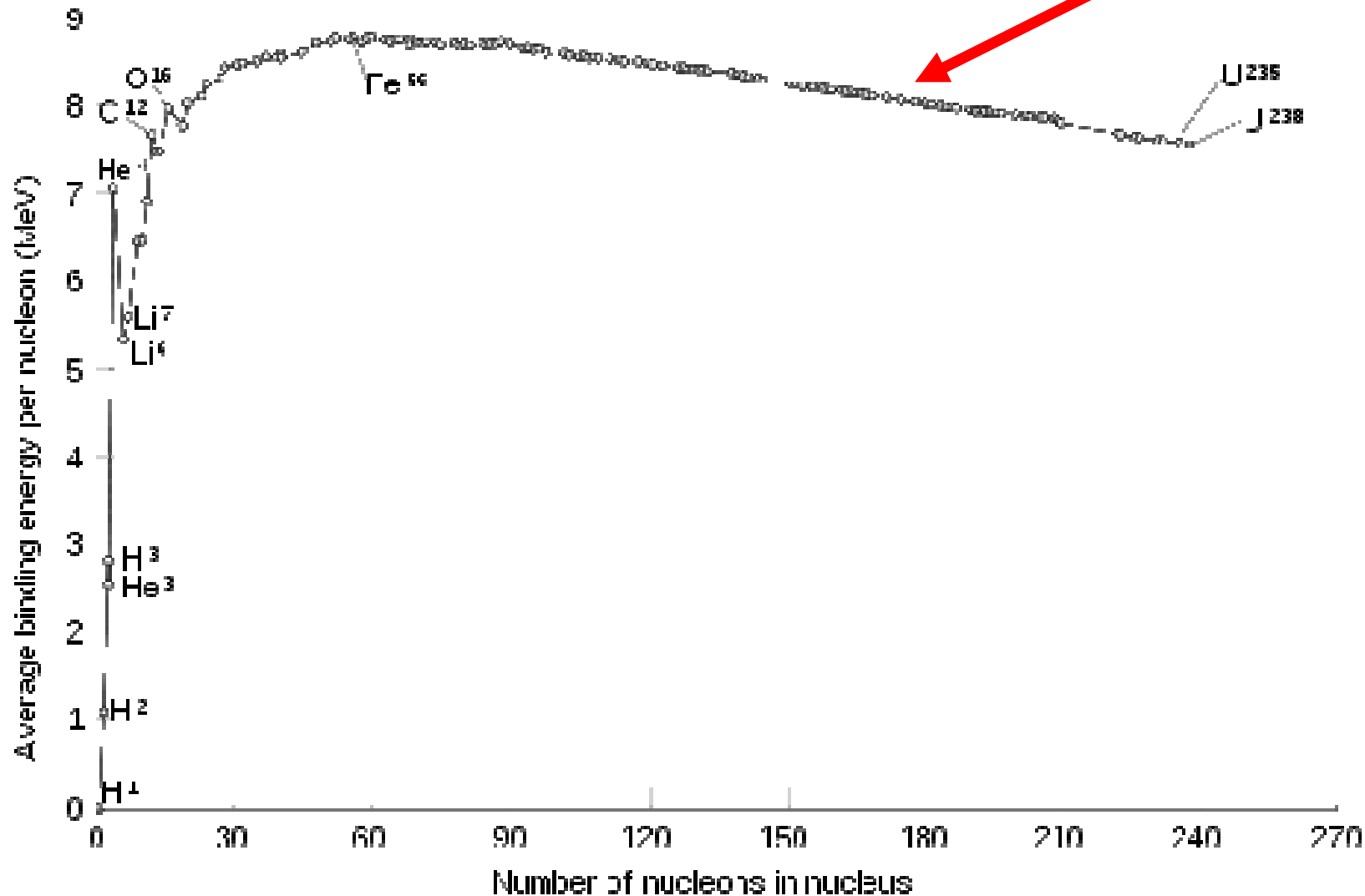


Az atommagok vázlatos térképe



Az atommagok kötési energiája: a „szétszedésükhöz” szükséges energia

végig a stabil magok
vonalán



tömegszám

$$A = Z + N$$



Z

A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

92
82
26
6

2 6 16 30

N

vastó

protontöbblet

N=Z

neutrontöbblet

stabil magok

izoenergiás vonalak

125

Pb

133

U

150



Z

A nukleáris völgy „szintvonalas” térképe

92
82
26
6

2 6 16 30

N

vastó

protontöbblet

N=Z

neutrontöbblet

a völgy keresztmetszete

protontöbblet

E

stabil magok

neutrontöbblet

stabil magok

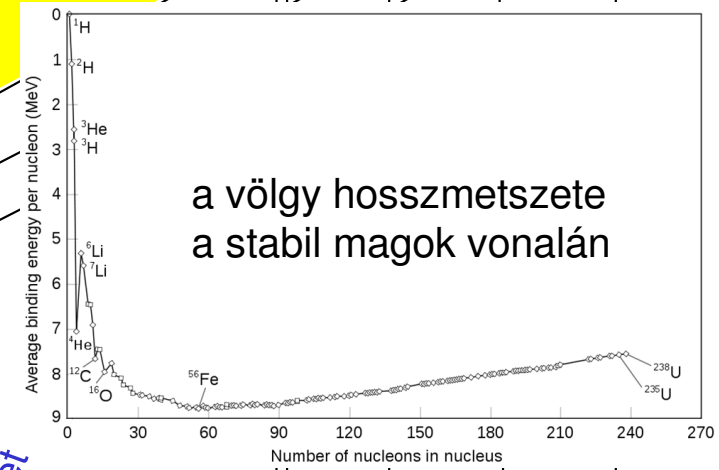
125

Pb

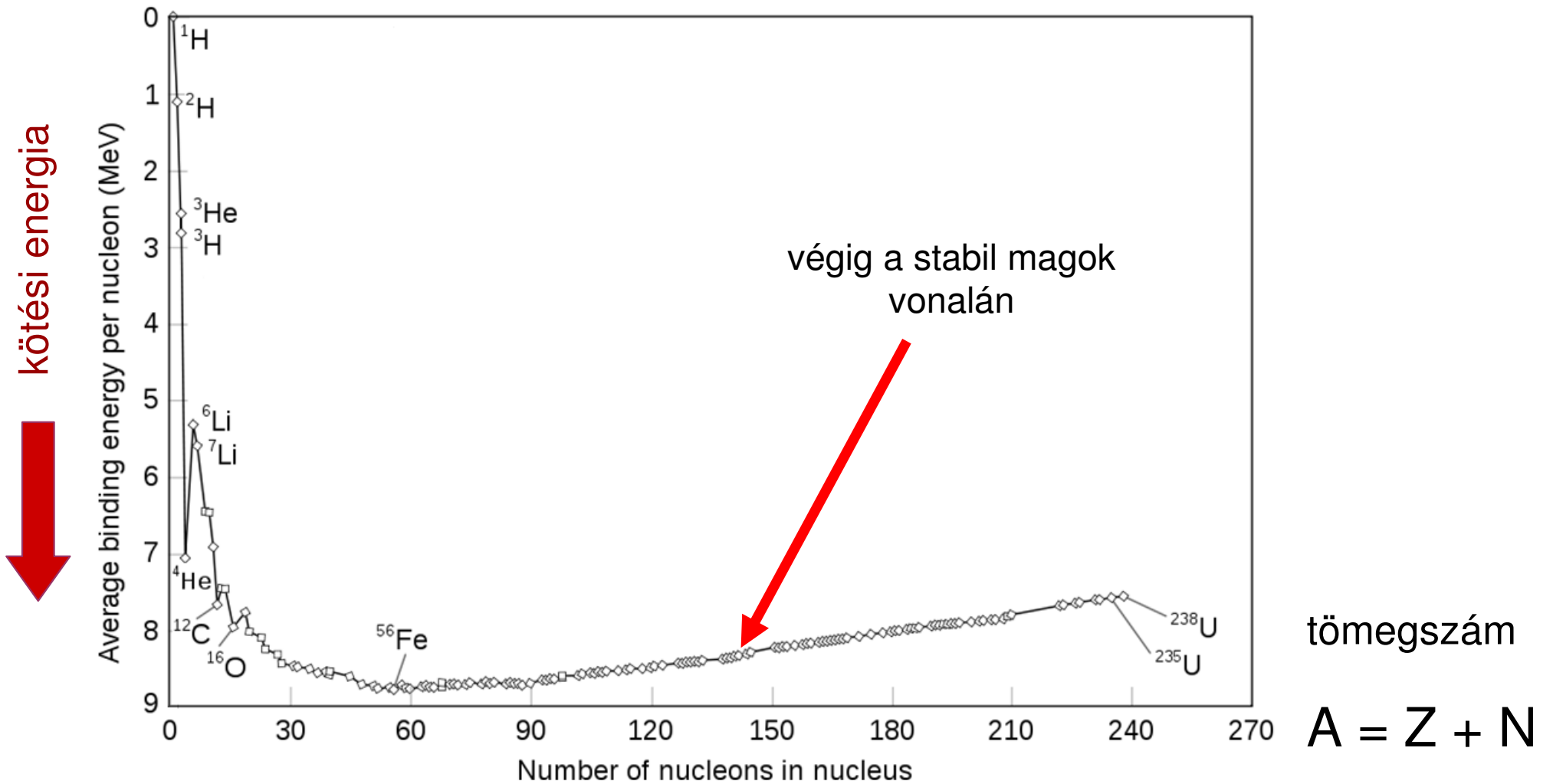
133

U

150



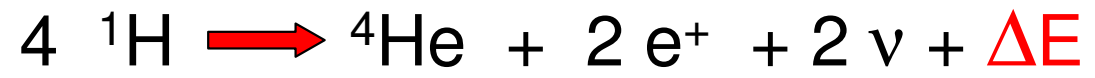
A nukleáris völgy



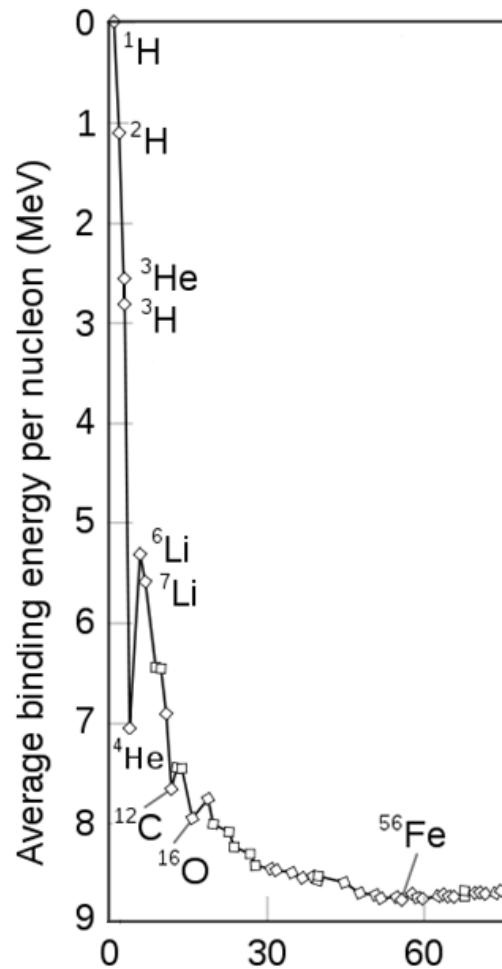
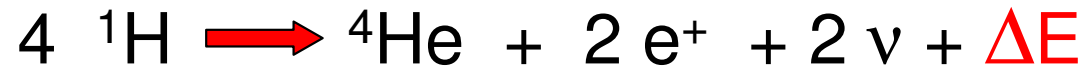
Magfúzió a Napban



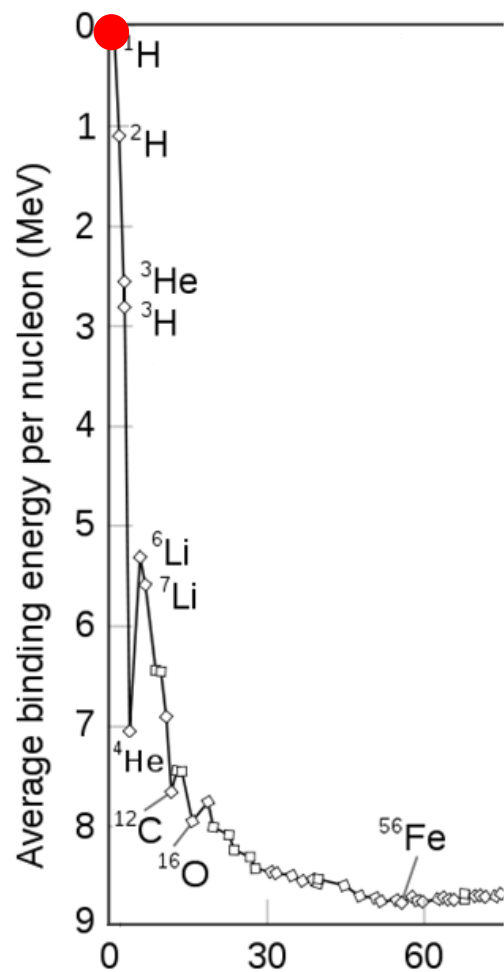
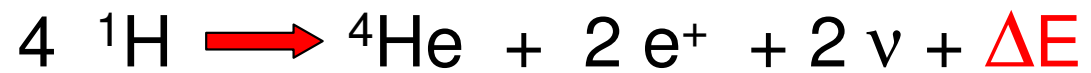
Magfúzió a Napban



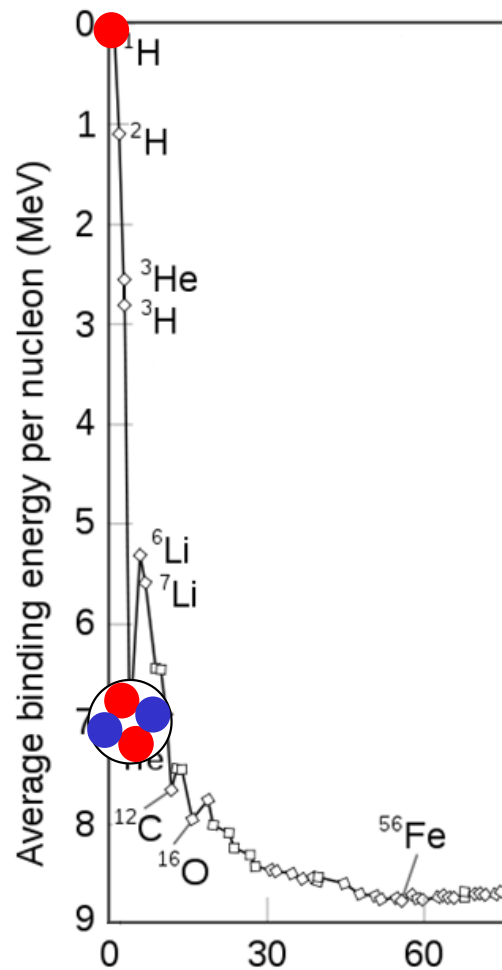
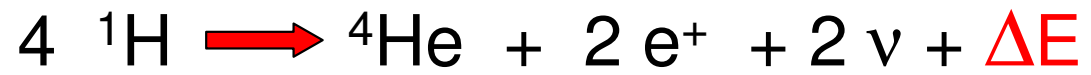
Magfúzió a Napban



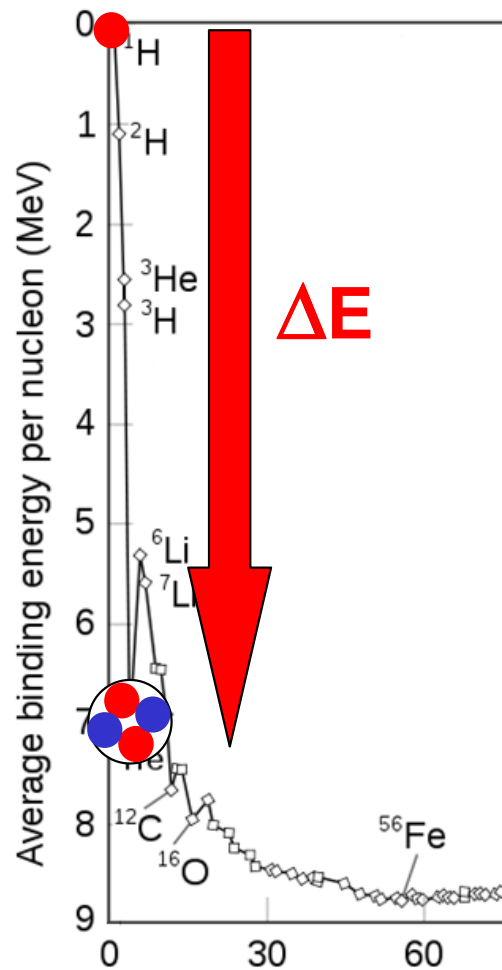
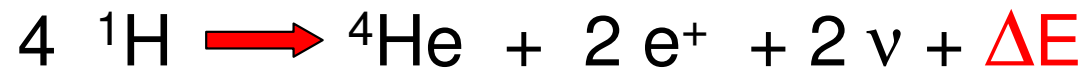
Magfúzió a Napban



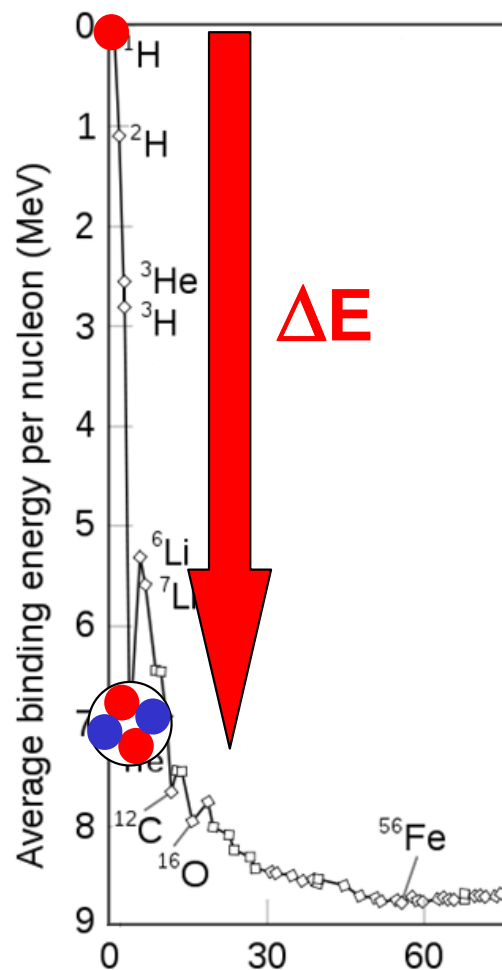
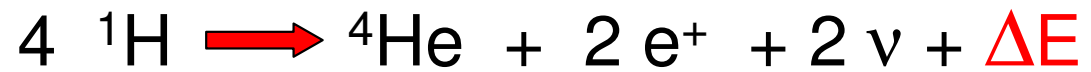
Magfúzió a Napban



Magfúzió a Napban

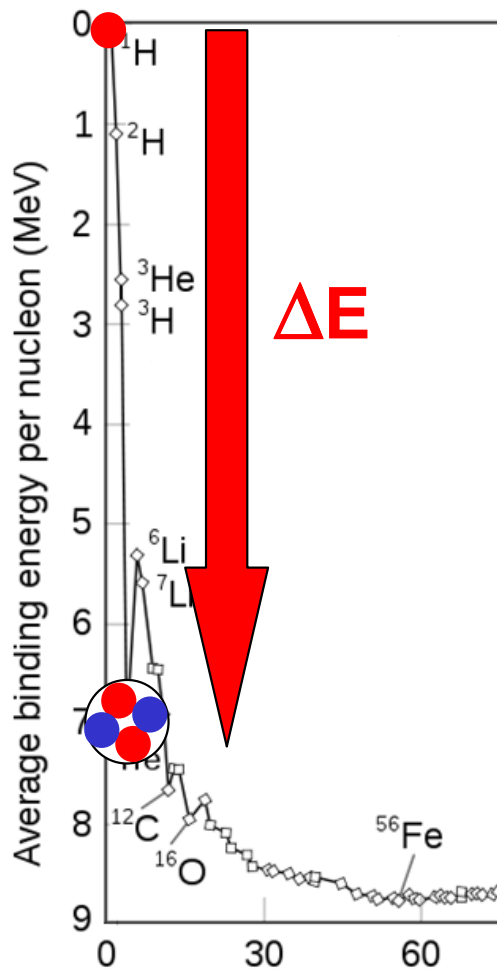


Magfúzió a Napban

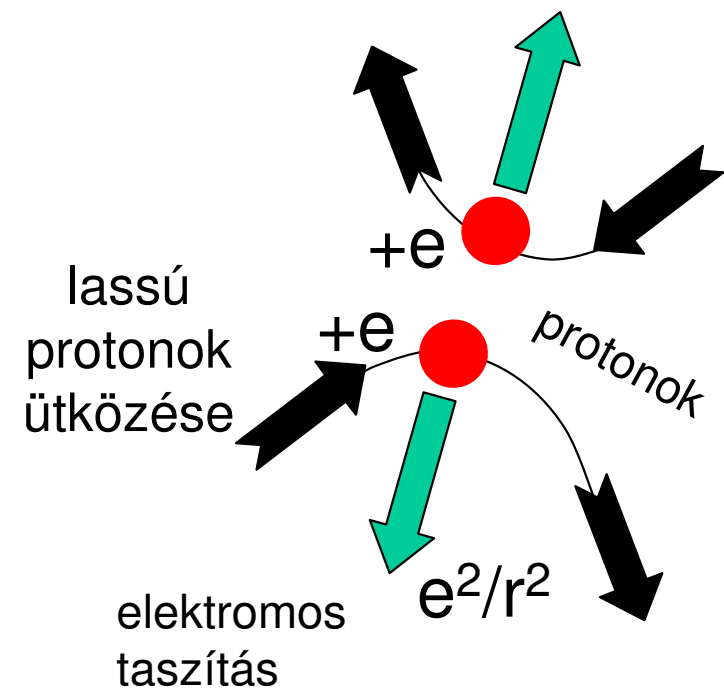


első lépés:
két proton
ütközése:

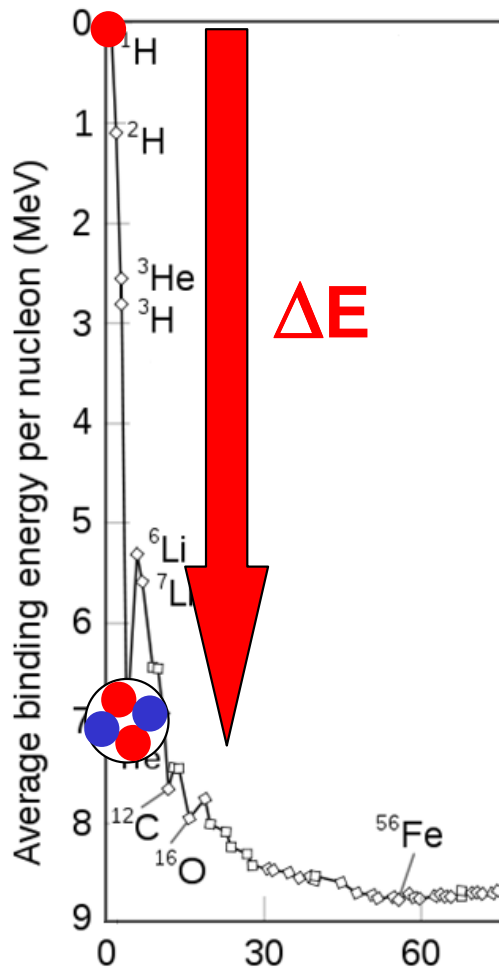
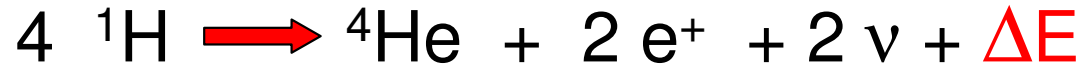
Magfúzió a Napban



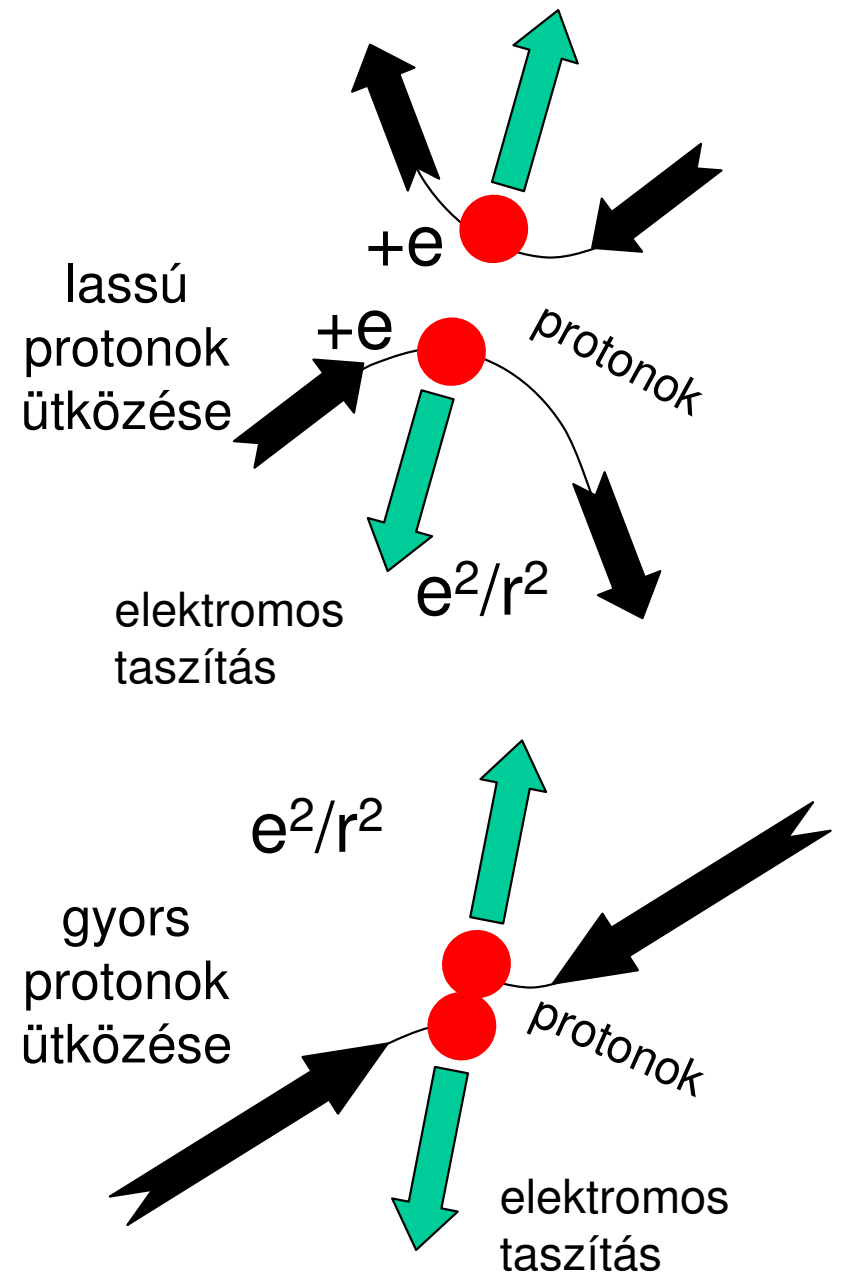
első lépés:
két proton
ütközése:



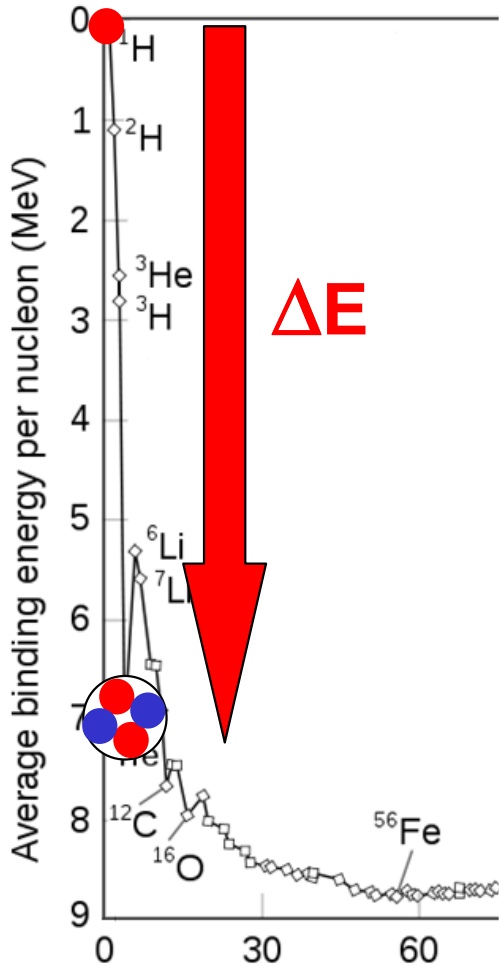
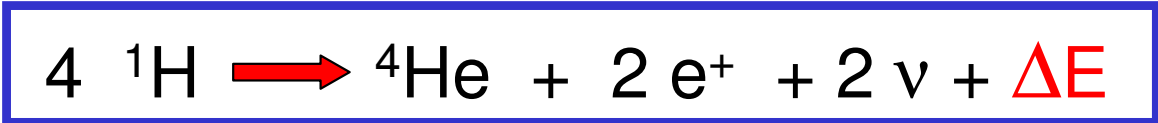
Magfúzió a Napban



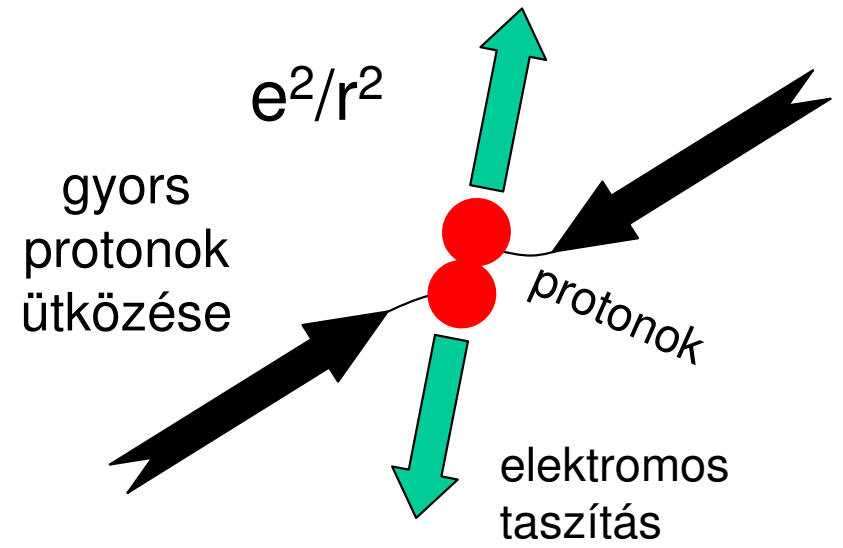
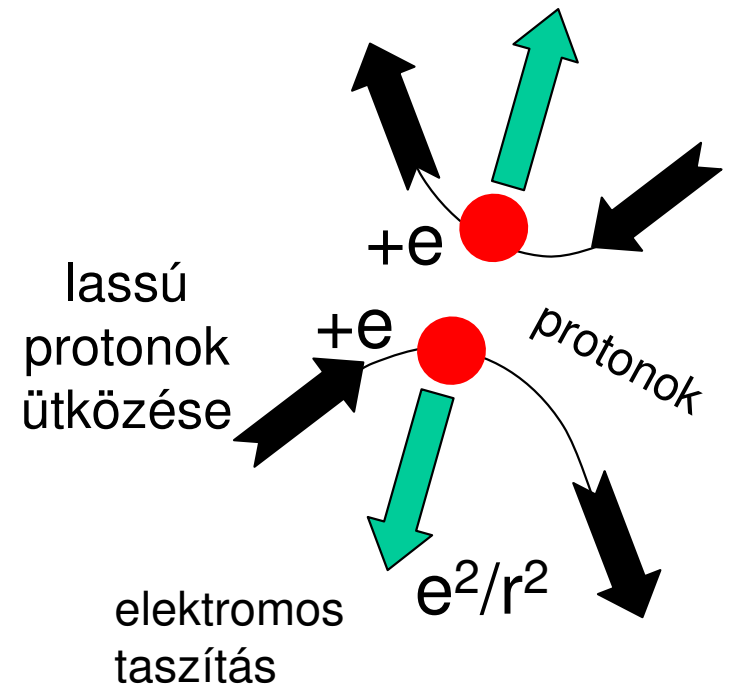
első lépés:
két proton
ütközése:



Magfúzió a Napban



első lépés:
két proton
ütközése:

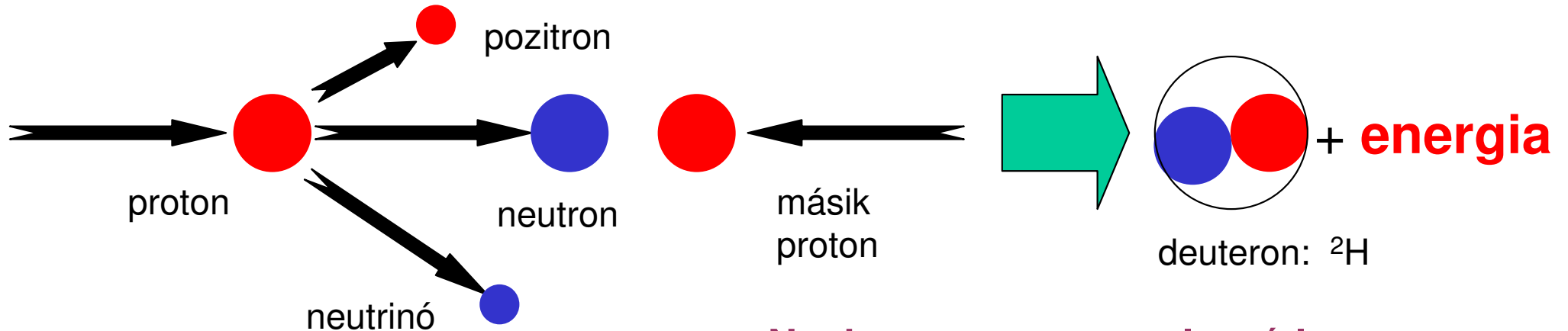


a Nap középpontjában 14 millió fok van!

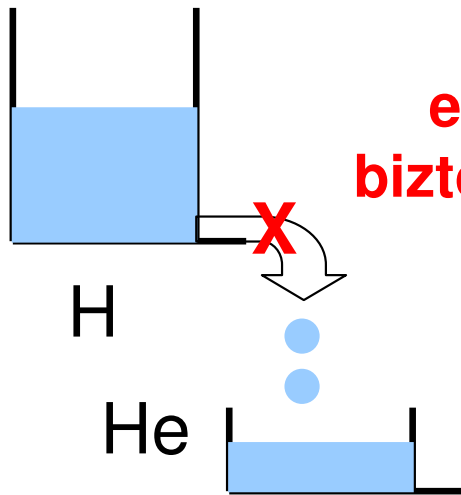


két proton kötött állapota, a ${}^2\text{He}$ atommag NEM LÉTEZIK!

segít a **gyenge kölcsönhatás**:

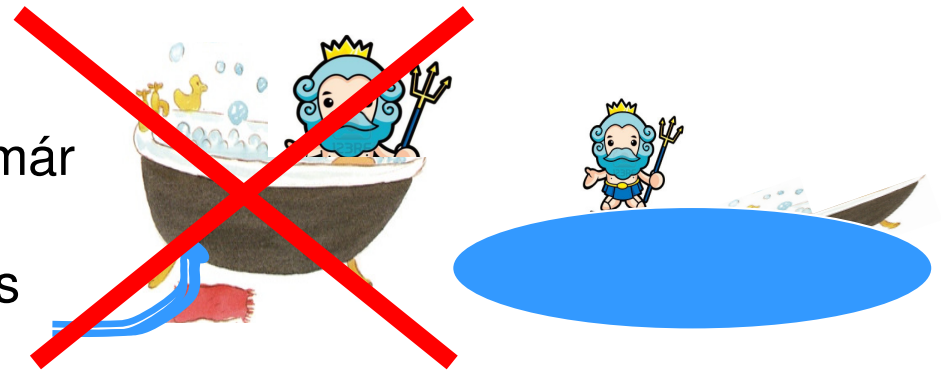


**ez a magfúzió
biztonsági szelepe!**



a további folyamatokat már
az erős kölcsönhatás
kormányozza: kb. 10^{-10} s

a Napban egy protonnal ez átlagosan
1 millió évente történik meg



**az összehúzódó gázfelhő a kritikus
hőmérsékleten azonnal szétrobbanna**

Ha a diproton létezne, a fúziót időskáláját
is az erős kölcsönhatás szabályozná:

Honnan származik a kisugárzott energia?

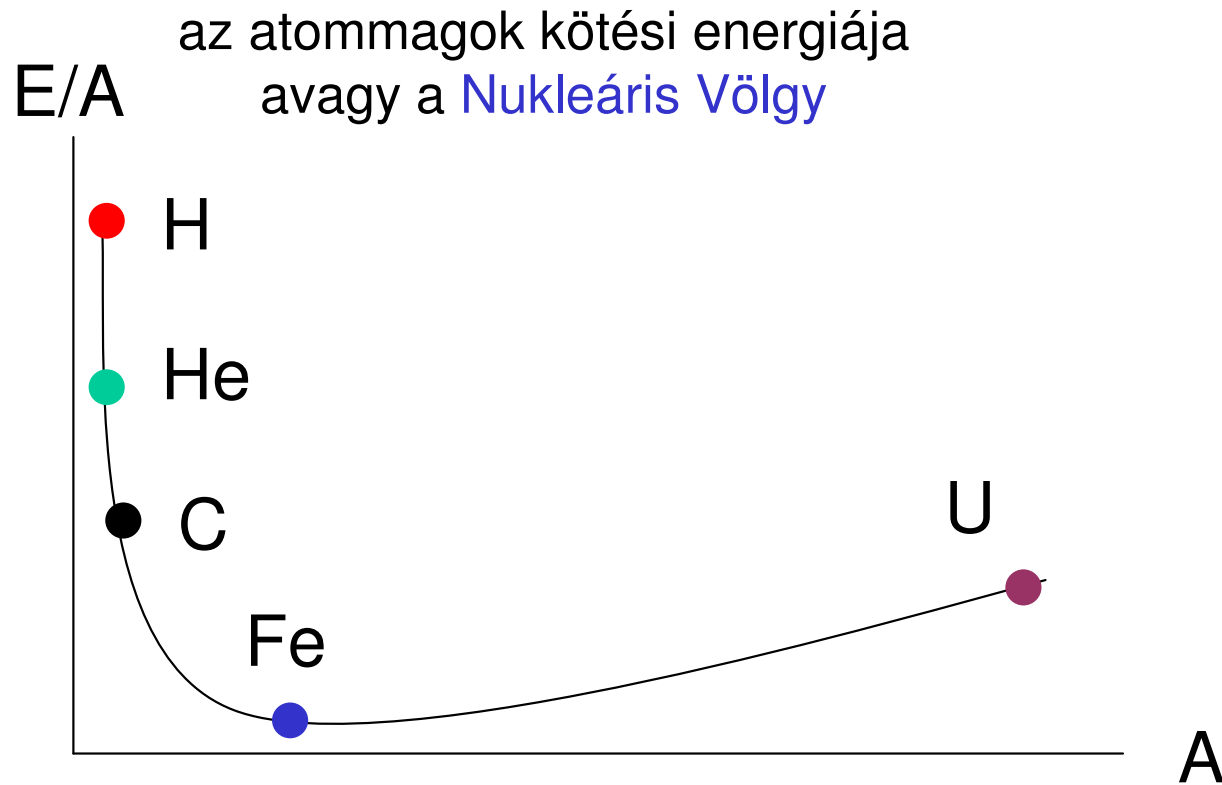


Honnan származik a kisugárzott energia?

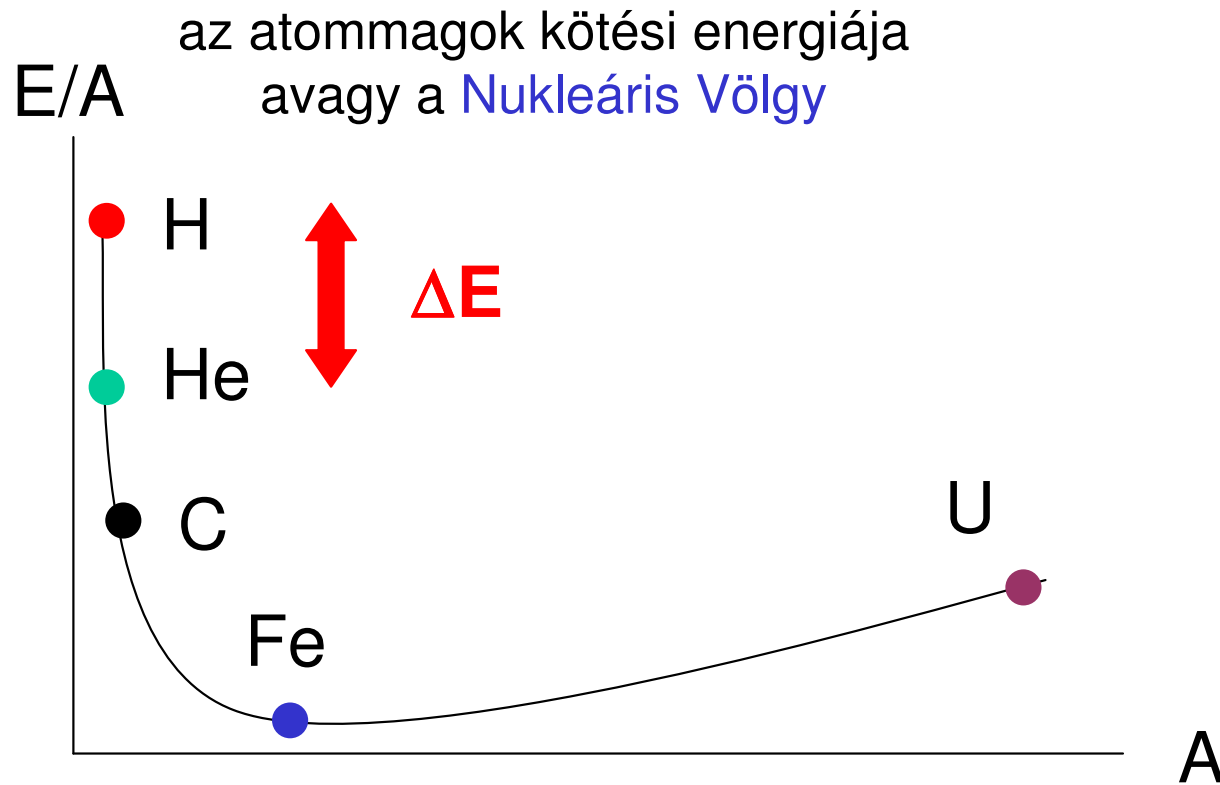
az atommagok kötési energiája
avagy a [Nukleáris Völgy](#)



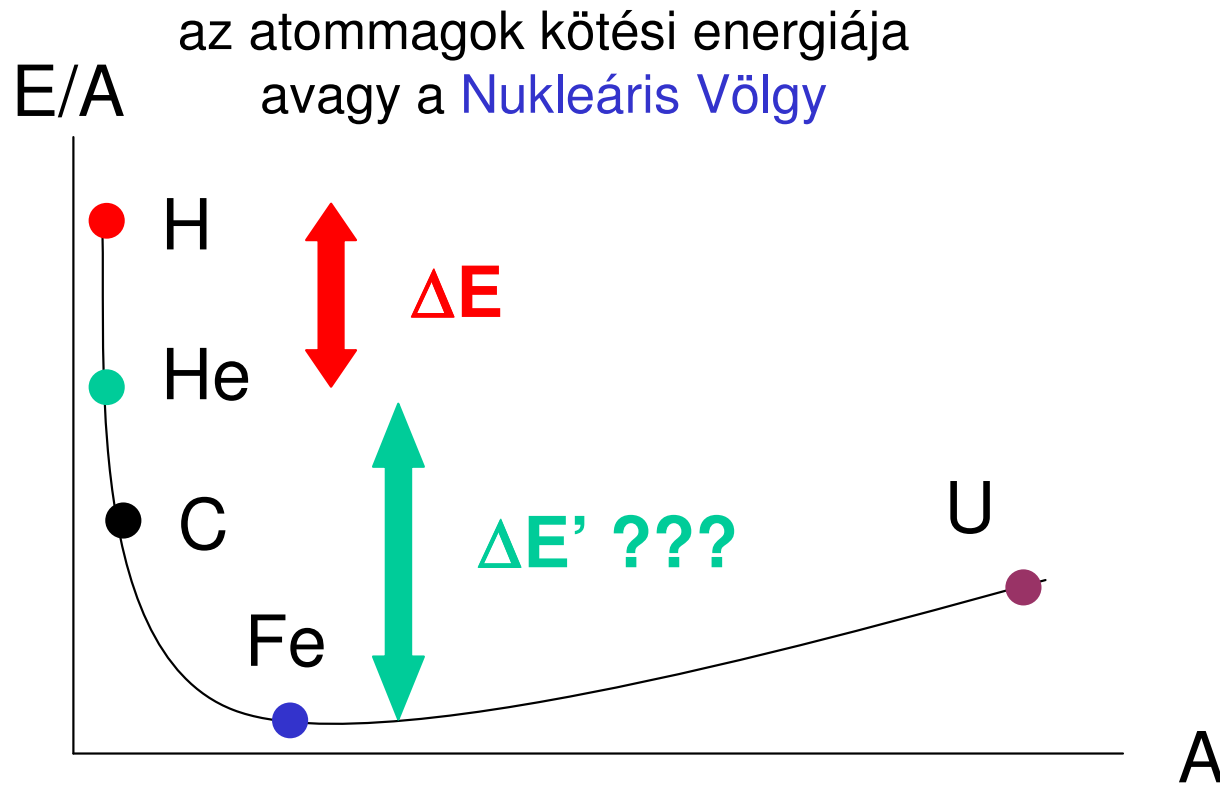
Honnan származik a kisugárzott energia?



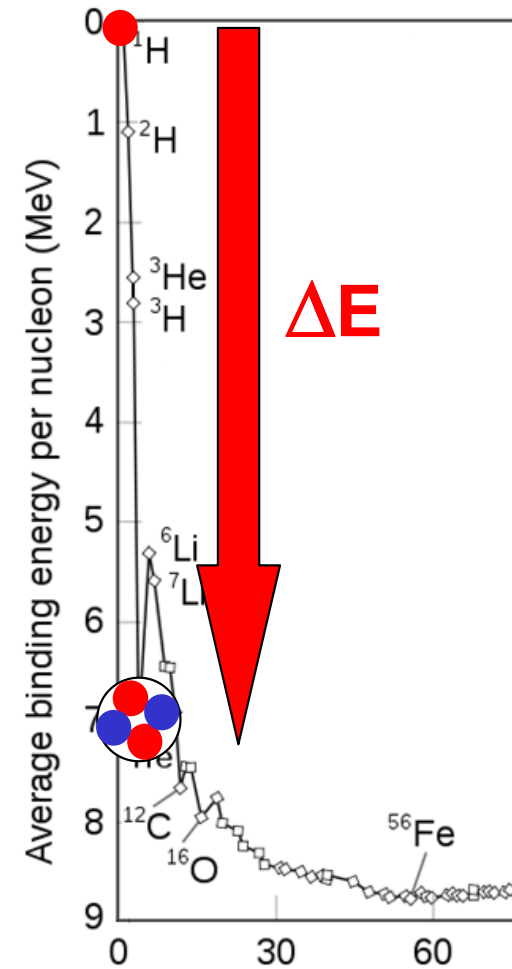
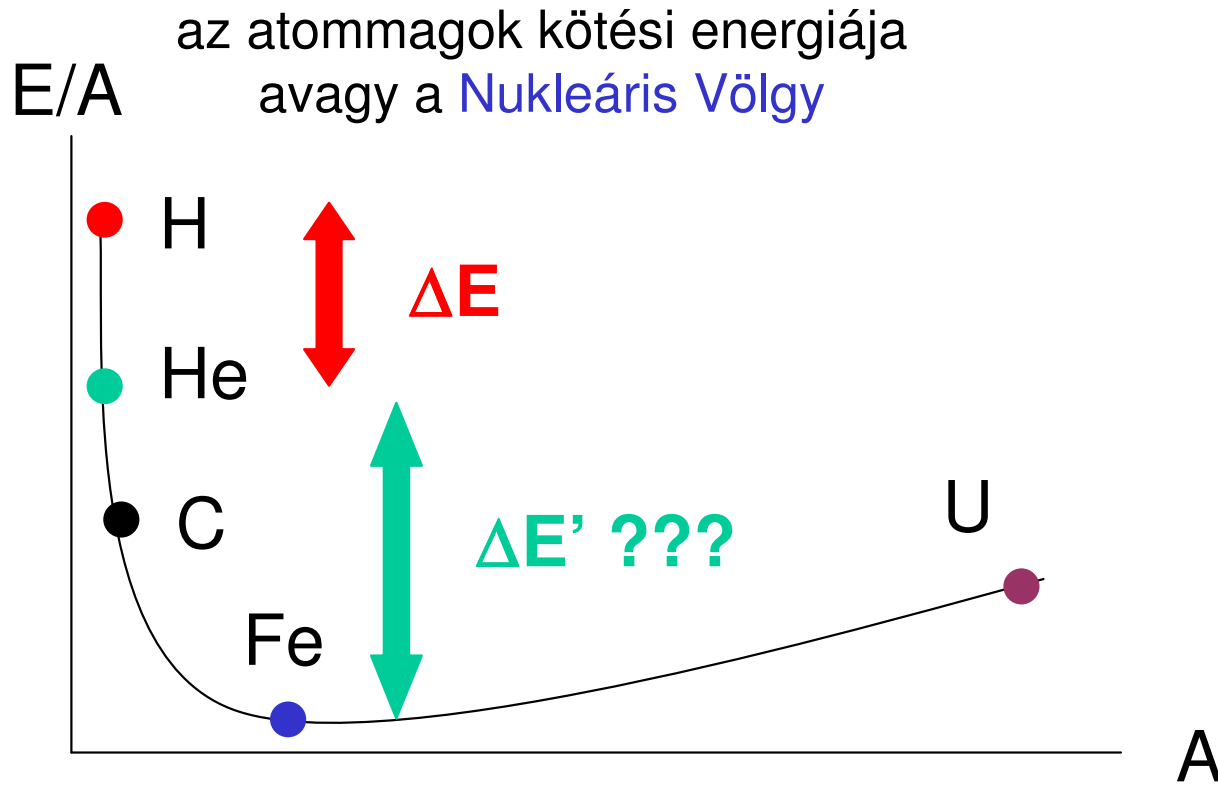
Honnan származik a kisugárzott energia?



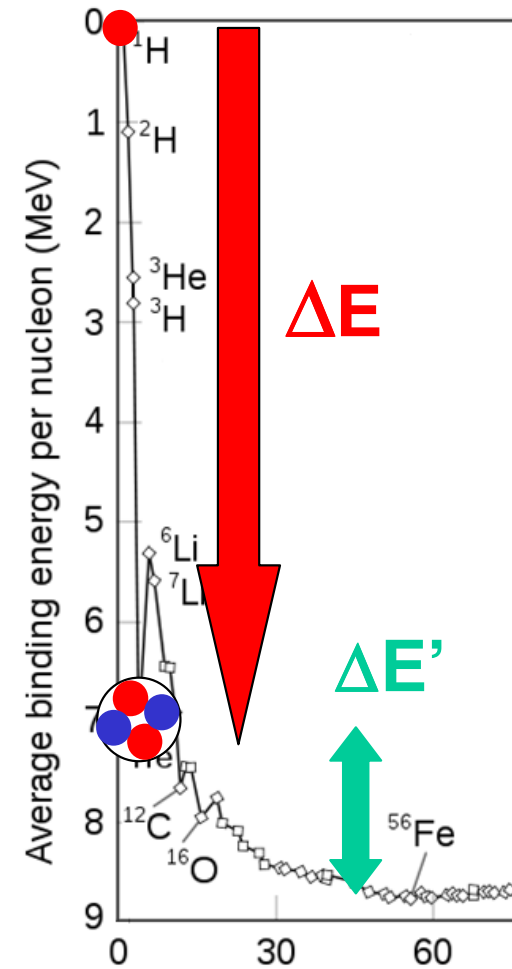
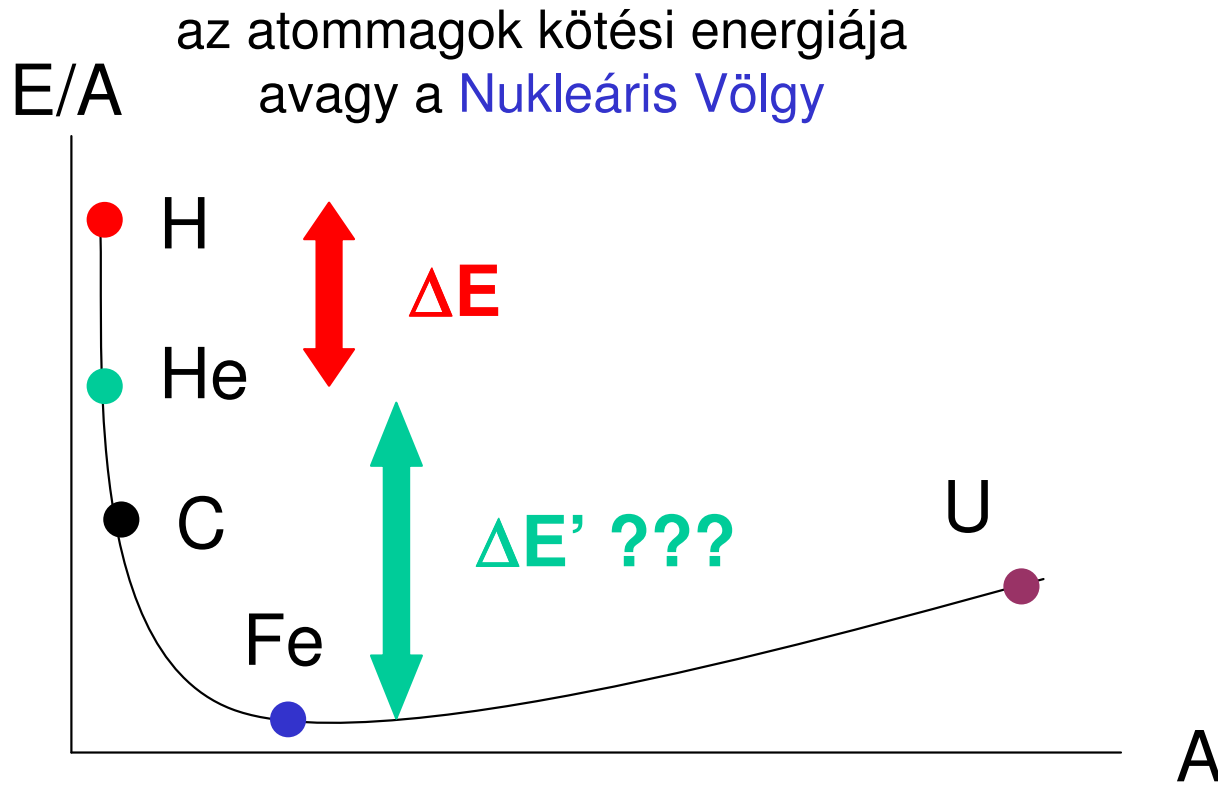
Honnan származik a kisugárzott energia?



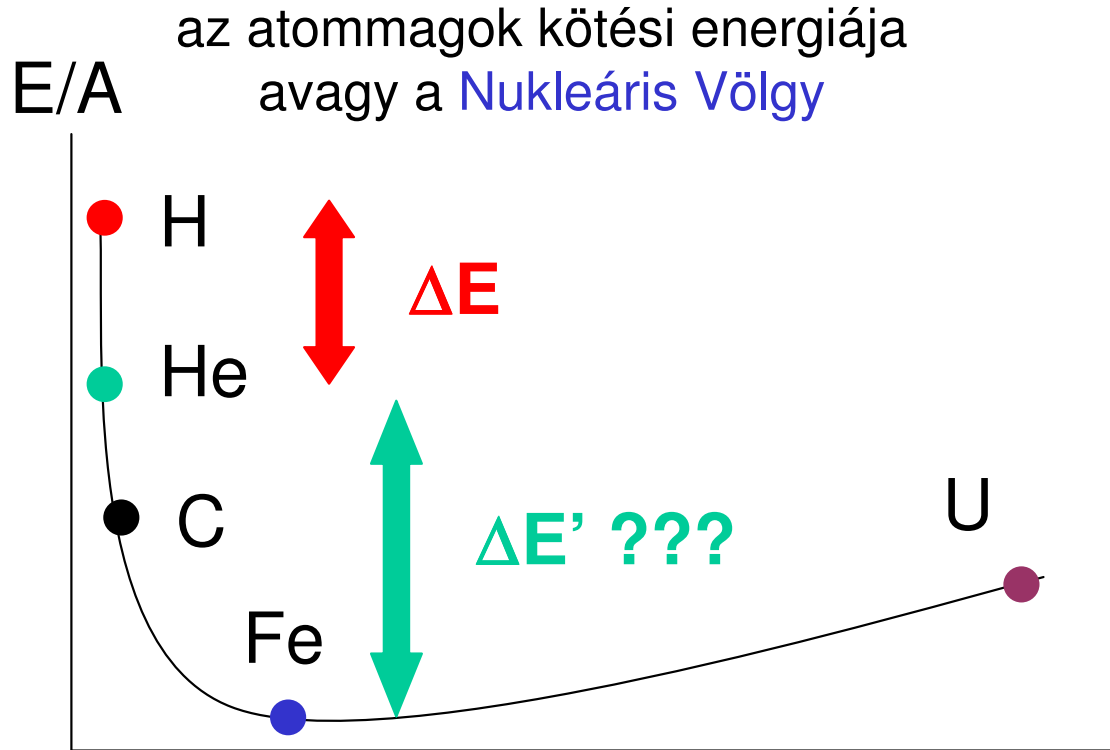
Honnan származik a kisugárzott energia?



Honnan származik a kisugárzott energia?

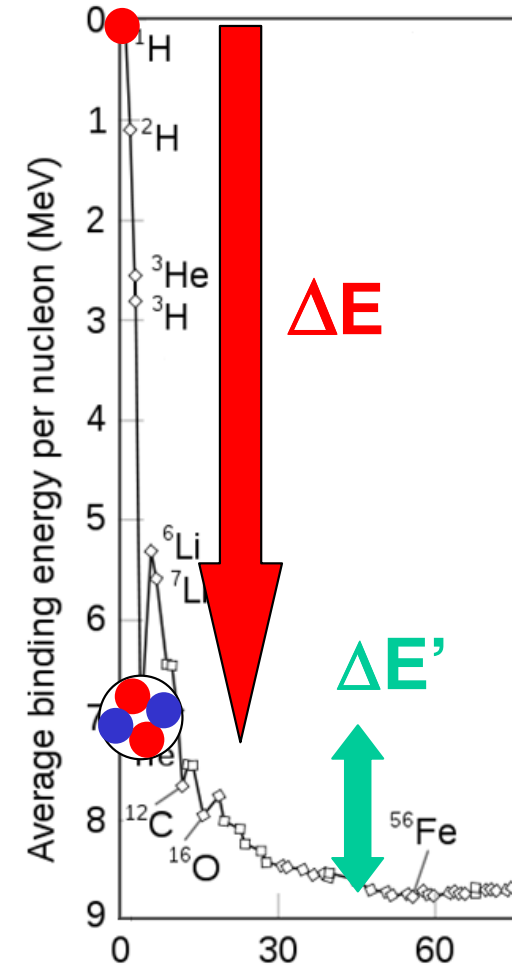


Honnan származik a kisugárzott energia?

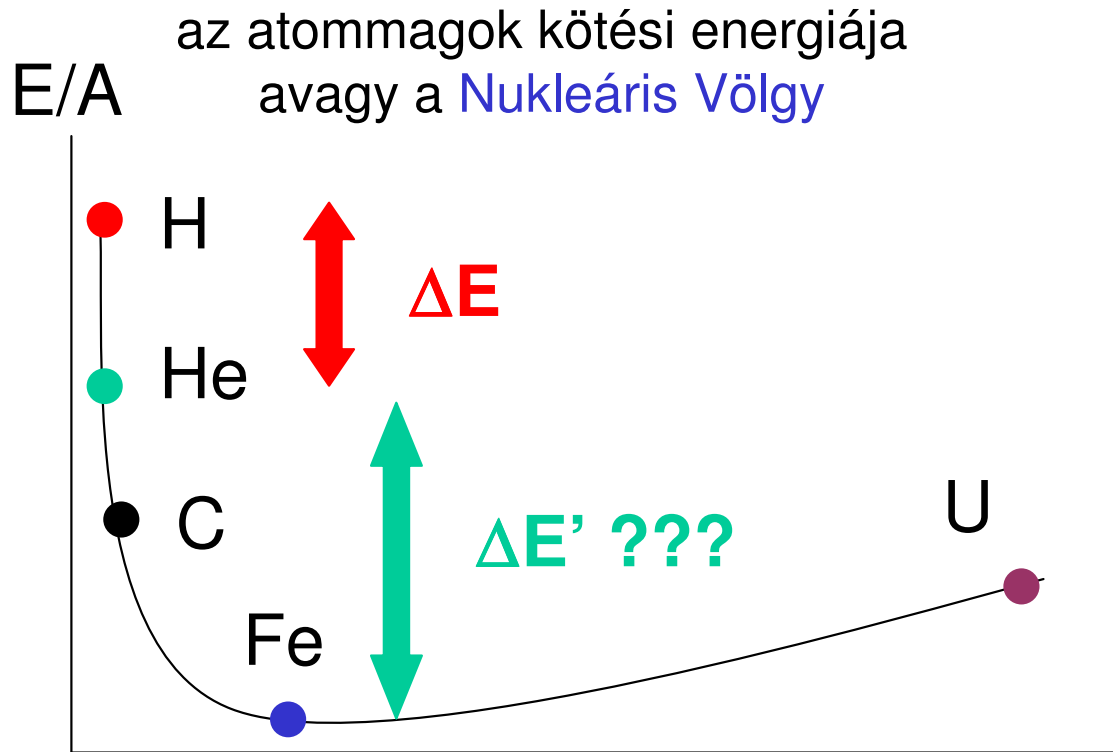


A ${}^4\text{He}$ még nem a végső szó, még nem a legkisebb energiájú állapot!

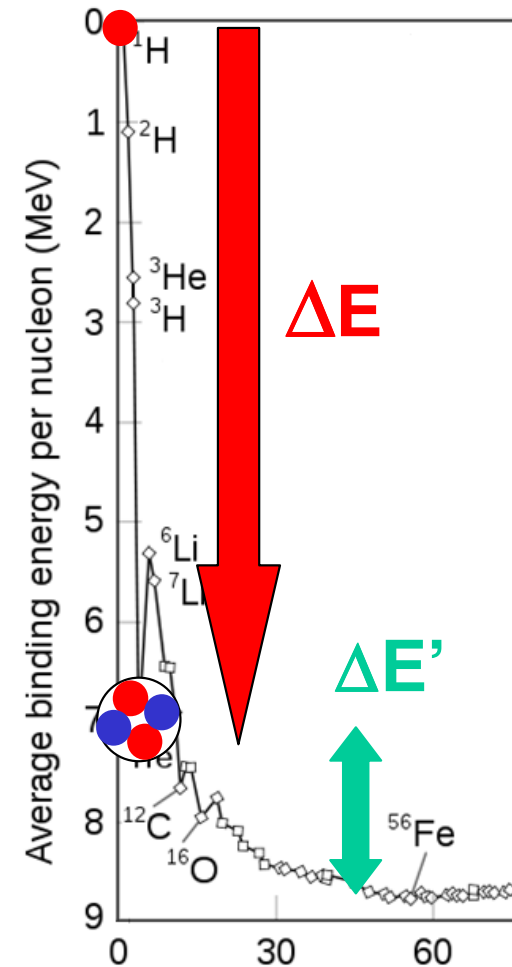
A



Honnan származik a kisugárzott energia?

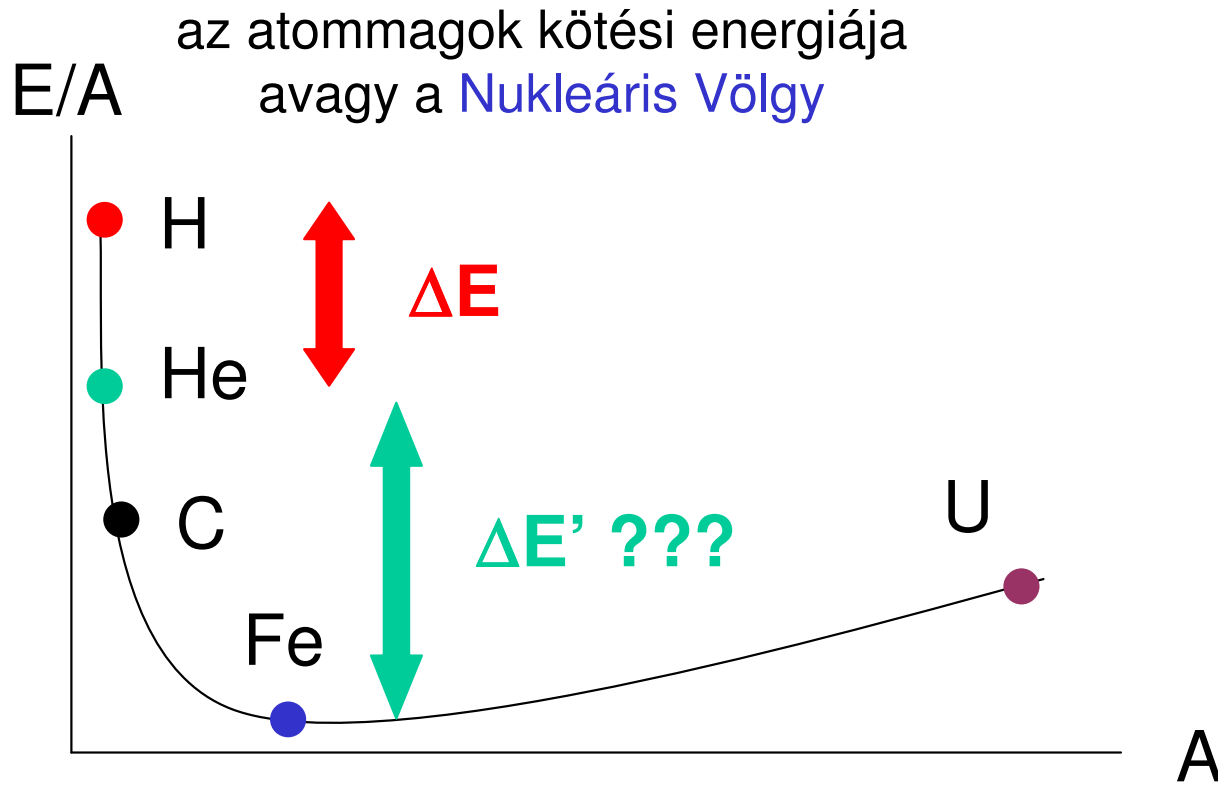


A ${}^4\text{He}$ még nem a végső szó, még nem a legkisebb energiájú állapot!

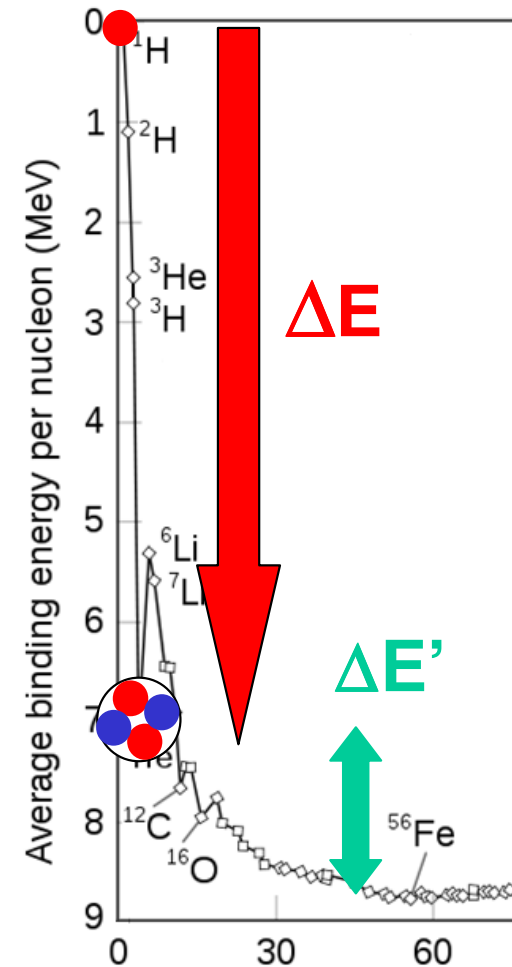


De a ${}^4\text{He}$ egy mély metastabil gödörben van:

Honnan származik a kisugárzott energia?

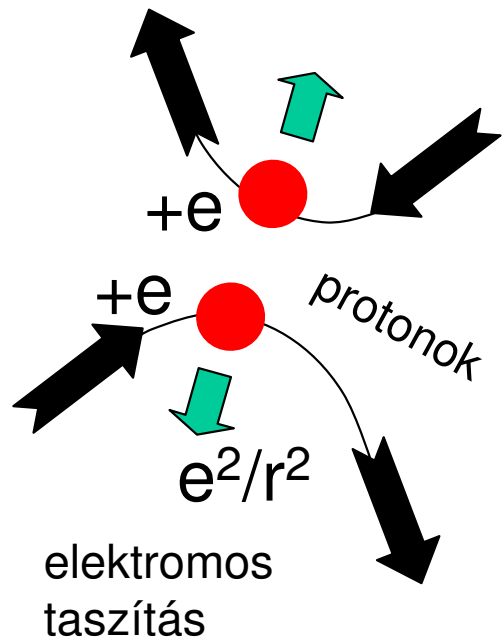


A ${}^4\text{He}$ még nem a végső szó, még nem a legkisebb energiájú állapot!



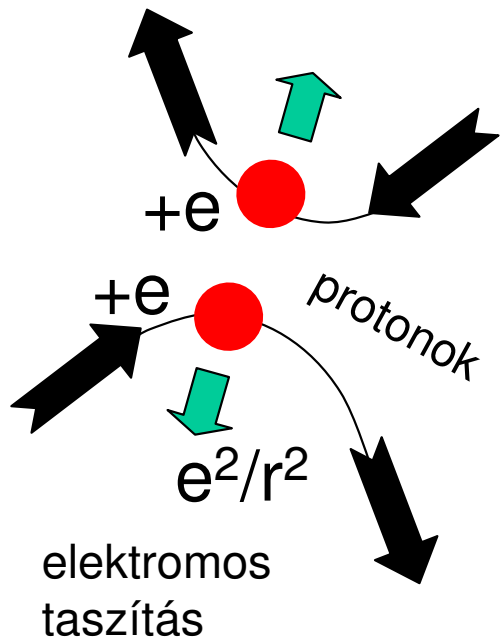
De a ${}^4\text{He}$ egy mély metastabil gödörben van:

Kis energiával gerjeszthetetlen, inert anyag: **HAMU**

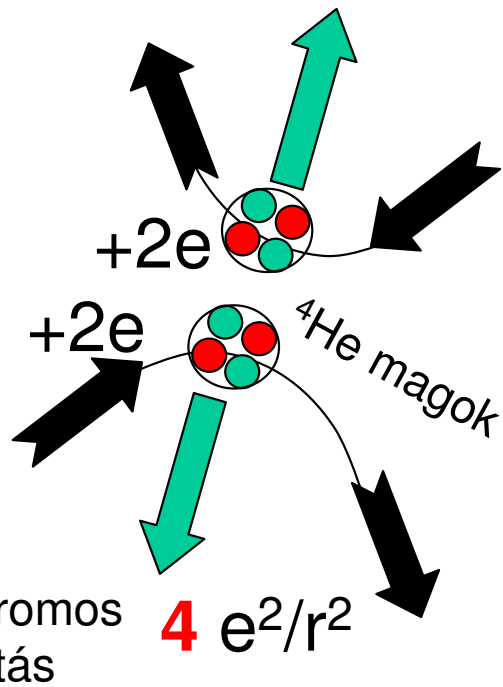


protonok
ütközése

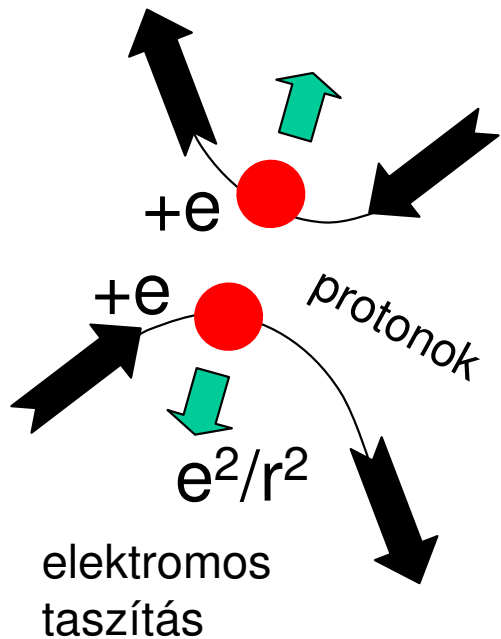
elektromos
taszítás



protonok
ütközése

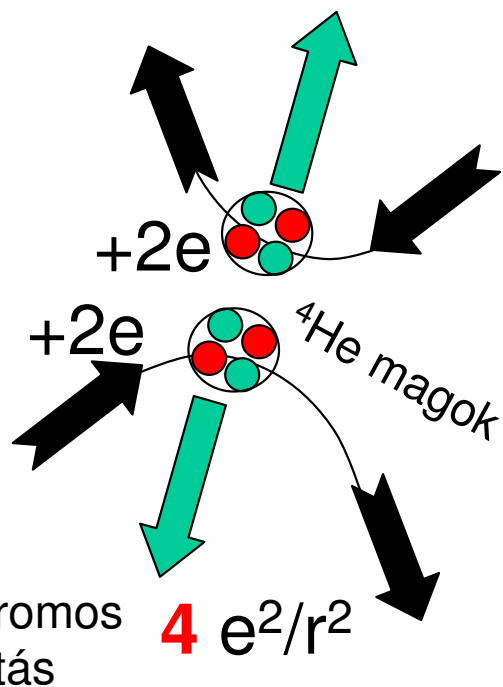


${}^4\text{He}$ magok
ütközése

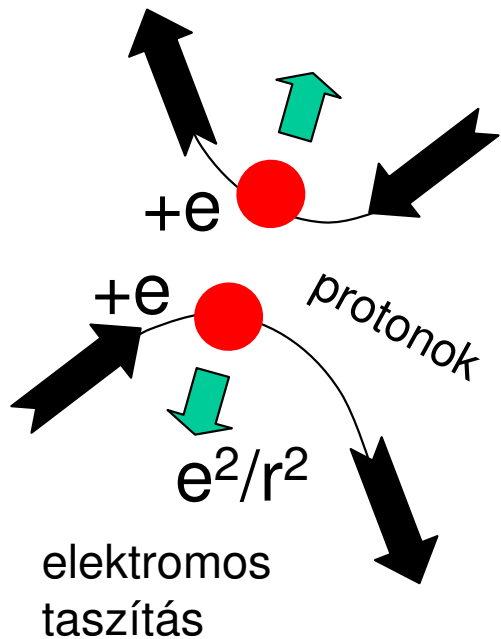


protonok
ütközése

Négyszer nagyobb energia,
azaz sokkal nagyobb
központi hőmérséklet kell
ahhoz, hogy a ${}^4\text{He}$ magok
reakcióképes közelségbe
kerüljenek!



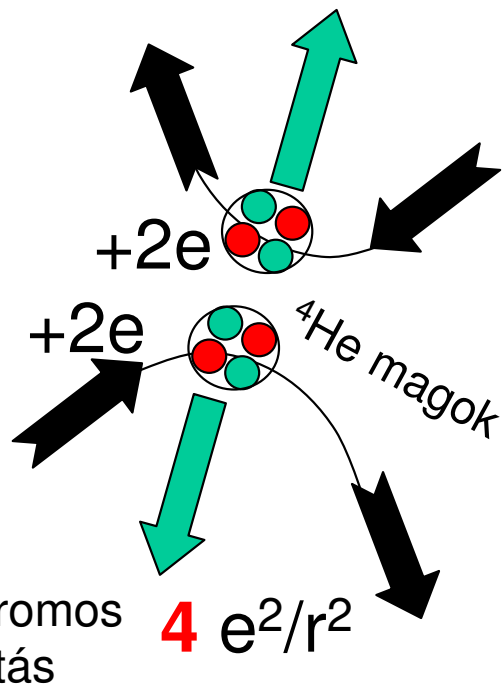
${}^4\text{He}$ magok
ütközése



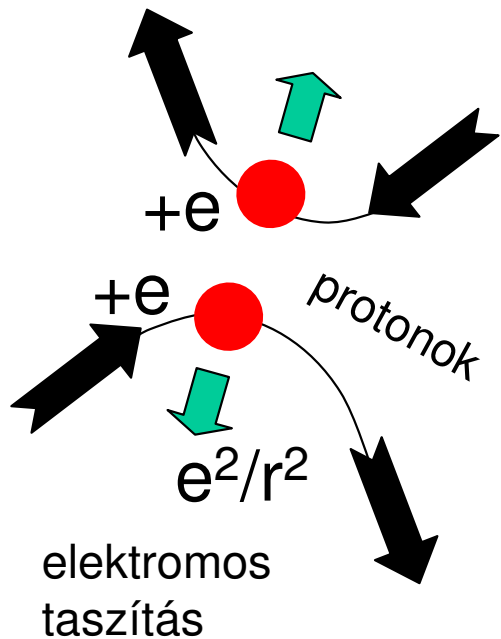
protonok
ütközése

Négyszer nagyobb energia,
azaz sokkal nagyobb
központi hőmérséklet kell
ahhoz, hogy a ^4He magok
reakcióképes közelségbe
kerüljenek!

Ehhez fel kell borítani a
csillag jól bevált termikus és
mechanikai egyensúlyát

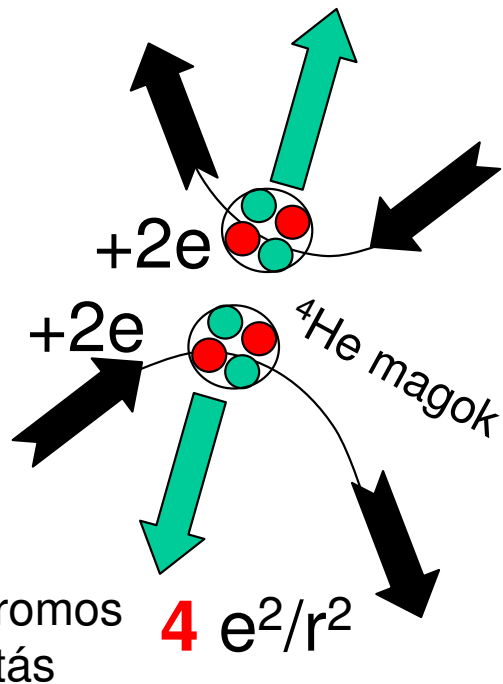


^4He magok
ütközése



protonok
ütközése

Négyszer nagyobb energia,
azaz sokkal nagyobb
központi hőmérséklet kell
ahhoz, hogy a ${}^4\text{He}$ magok
reakcióképes közelségbe
kerüljenek!



${}^4\text{He}$ magok
ütközése

Ehhez fel kell borítani a
csillag jól bevált termikus és
mechanikai egyensúlyát

De az úgyis felborul, amikor
elfogy a centrumban a
hidrogén...

Ha elfogy a hidrogén...



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden
átrendeződik



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden
átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden
átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden
átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
a hamu aktivizálódik, üzemanyag lesz belőle:



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
**a hamu aktivizálódik, üzemanyag
lesz belőle:**
beindul a hélium-fúzió



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
**a hamu aktivizálódik, üzemanyag
lesz belőle:**
beindul a hélium-fúzió

**FOLYT KÖV:
a csillag termodinamikai kalandjai
még nem értek véget...**



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
**a hamu aktivizálódik, üzemanyag
lesz belőle:**
beindul a hélium-fúzió

**FOLYT KÖV:
a csillag termodinamikai kalandjai
még nem értek véget...**

bár van, akinek véget értek:
a Napban nem lesz elég meleg
a további fúzióhoz...



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
**a hamu aktivizálódik, üzemanyag
lesz belőle:**
beindul a hélium-fúzió

FOLYT KÖV:
**a csillag termodinamikai kalandjai
még nem értek véget...**

bár van, akinek véget értek:
a Napban nem lesz elég meleg
a további fúzióhoz...

túl kicsi a tömege!



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

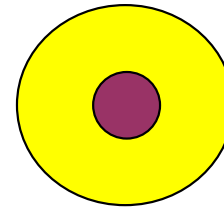
ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
**a hamu aktivizálódik, üzemanyag
lesz belőle:**
beindul a hélium-fúzió

FOLYT KÖV:
**a csillag termodinamikai kalandjai
még nem értek véget...**

bár van, akinek véget értek:
a Napban nem lesz elég meleg
a további fúzióhoz...

túl kicsi a tömege!

Nap



Föld

Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

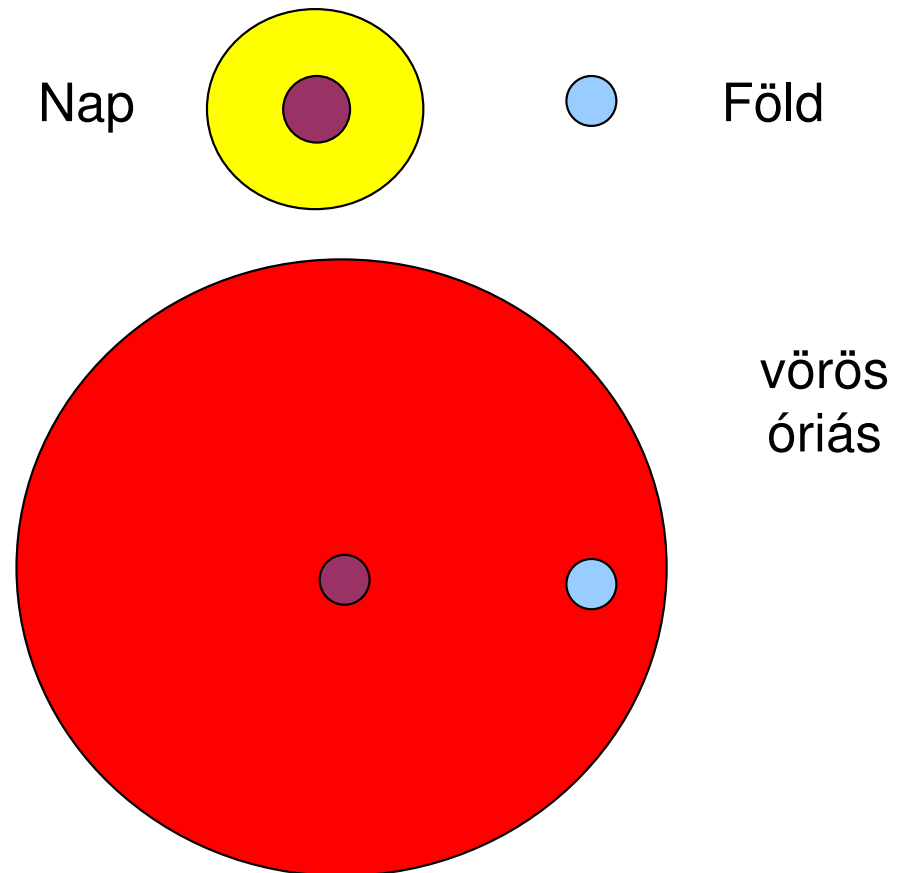
ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
a hamu aktivizálódik, üzemanyag lesz belőle:
beindul a hélium-fúzió

FOLYT KÖV:
a csillag termodinamikai kalandjai még nem értek véget...

bár van, akinek véget értek:
a Napban nem lesz elég meleg
a további fúzióhoz...

túl kicsi a tömege!



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

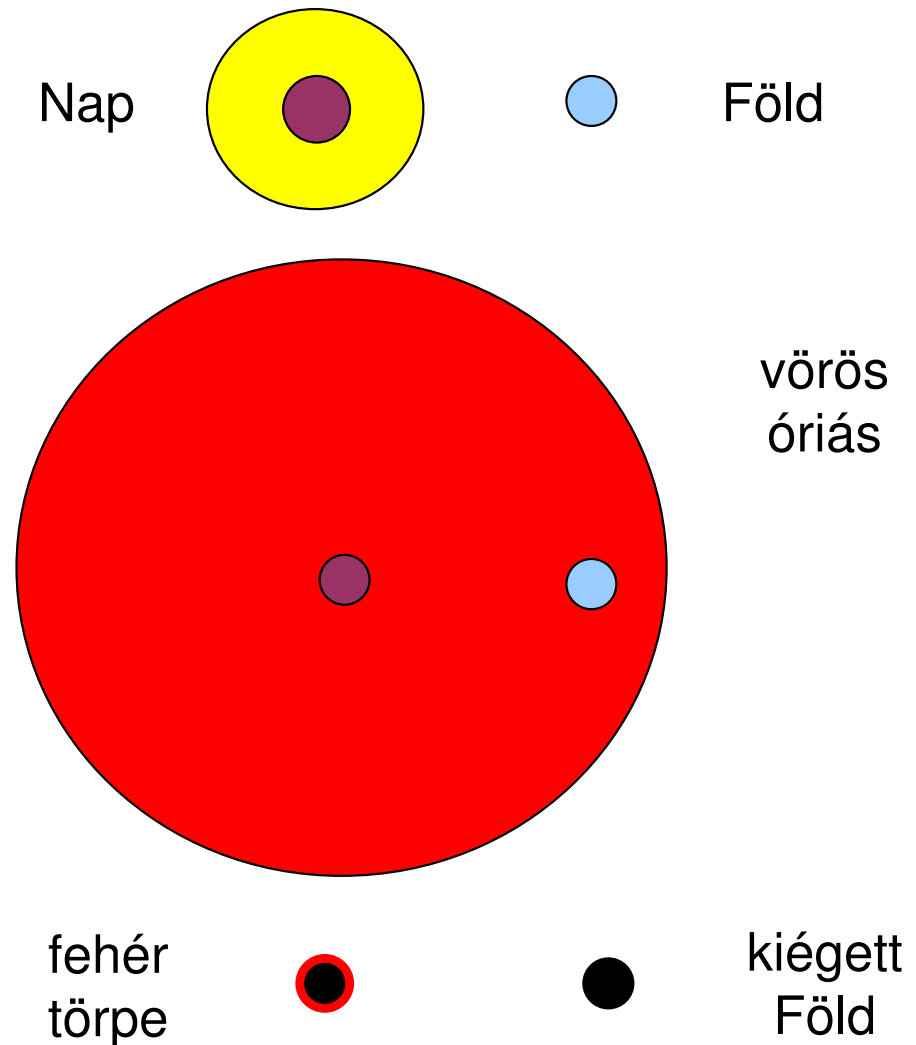
ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
a hamu aktivizálódik, üzemanyag lesz belőle:
beindul a hélium-fúzió

FOLYT KÖV:
a csillag termodinamikai kalandjai még nem értek véget...

bár van, akinek véget értek:
a Napban nem lesz elég meleg
a további fúzióhoz...

túl kicsi a tömege!



Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot (közben a külső héj felfúvódik)

ismét a régi trükk a negatív fajhővel: a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet, a metastabil helyzet „kiolvad”,

a hamu aktivizálódik, üzemanyag lesz belőle:

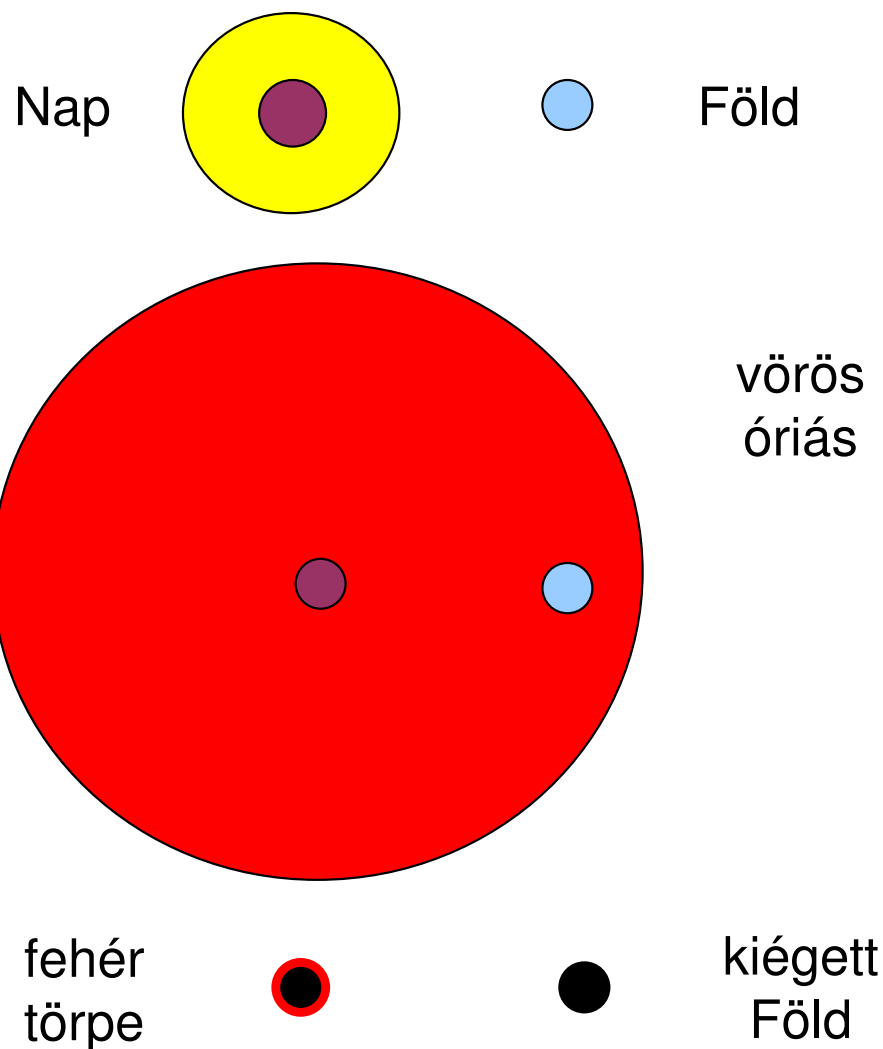
beindul a hélium-fúzió

FOLYT KÖV:

a csillag termodinamikai kalandjai még nem értek véget...

bár van, akinek véget értek: a Napban nem lesz elég meleg a további fúzióhoz...

túl kicsi a tömege!



a vörös óriásból törvényszerűen fehér törpe lesz... (pol. incorrect, 1976)

Ha elfogy a hidrogén...

az egyensúly megbomlik, minden átrendeződik

a gravitáció összehúzza a centrumot
(közben a külső héj felfúvódik)

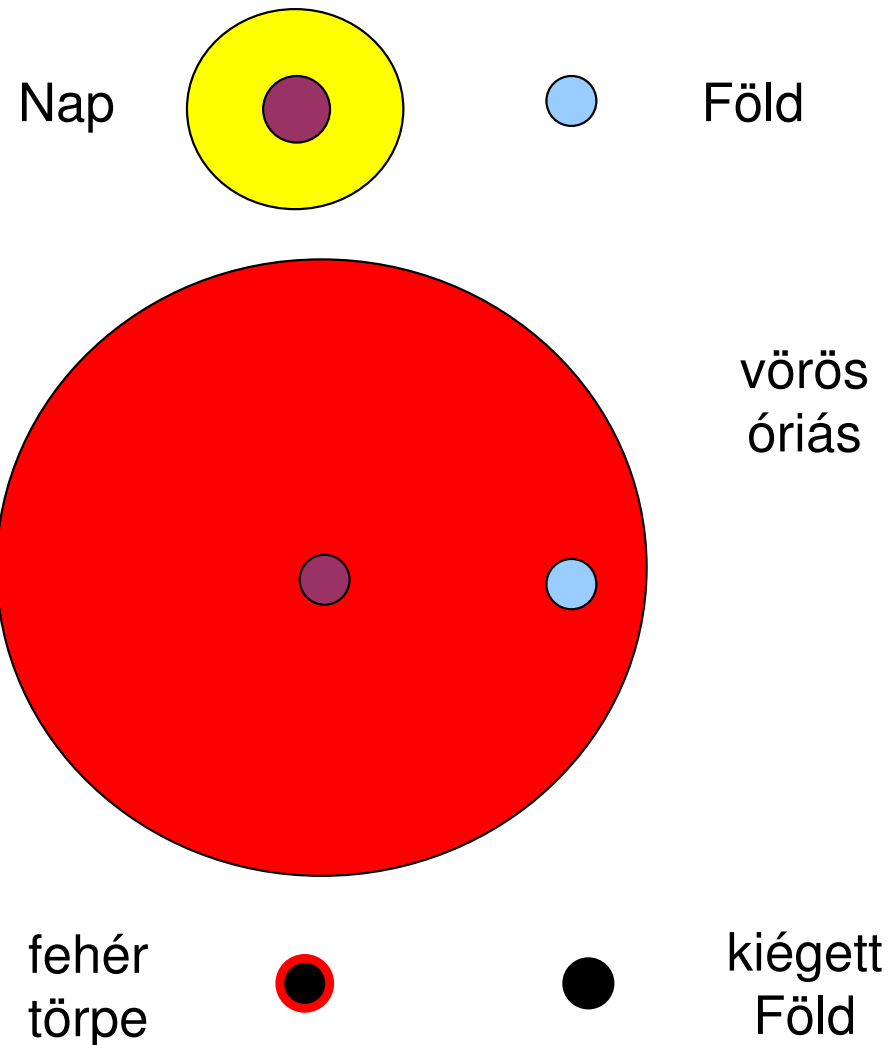
ismét a régi trükk a negatív fajhővel:
a centrum melegszik

ha eléri a szükséges hőmérsékletet,
a metastabil helyzet „kiolvad”,
a hamu aktivizálódik, üzemanyag lesz belőle:
beindul a hélium-fúzió

FOLYT KÖV:
a csillag termodinamikai kalandjai még nem értek véget...

bár van, akinek véget értek:
a Napban nem lesz elég meleg
a további fúzióhoz...

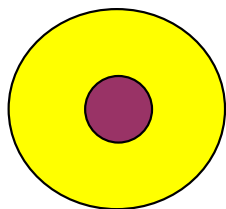
túl kicsi a tömege!

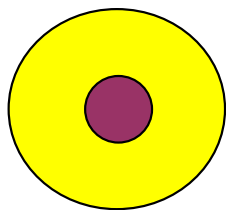


a vörös óriásból törvényszerűen fehér törpe lesz... (*pol. incorrect, 1976*)

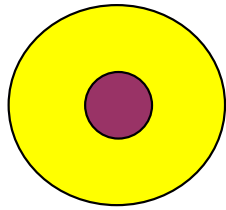
röpke ötmilliárd év múlva



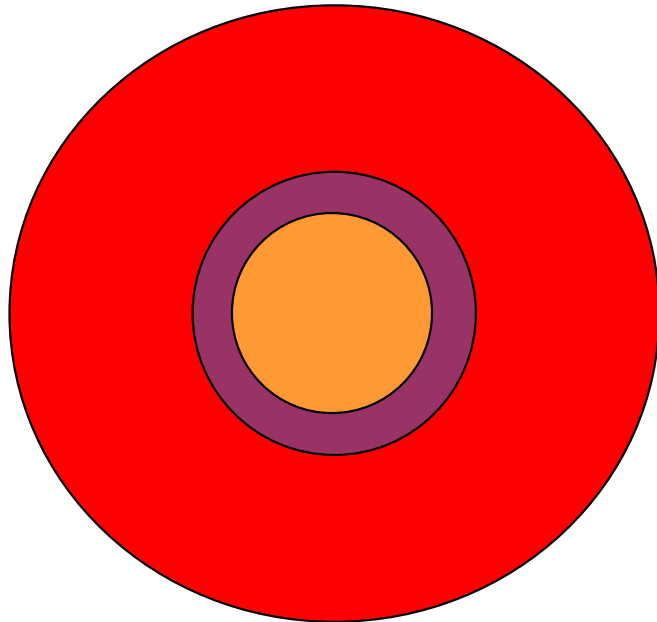


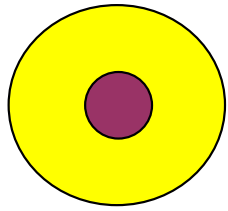


nagyobb
tömegű
csillag

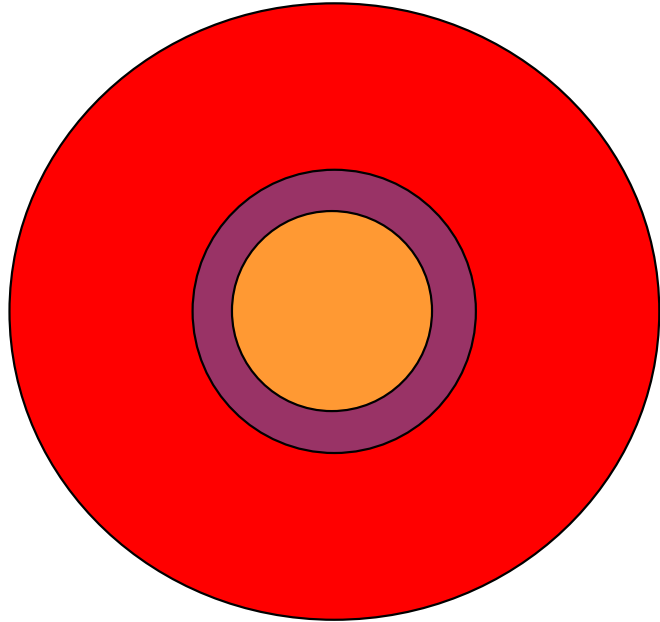


nagyobb
tömegű
csillag

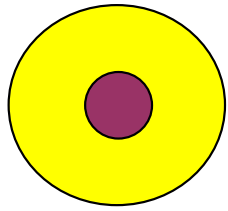




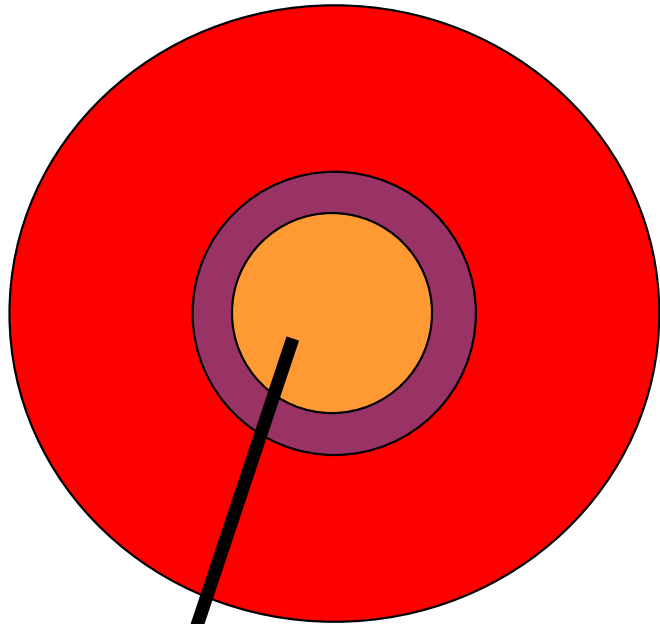
nagyobb
tömegű
csillag



vörös
óriás



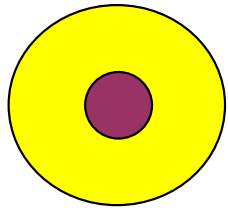
nagyobb
tömegű
csillag



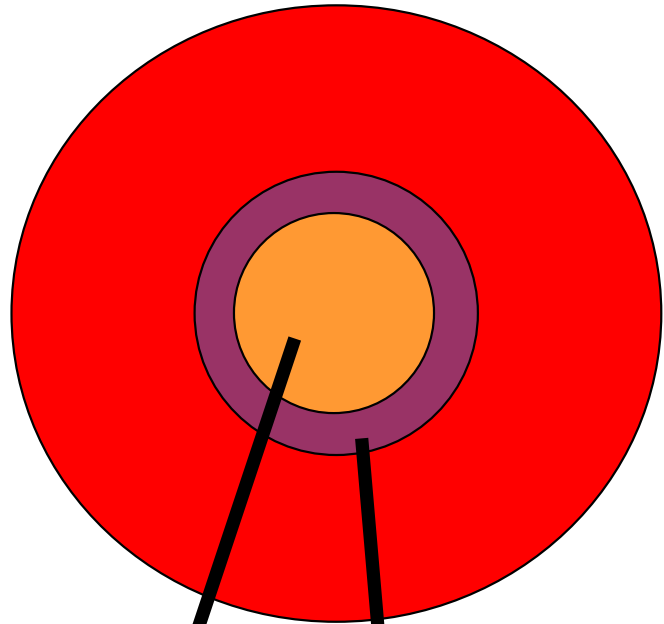
vörös
óriás

He-
égető
mag





nagyobb
tömegű
csillag

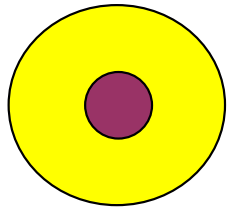


vörös
óriás

He-
égető
mag

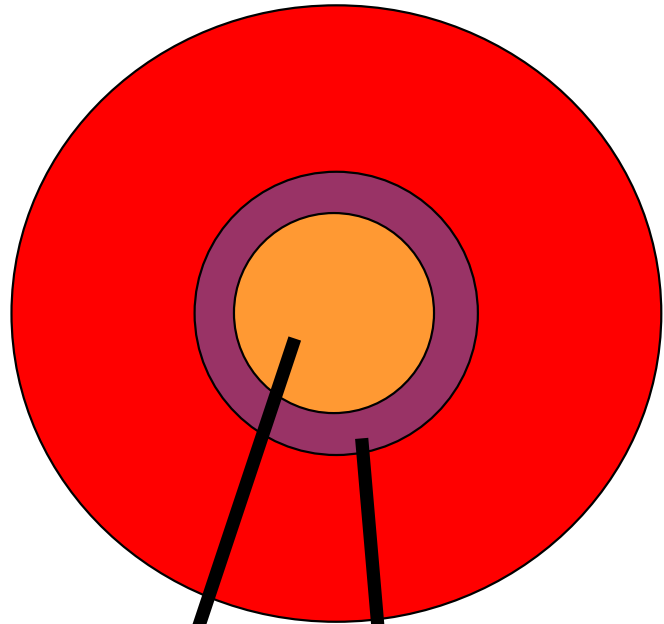
H-
égető
héj





nagyobb
tömegű
csillag

tovább a nukleáris lejtőn...

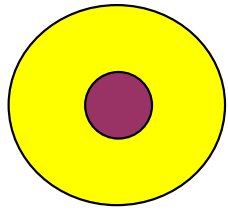


vörös
óriás

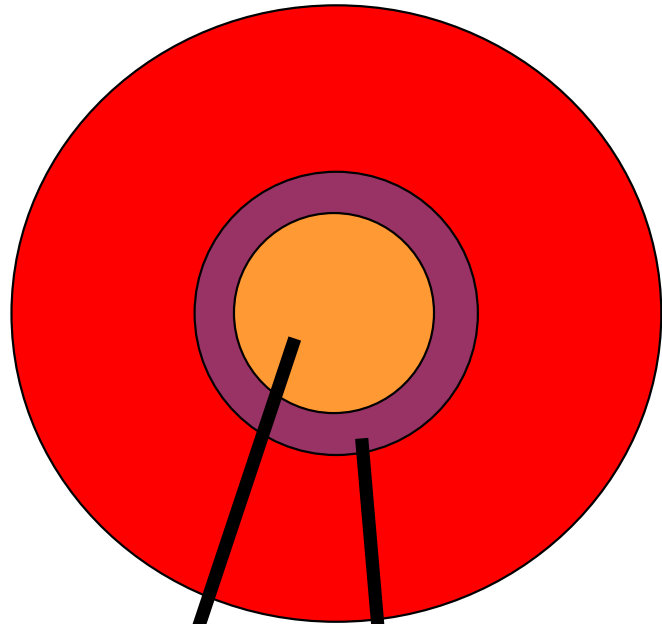
He-
égető
mag

H-
égető
héj





nagyobb
tömegű
csillag

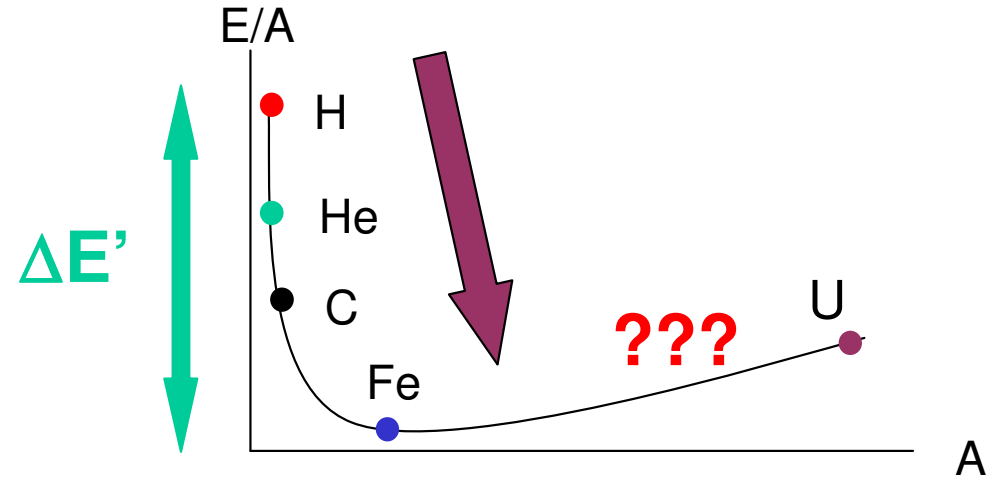


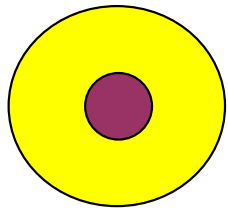
vörös
óriás

He-
égető
mag

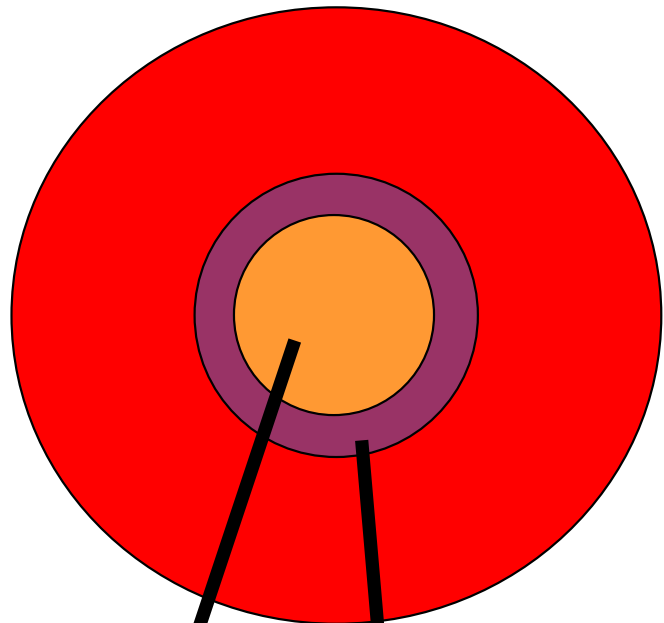
H-
égető
héj

tovább a nukleáris lejtőn...





nagyobb
tömegű
csillag

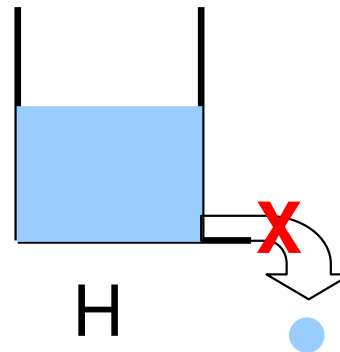
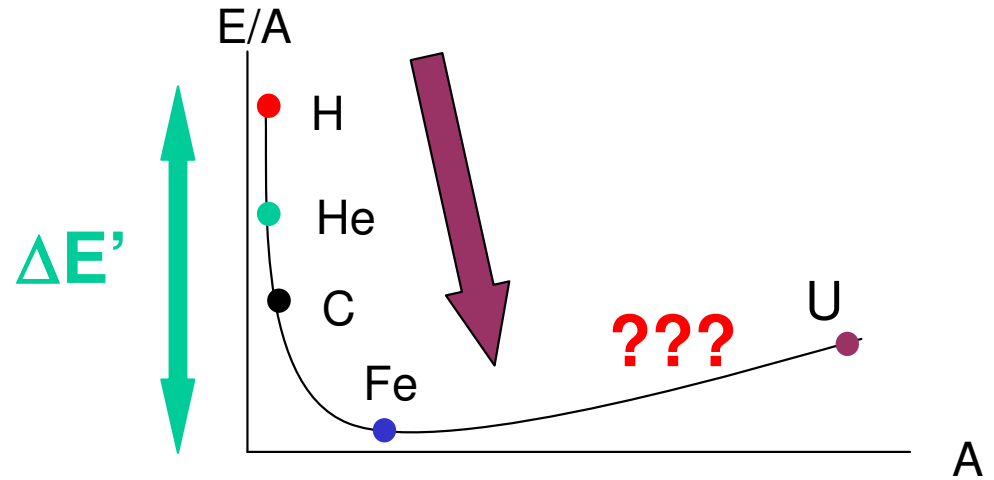


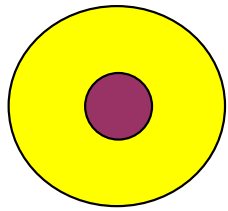
vörös
óriás

He-
égető
mag

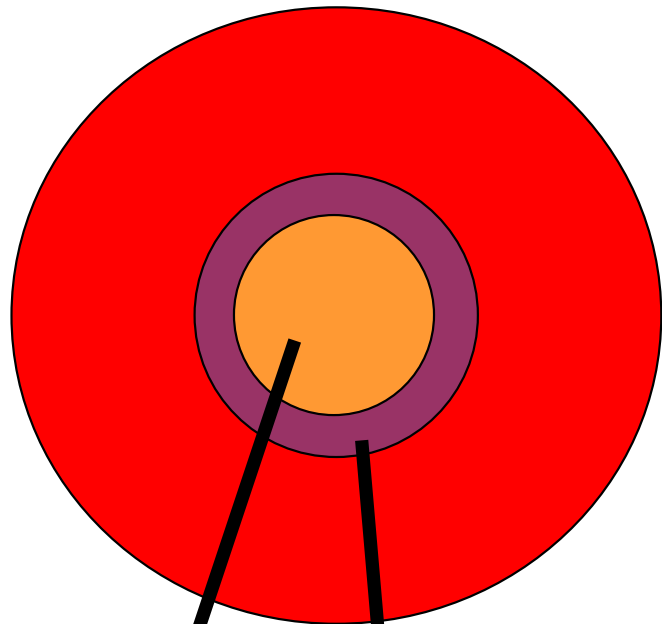
H-
égető
héj

tovább a nukleáris lejtőn...





nagyobb
tömegű
csillag

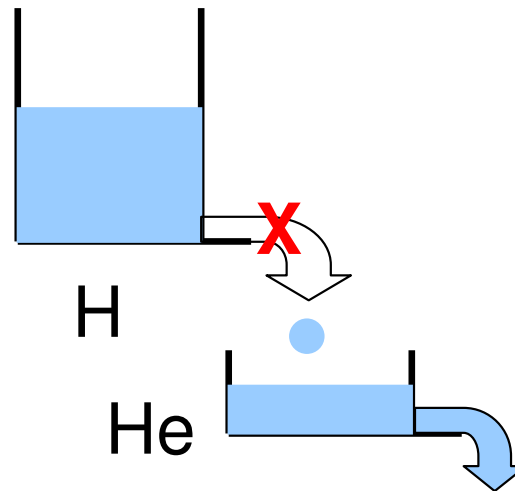
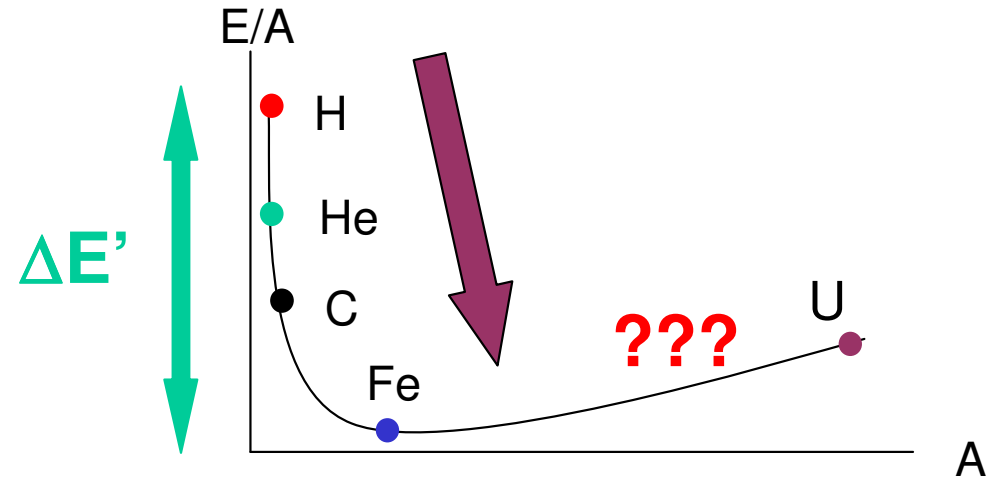


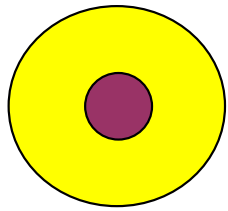
vörös
óriás

He-
égető
mag

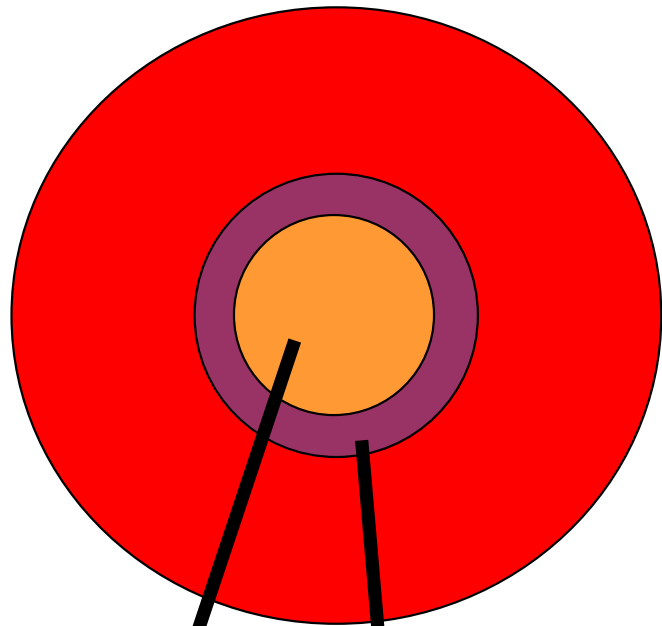
H-
égető
héj

tovább a nukleáris lejtőn...





nagyobb
tömegű
csillag

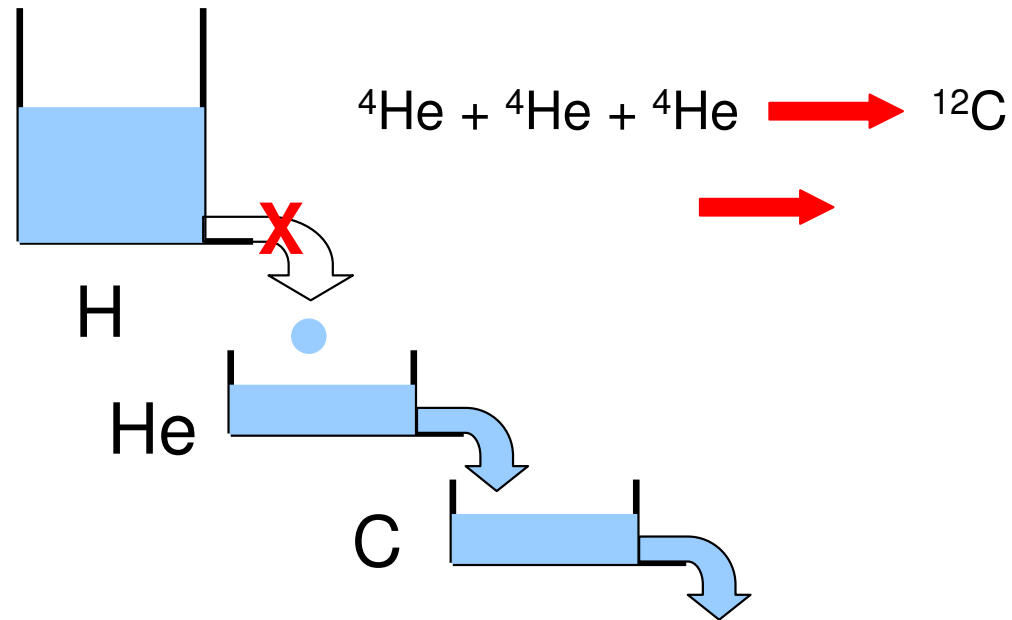
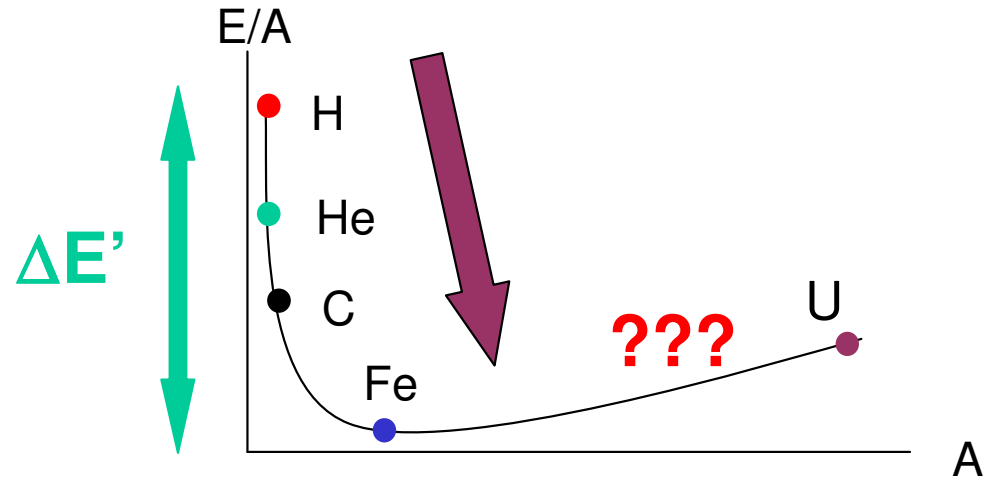


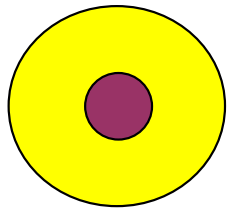
vörös
óriás

He-
égető
mag

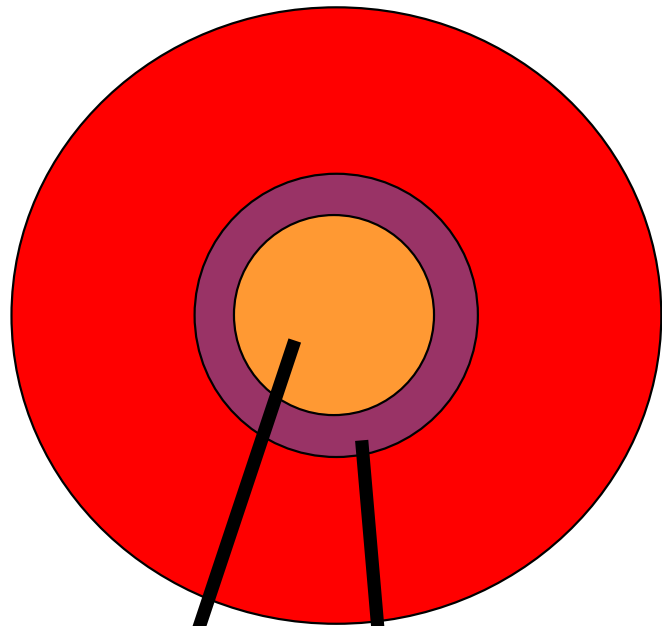
H-
égető
héj

tovább a nukleáris lejtőn...





nagyobb
tömegű
csillag

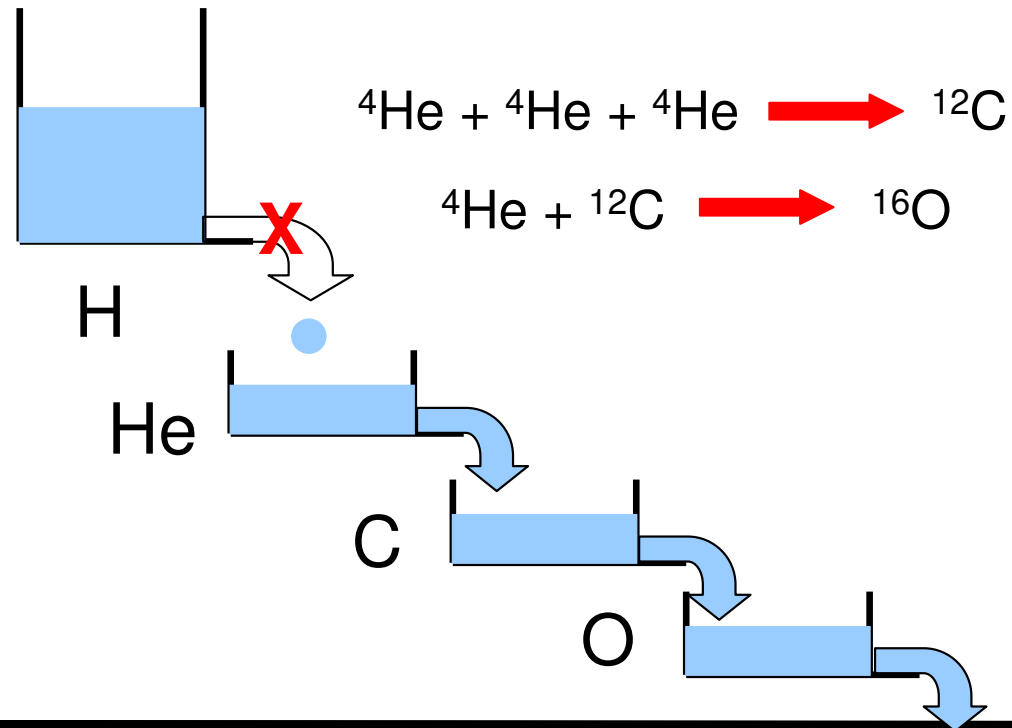
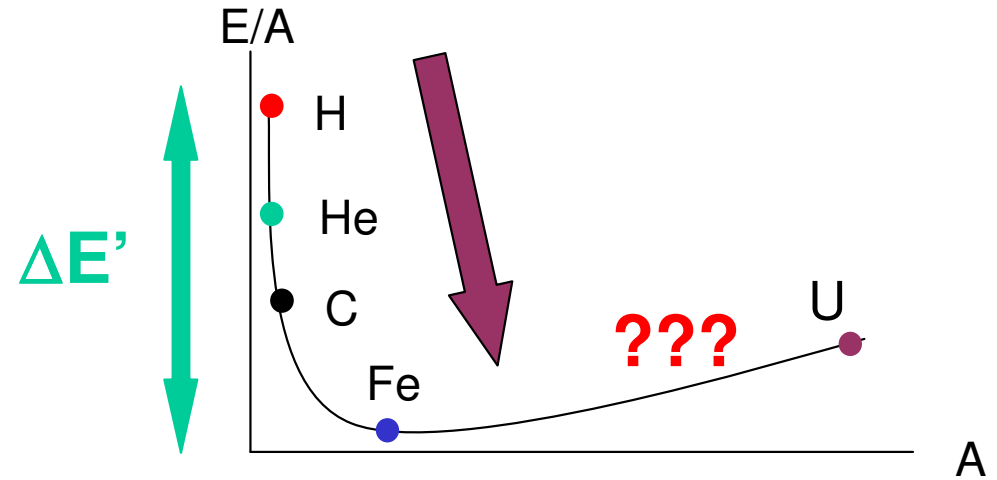


vörös
óriás

He-
égető
mag

H-
égető
héj

tovább a nukleáris lejtőn...



Többfelvonásos nukleáris szappanopera



Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,



Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:



Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be
mindegyikhez nagyobb
„begyújtási” hőmérséklet kell

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be
mindegyikhez nagyobb
„begyújtási” hőmérséklet kell

Tovább a nukleáris lejtőn lefele!



Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



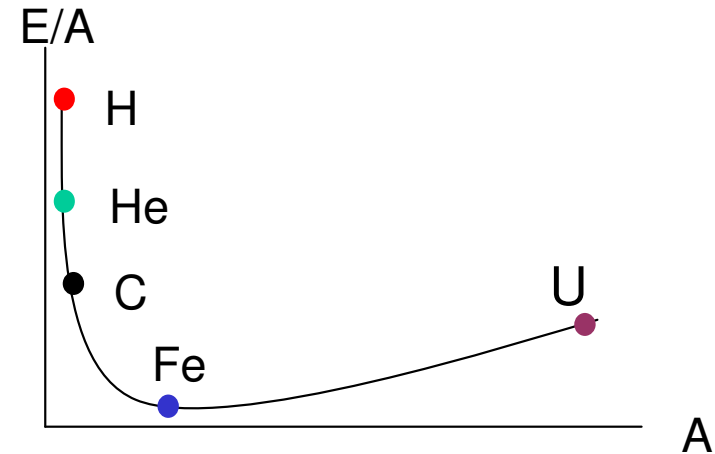
az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be
mindegyikhez nagyobb
„begyújtási” hőmérséklet kell



Tovább a nukleáris lejtőn lefele!

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



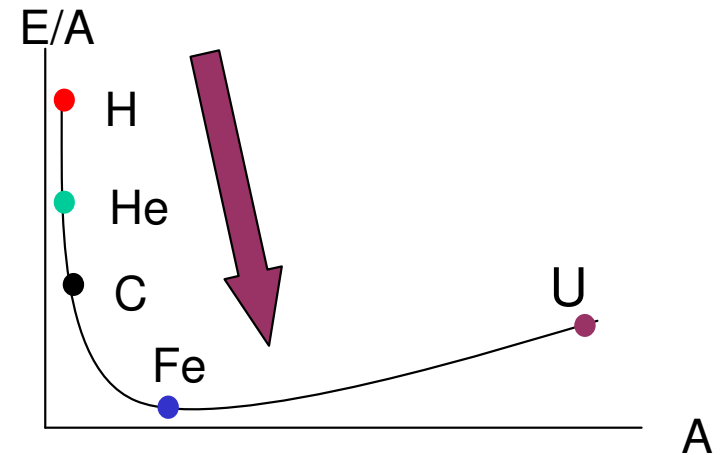
az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be
mindegyikhez nagyobb
„begyújtási” hőmérséklet kell



Tovább a nukleáris lejtőn lefele!

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



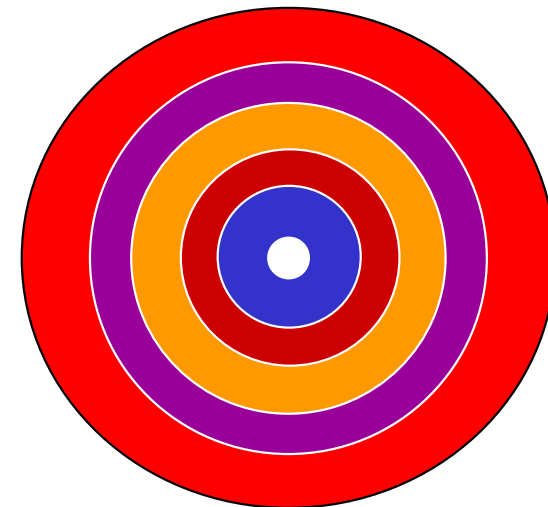
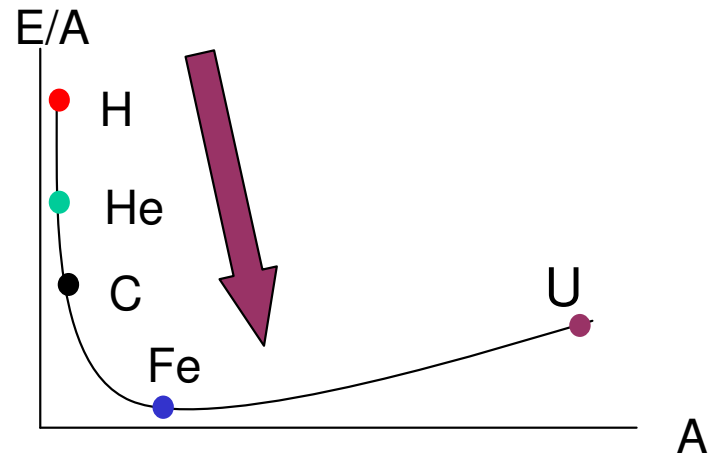
az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be
mindegyikhez nagyobb
„begyújtási” hőmérséklet kell



Tovább a nukleáris lejtőn lefele!

Többfelvonásos nukleáris szappanopera

amint egy atommag-fajta elfogy,
megismétlődik a forgatókönyv:

leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát

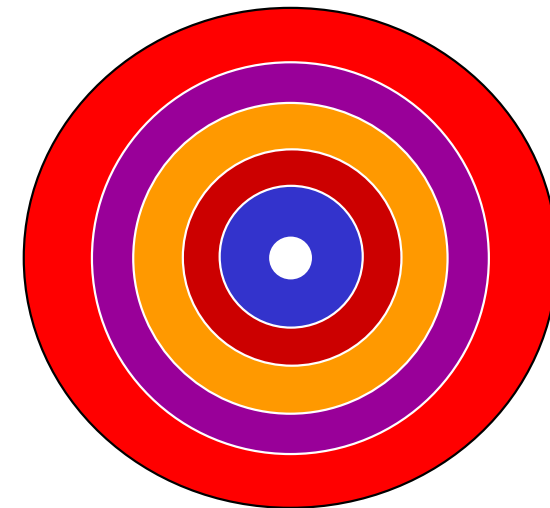
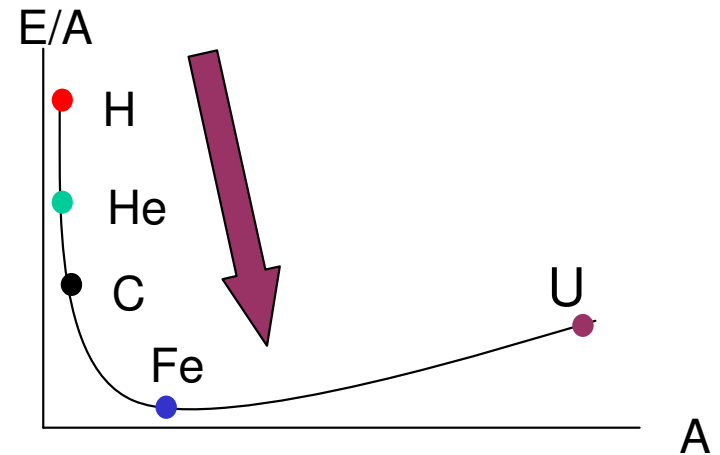


ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



új fúziós reakciók indulnak be
mindegyikhez nagyobb
„begyújtási” hőmérséklet kell

Tovább a nukleáris lejtőn lefele!



a külső, hidegebb rétegekben
folytak tovább a korábbi fúziós
folyamatok

Meddig ismétlődnek
a felvonások?



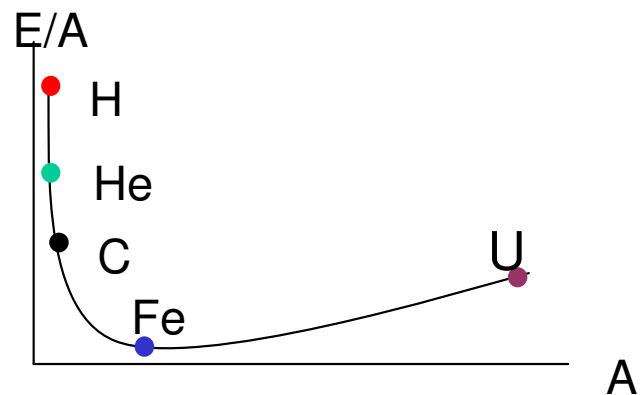
Meddig ismétlődnek
a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!



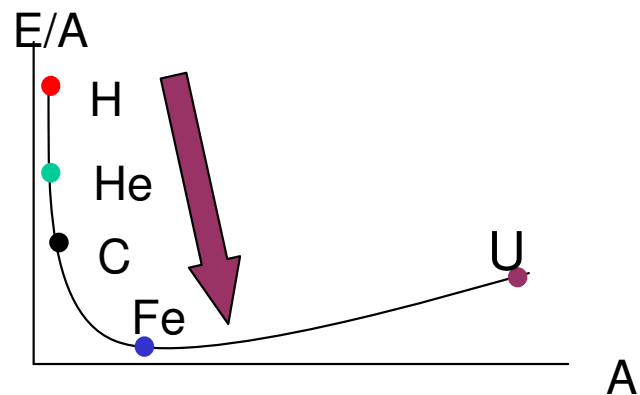
Meddig ismétlődnek
a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!



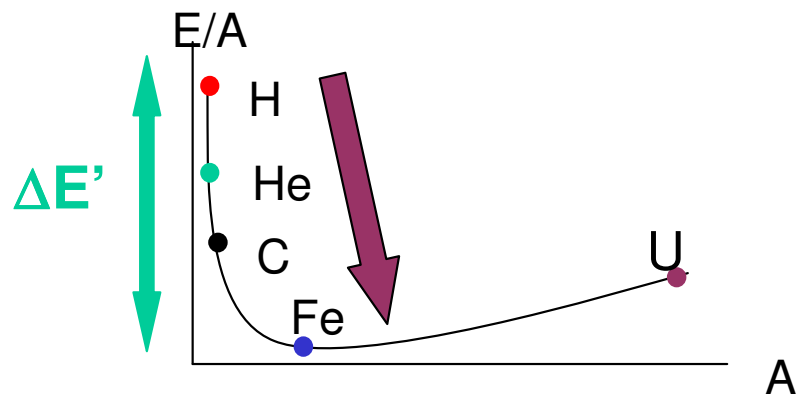
Meddig ismétlődnek
a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!



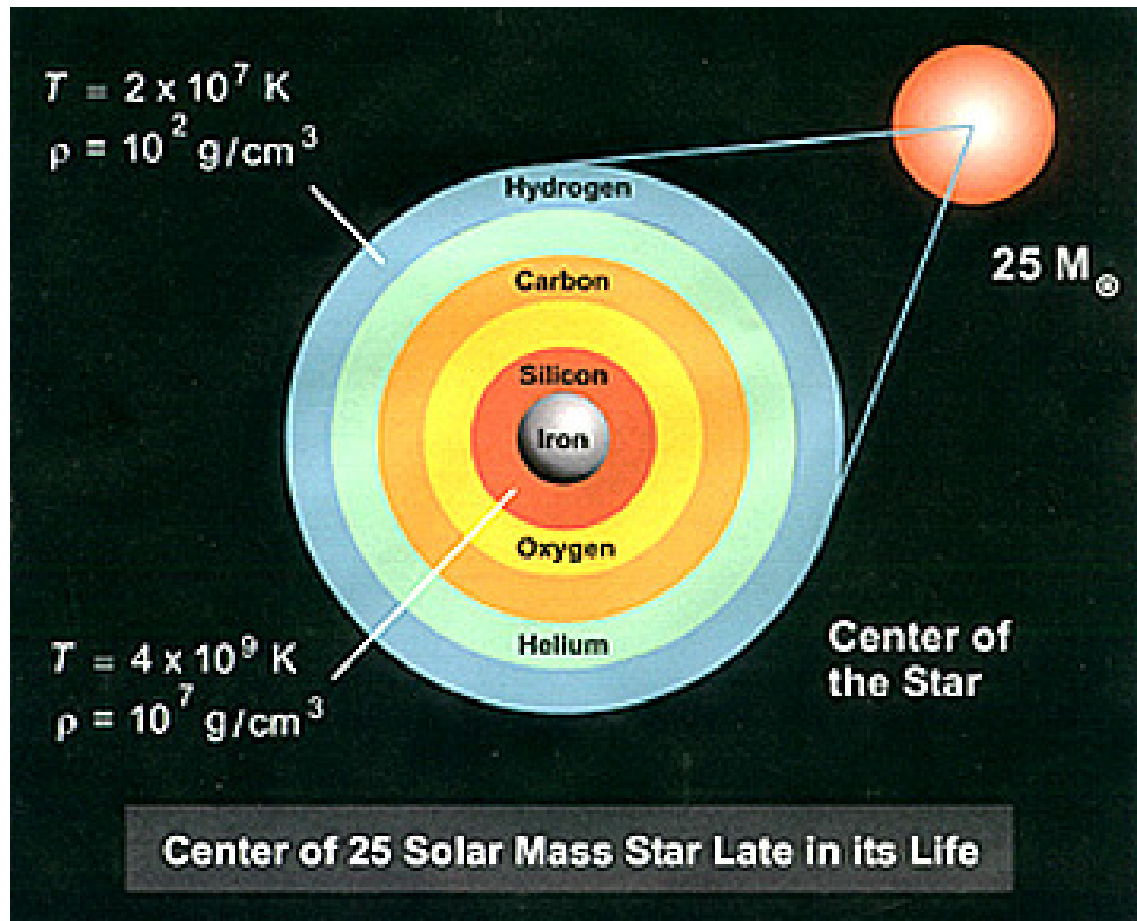
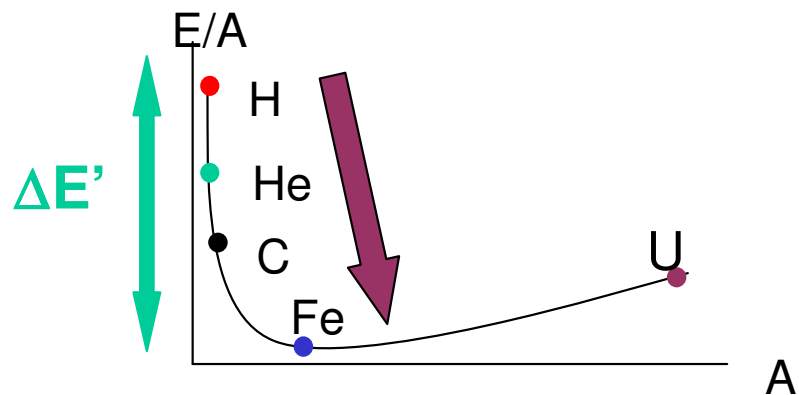
Meddig ismétlődnek
a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!



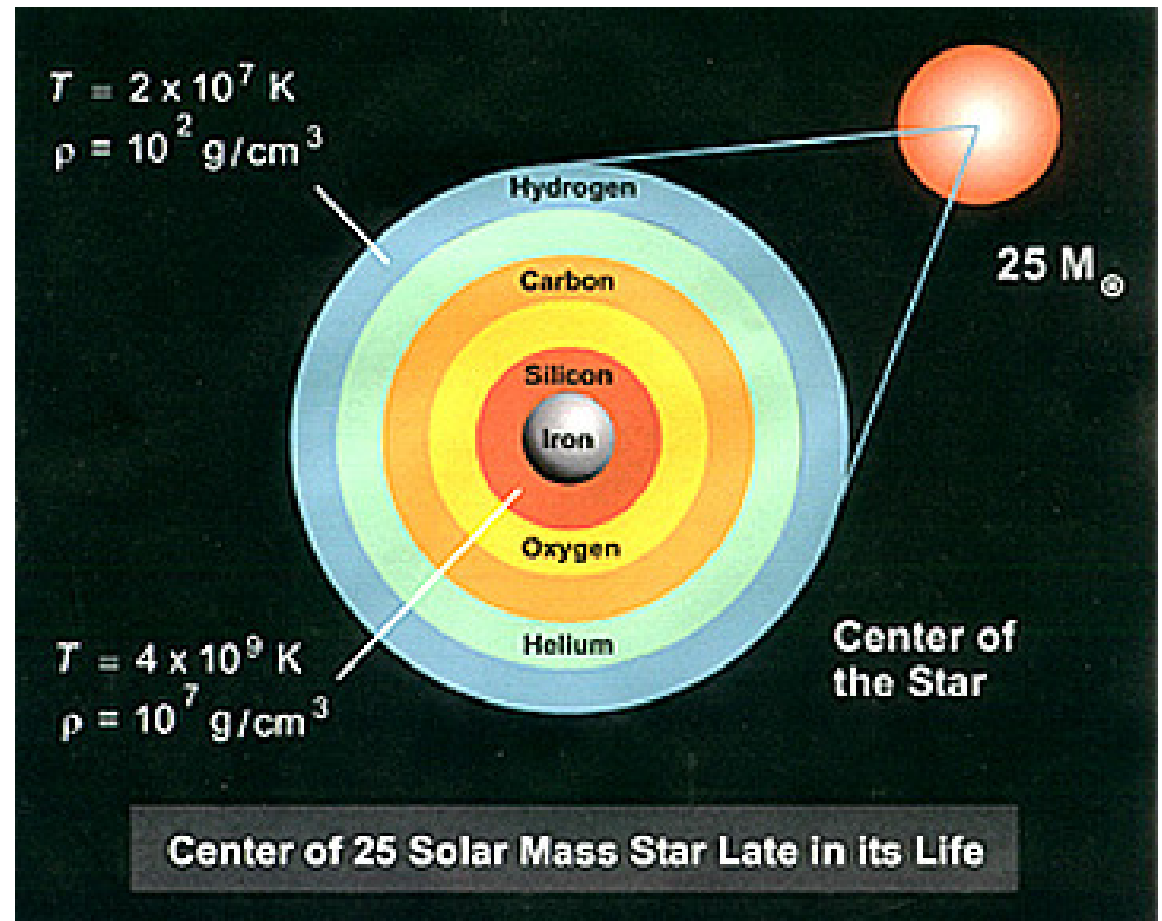
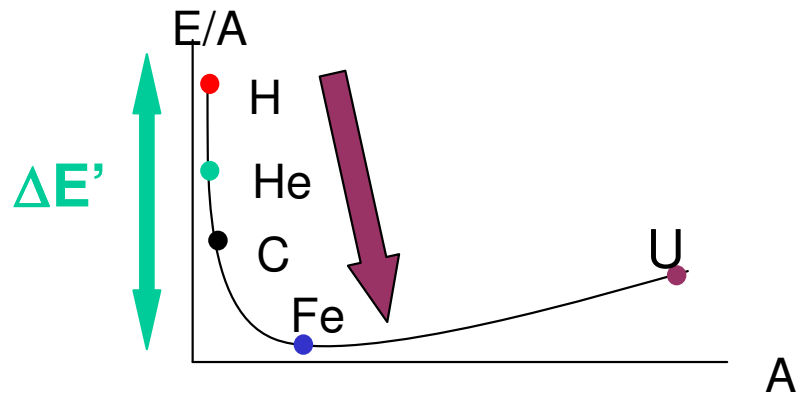
Meddig ismétlődnek a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!



Meddig ismétlődnek a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!

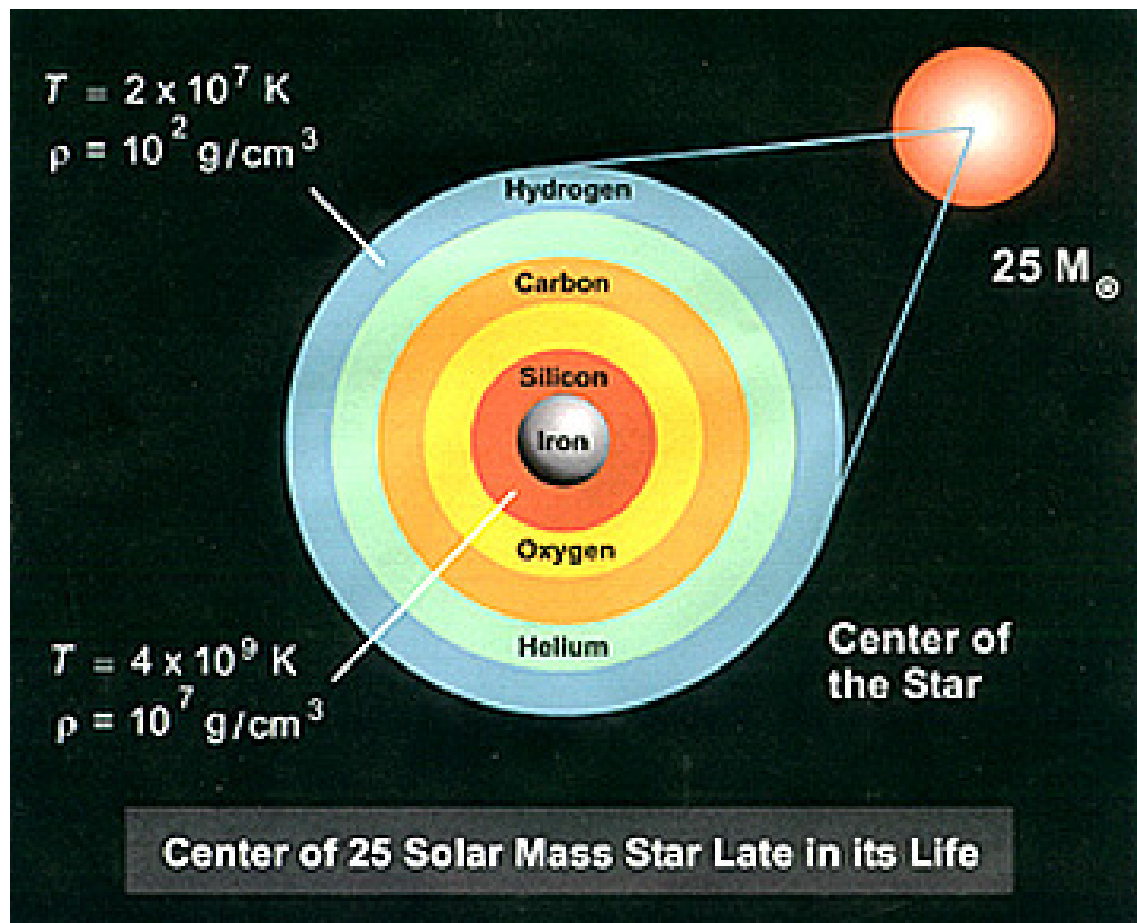
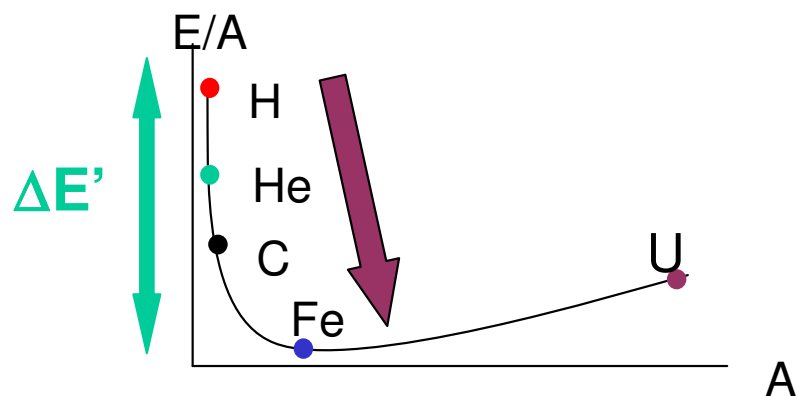


„kémiailag”
differenciálódott
rétegek egy
öreg csillagban



Meddig ismétlődnek
a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!

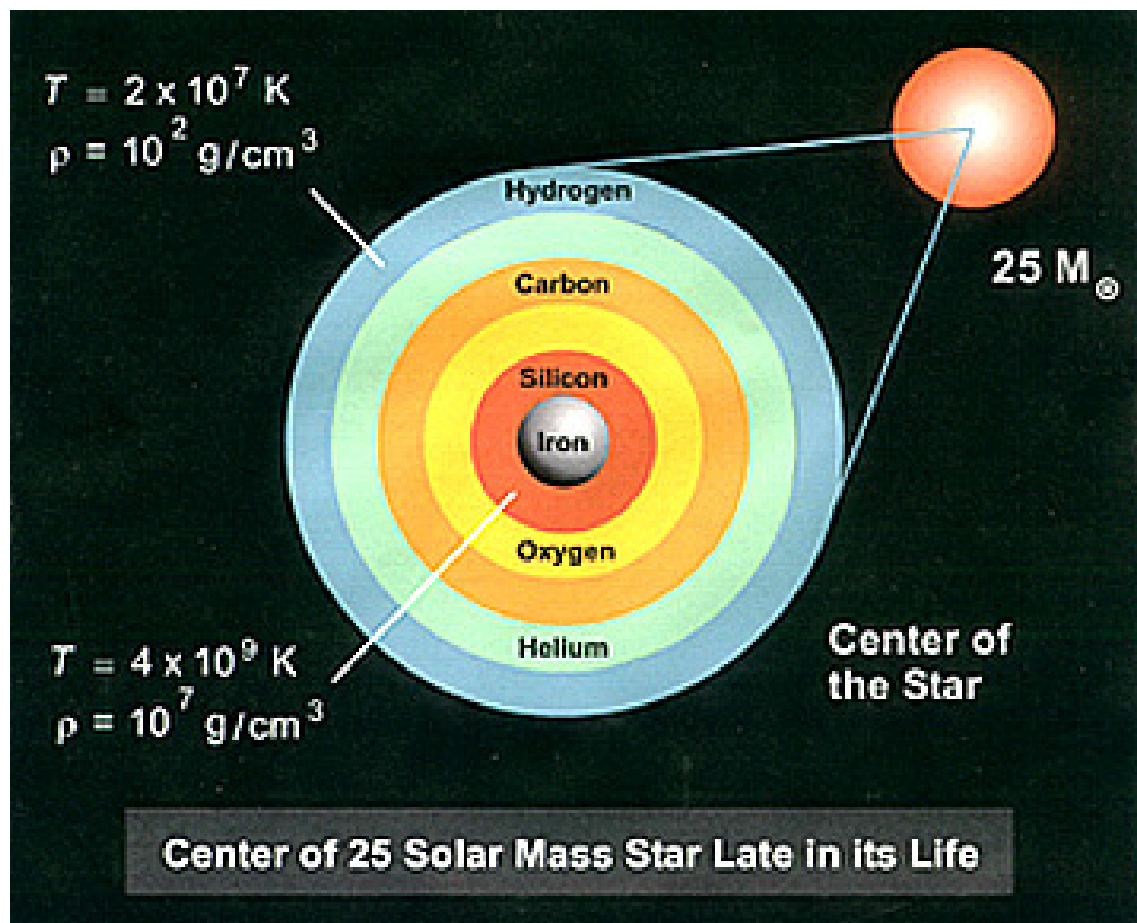
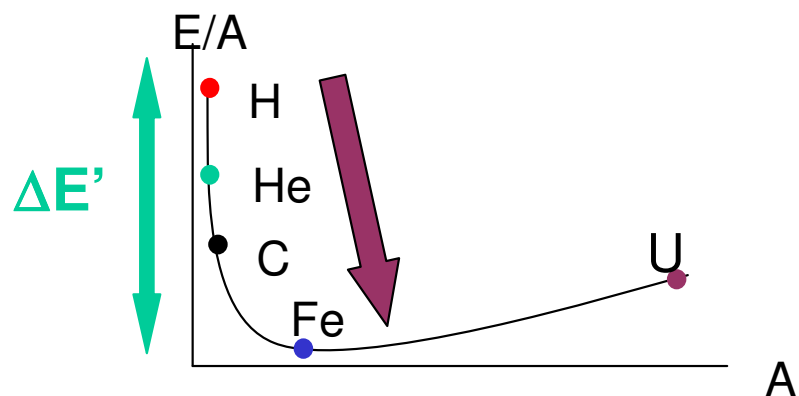


A vasmagban már nincs
felszabadítható nukleáris energia!

„kémiailag”
differenciálódott
rétegek egy
öreg csillagban

Meddig ismétlődnek a felvonások?

A nukleáris völgy legaljáig!



A vasmagban már nincs felszabadítható nukleáris energia!

De a külső rétegekben folyó magfúzió hője tovább fűti a csillag magját!

„kémiaailag” differenciálódott rétegek egy öreg csillagban

a szappanopera folytatódni akarna



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

**ehelyett energiafogyasztó
magreakciók indulnak be**

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

**ehelyett energiafogyasztó
magreakciók indulnak be**

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



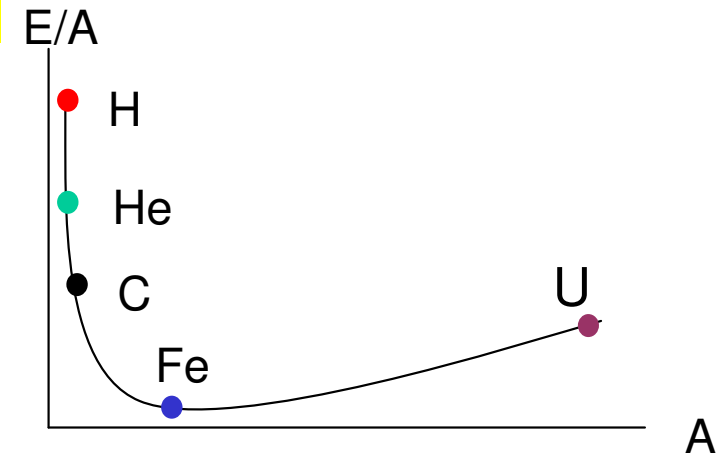
ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

**ehelyett energiafogyasztó
magreakciók indulnak be**

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



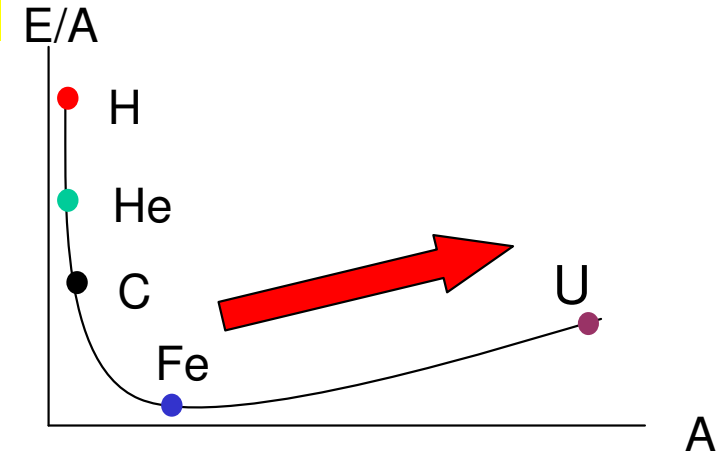
ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

**ehelyett energiafogyasztó
magreakciók indulnak be**

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



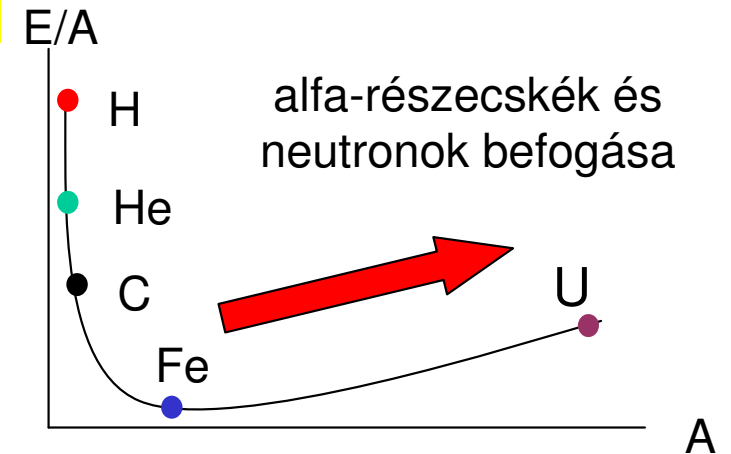
ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

**ehelyett energiafogyasztó
magreakciók indulnak be**

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd
összehúzni a csillag anyagát



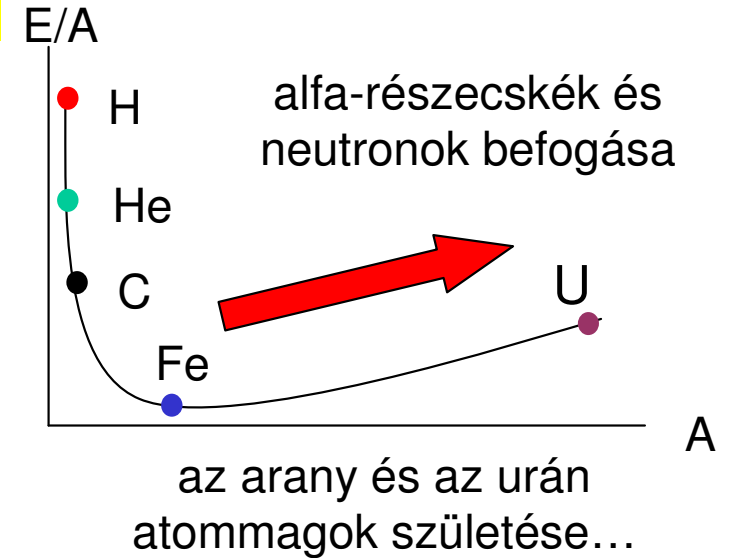
ettől a csillag magjában felmelegszik a
korábbi fúzió során legyártott „hamu”



**de nincs további energiatermelő
fúziós reakció**

**ehelyett energiafogyasztó
magreakciók indulnak be**

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd összehúzni a csillag anyagát



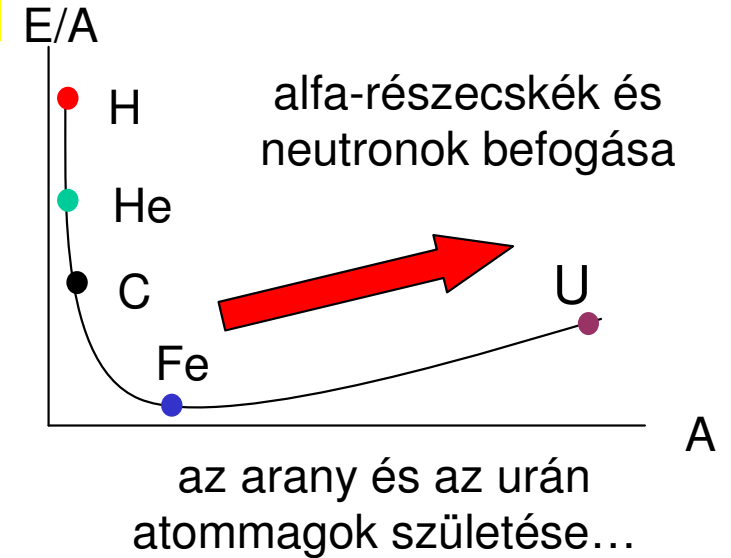
ettől a csillag magjában felmelegszik a korábbi fúzió során legyártott „hamu”



de nincs további energiatermelő fúziós reakció

ehelyett energiafogyasztó magreakciók indulnak be

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



E folyamatok energiaforrása:



a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd összehúzni a csillag anyagát



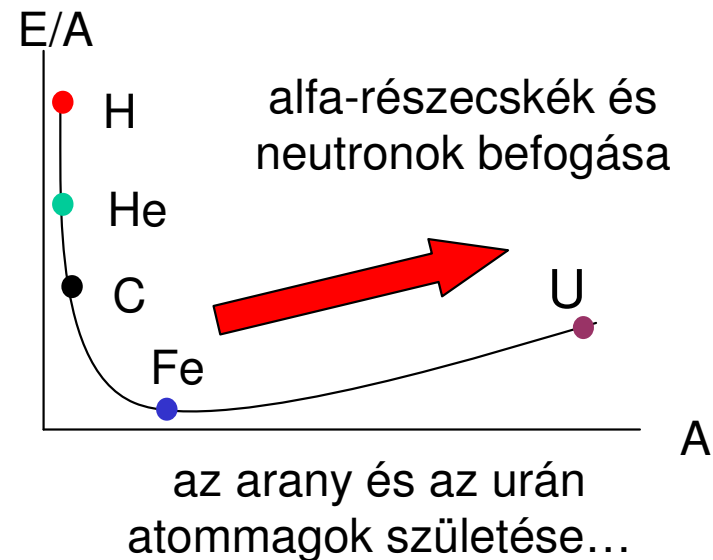
ettől a csillag magjában felmelegszik a korábbi fúzió során legyártott „hamu”



de nincs további energiatermelő fúziós reakció

ehelyett energiafogyasztó magreakciók indulnak be

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



**E folyamatok energiaforrása:
a gravitációs energia:**

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd összehúzni a csillag anyagát



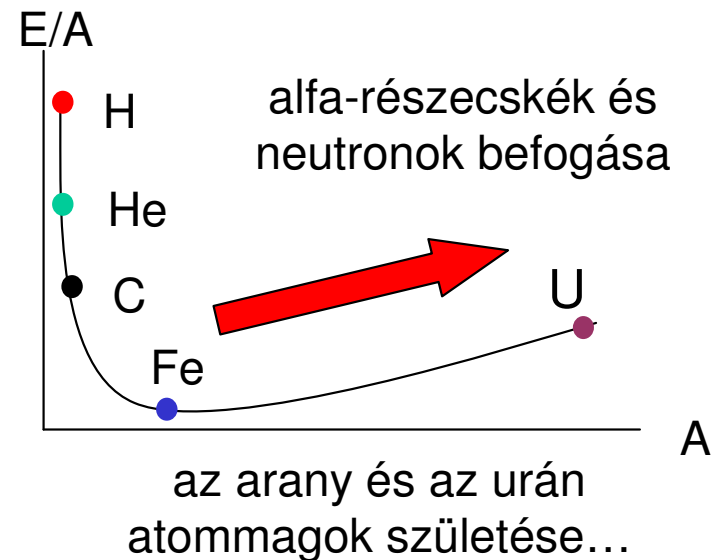
ettől a csillag magjában felmelegszik a korábbi fúzió során legyártott „hamu”



de nincs további energiatermelő fúziós reakció

ehelyett energiafogyasztó magreakciók indulnak be

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



E folyamatok energiaforrása:
a gravitációs energia:
ez melegíti a csillag magját

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd összehúzni a csillag anyagát



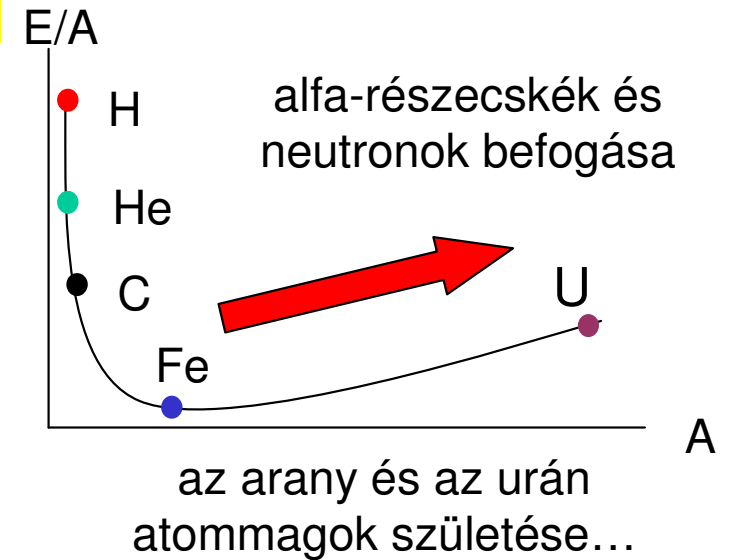
ettől a csillag magjában felmelegszik a korábbi fúzió során legyártott „hamu”



de nincs további energiatermelő fúziós reakció

ehelyett energiafogyasztó magreakciók indulnak be

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



E folyamatok energiaforrása:

a gravitációs energia:

ez melegíti a csillag magját

de nem a maximális mértékben!

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd összehúzni a csillag anyagát



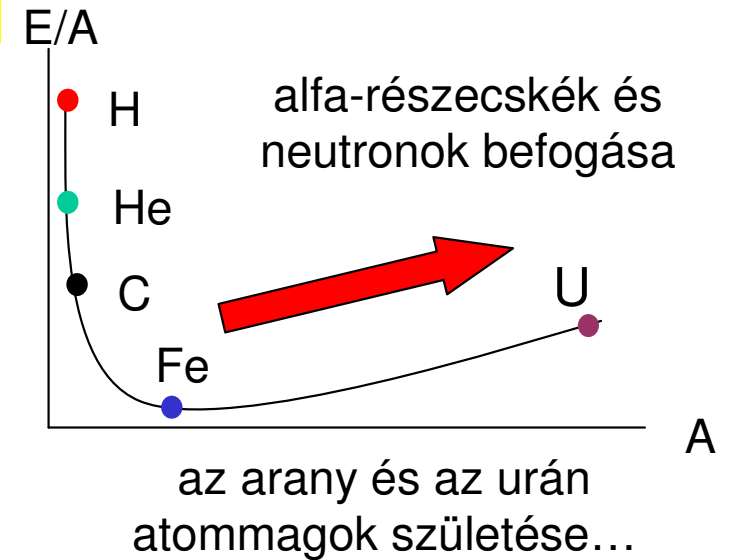
ettől a csillag magjában felmelegszik a korábbi fúzió során legyártott „hamu”



de nincs további energiatermelő fúziós reakció

ehelyett energiafogyasztó magreakciók indulnak be

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



E folyamatok energiaforrása:

a gravitációs energia:

ez melegíti a csillag magját

de nem a maximális mértékben!

mert az energia egy része a nehéz atommagokba raktározódik!

a szappanopera folytatódni akarna

a csillag magja elérte a **vas-állapotot**:



leáll a magreakció



megszűnik a sugárnyomás



az eddig féken tartott gravitáció elkezd összehúzni a csillag anyagát



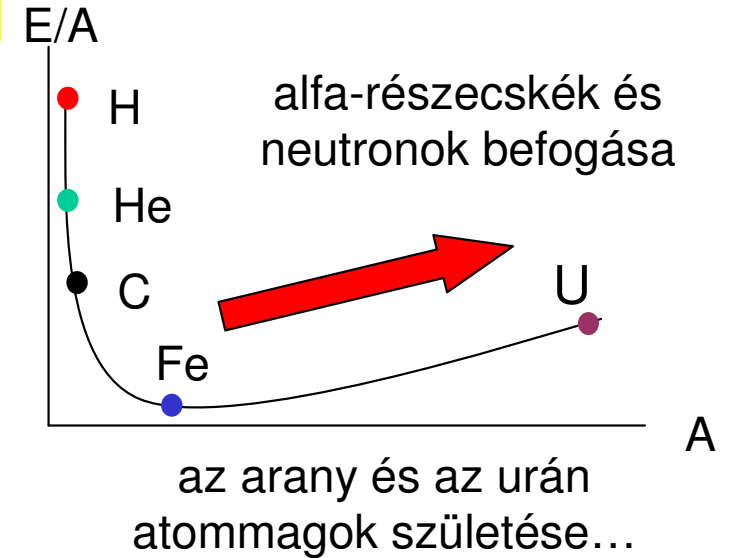
ettől a csillag magjában felmelegszik a korábbi fúzió során legyártott „hamu”



de nincs további energiatermelő fúziós reakció

ehelyett energiafogyasztó magreakciók indulnak be

FELFELÉ a nukleáris lejtőn!



E folyamatok energiaforrása:

a gravitációs energia:

ez melegíti a csillag magját

de nem a maximális mértékben!

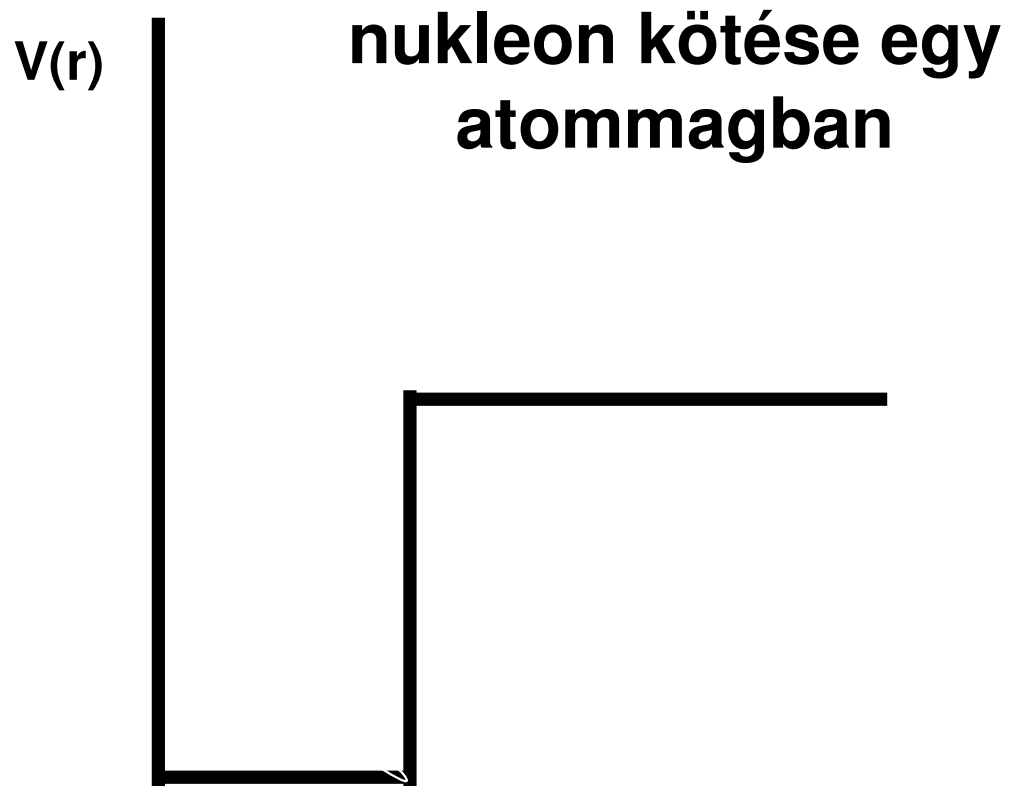
mert az energia egy része a nehéz atommagokba raktározódik!

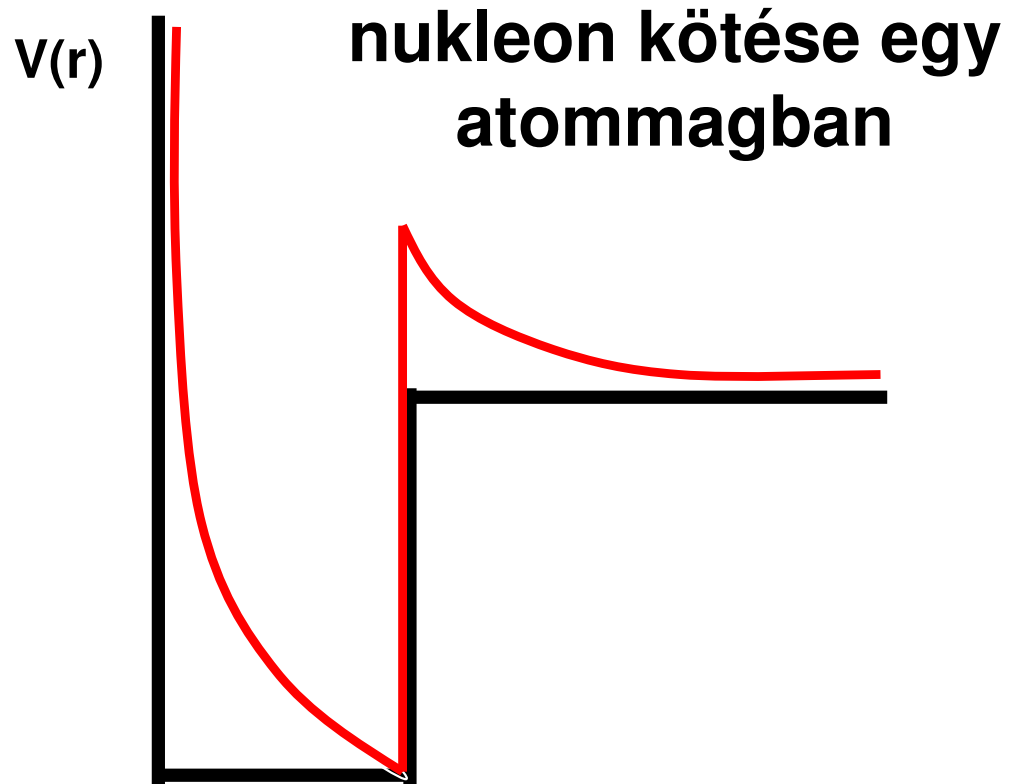
Beindult az első NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!

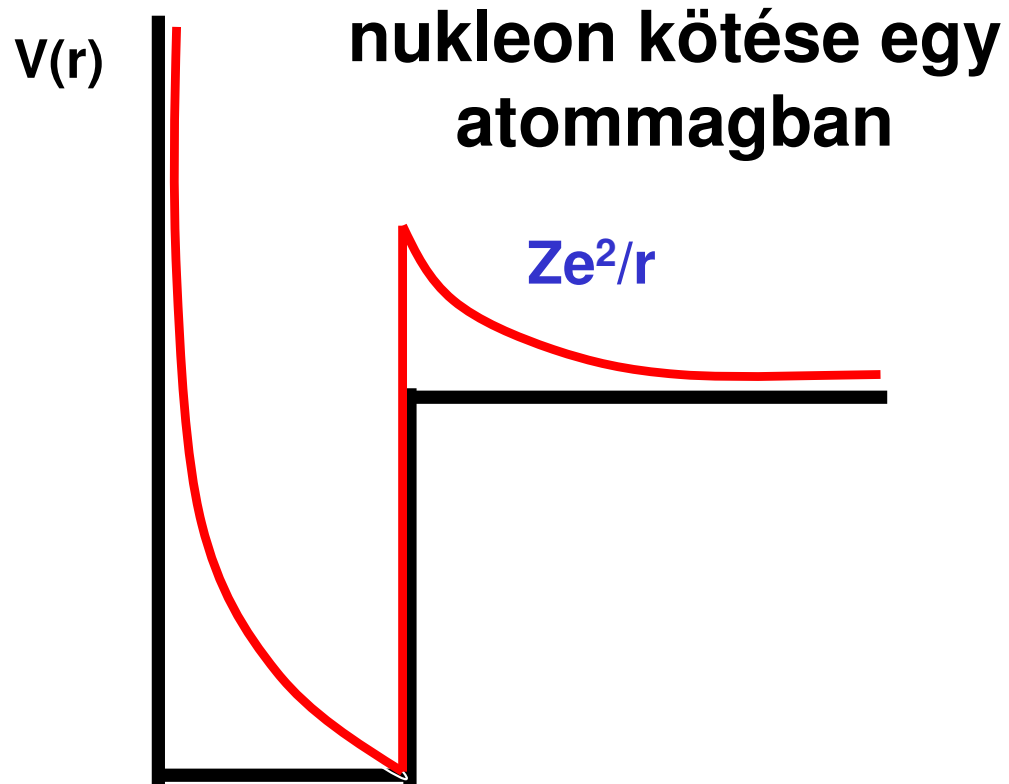


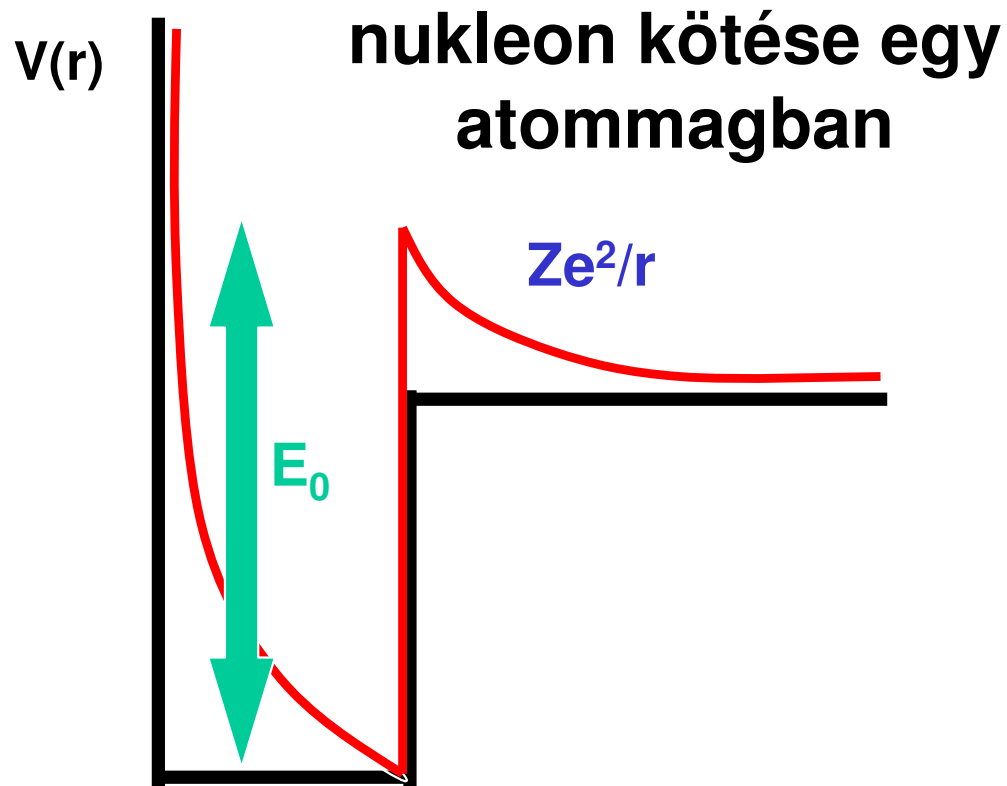
nukleon kötése egy atommagban

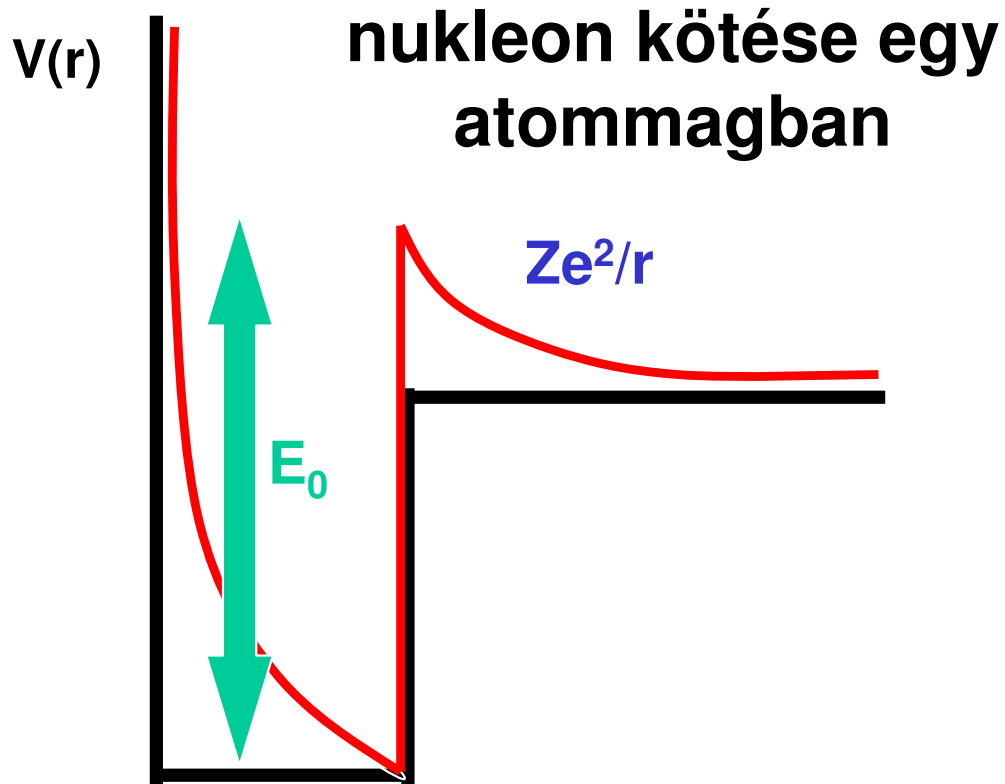




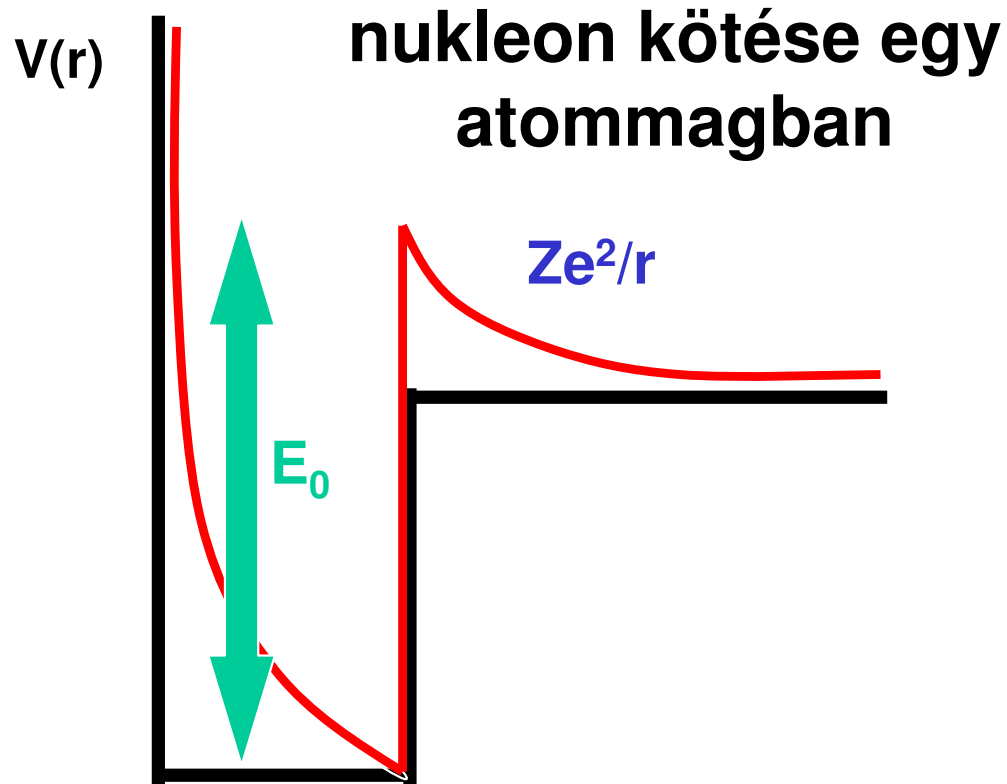






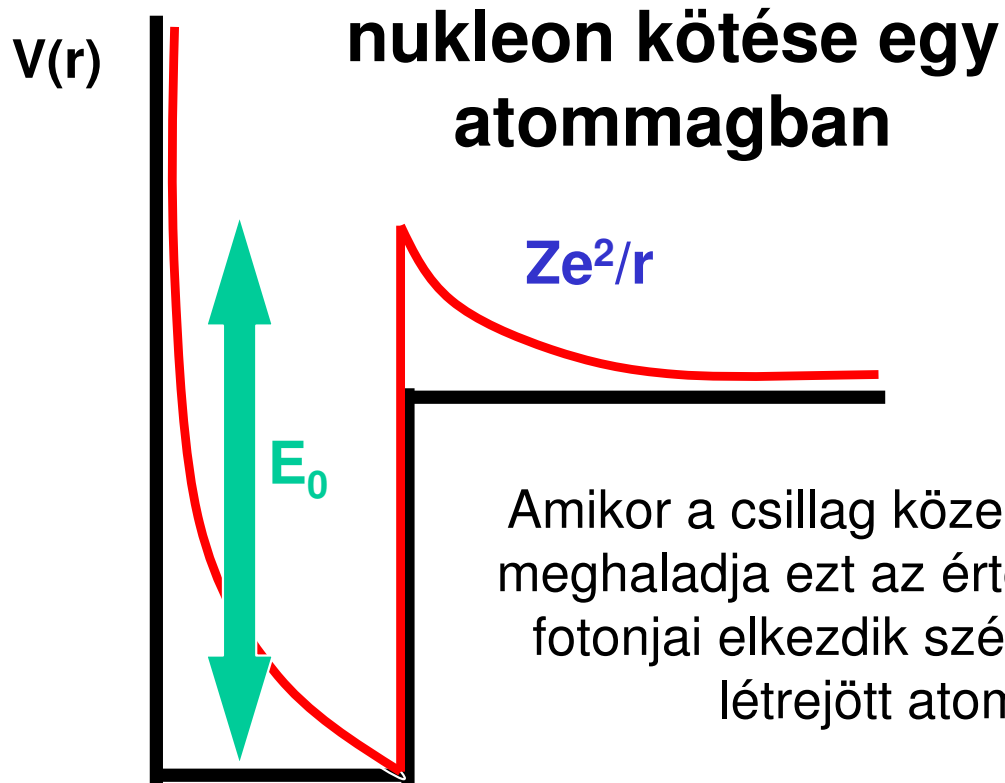


mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:



mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

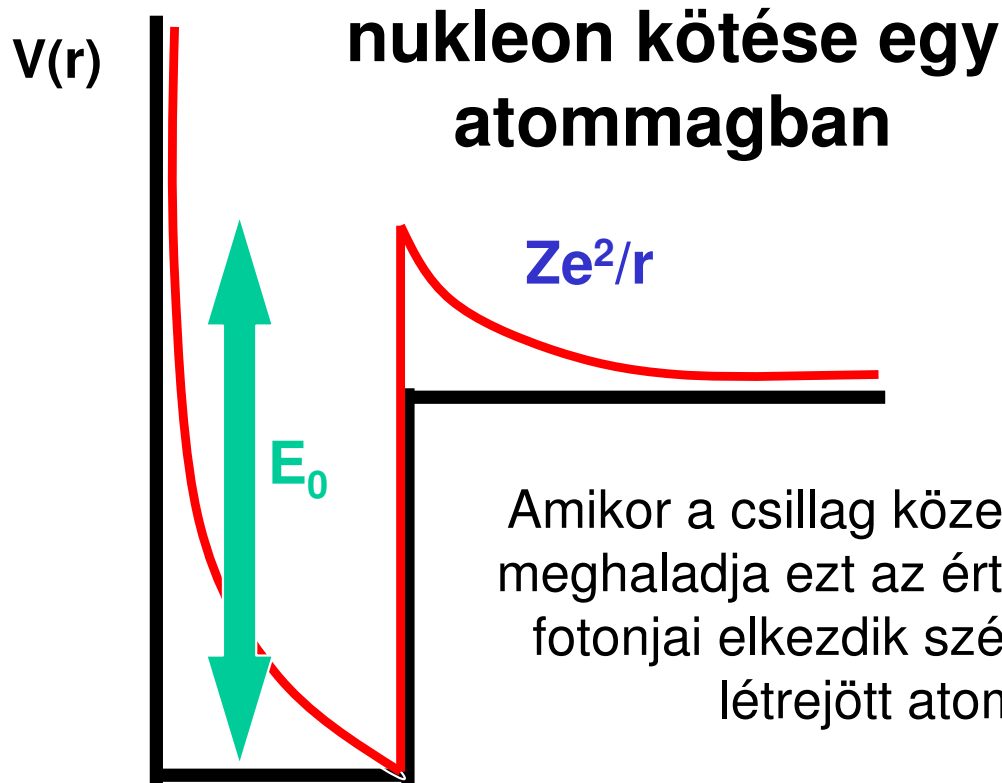
$$kT < E_0$$



mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

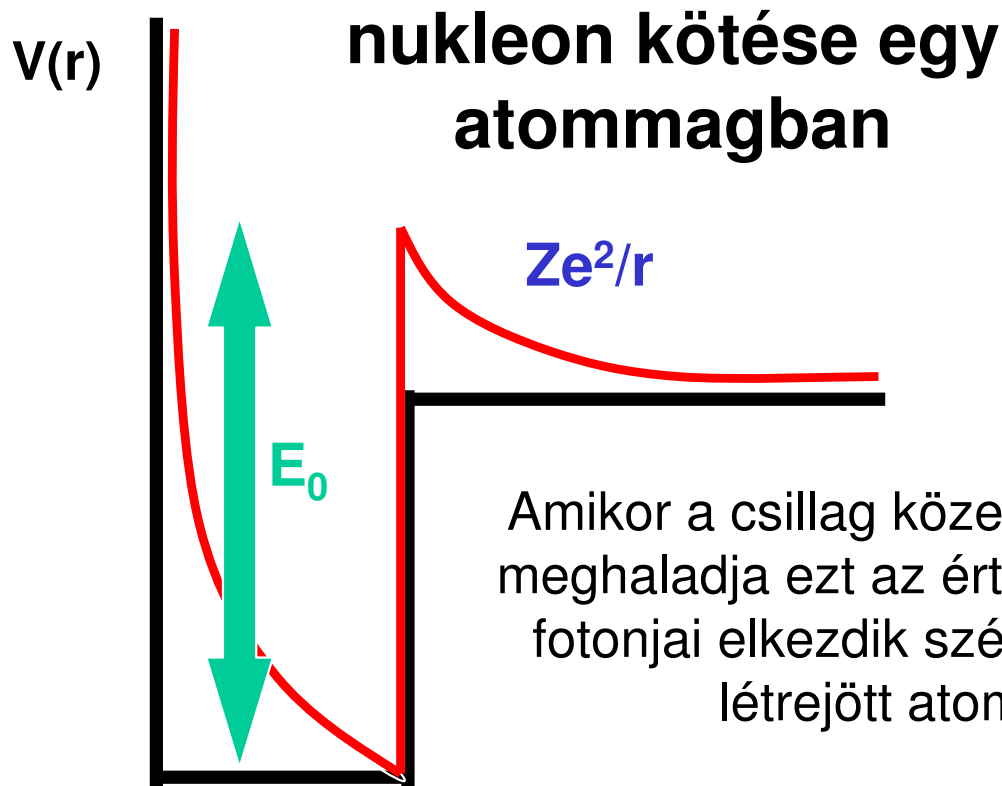


mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$

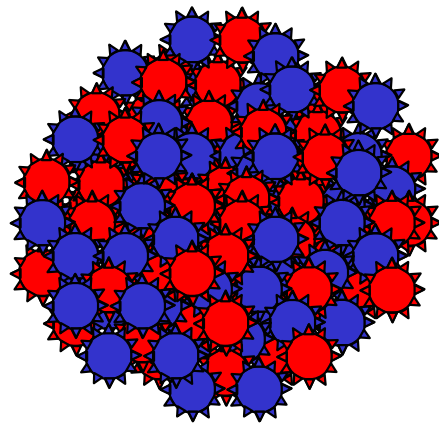


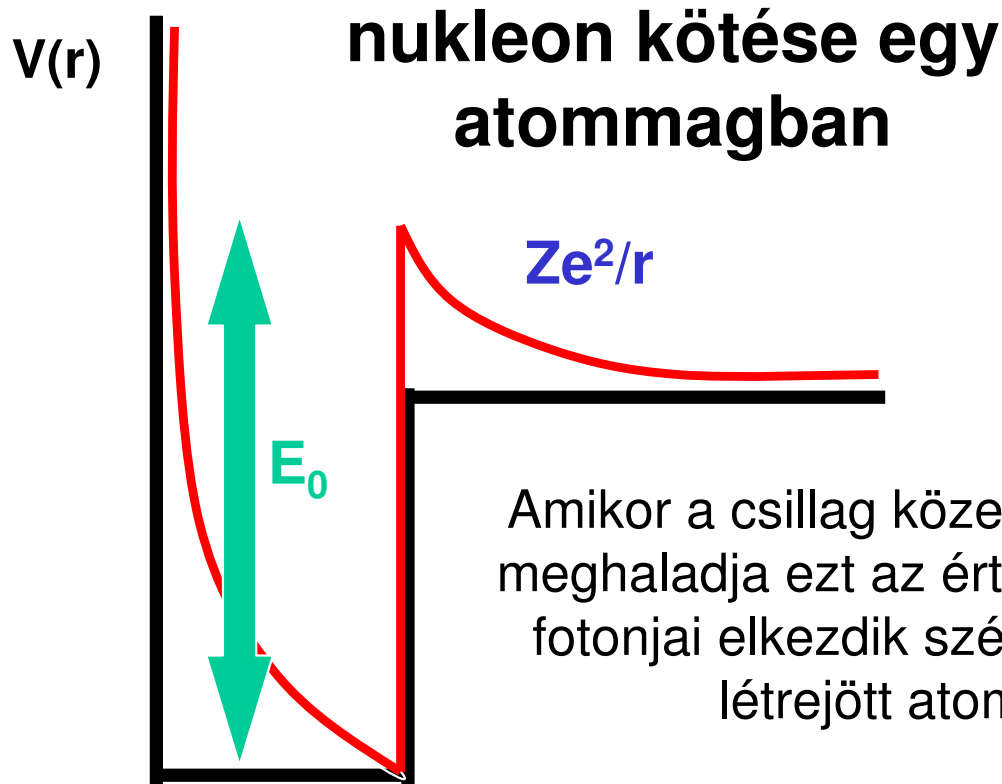
mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$



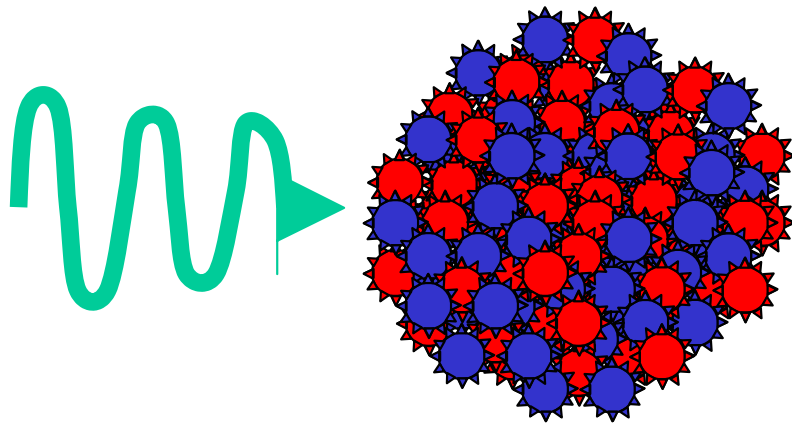


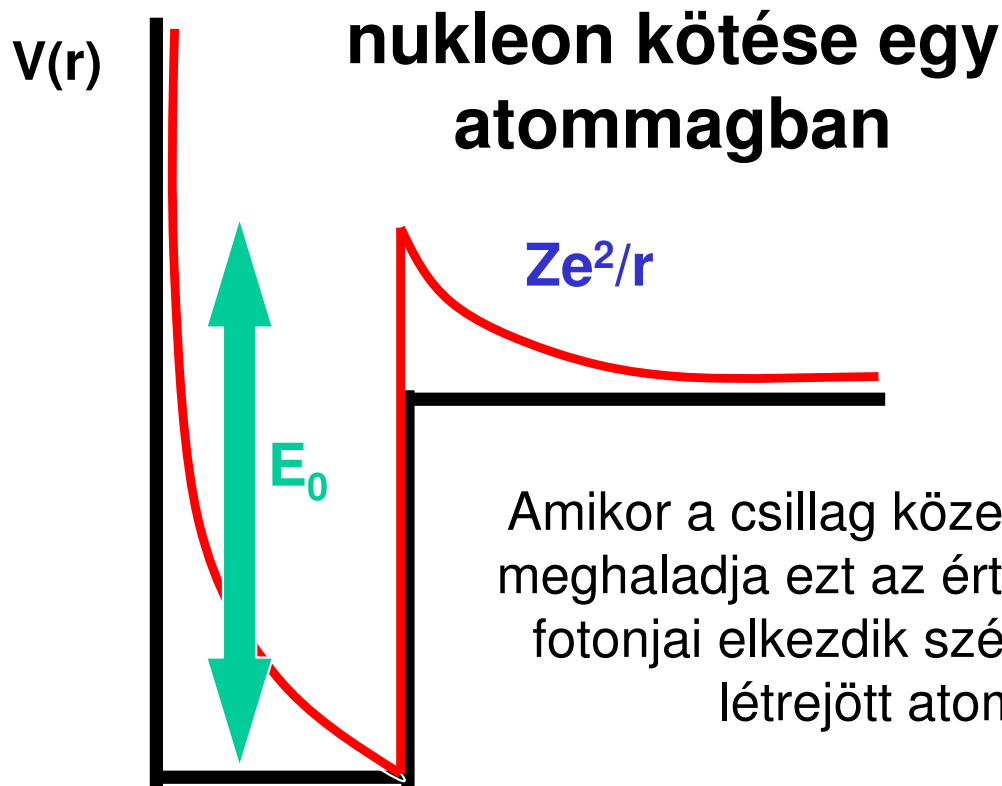
mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$



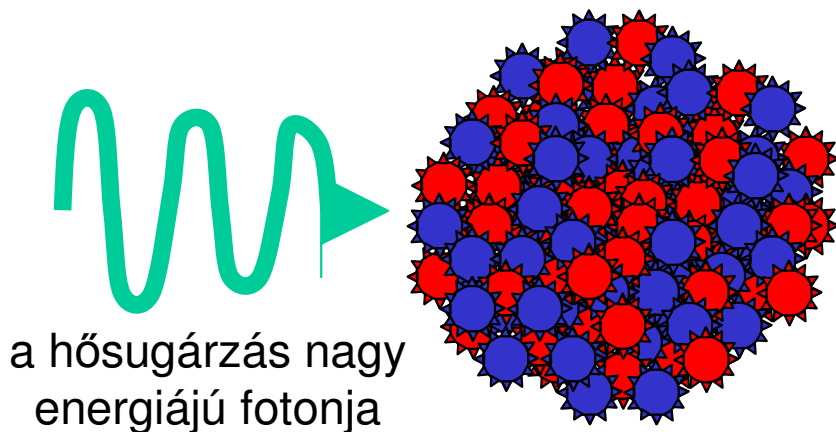


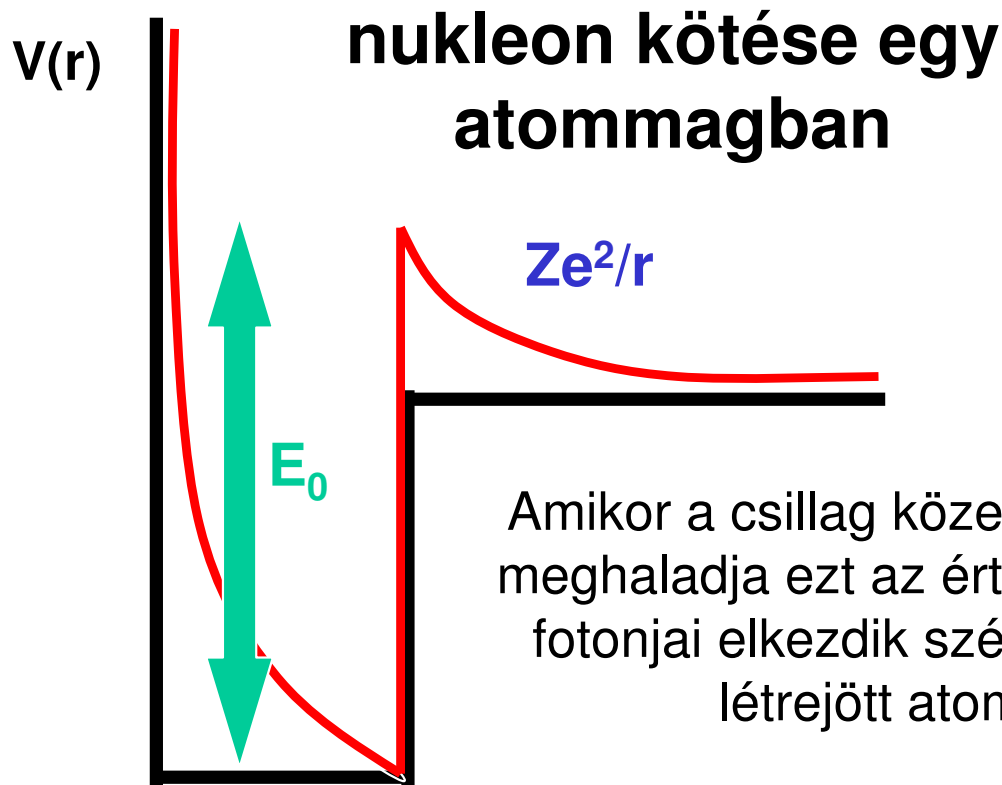
mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$



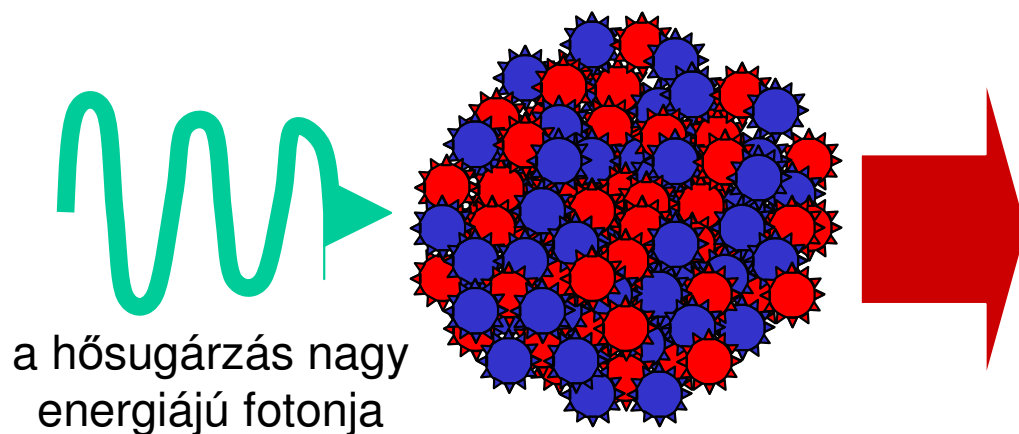


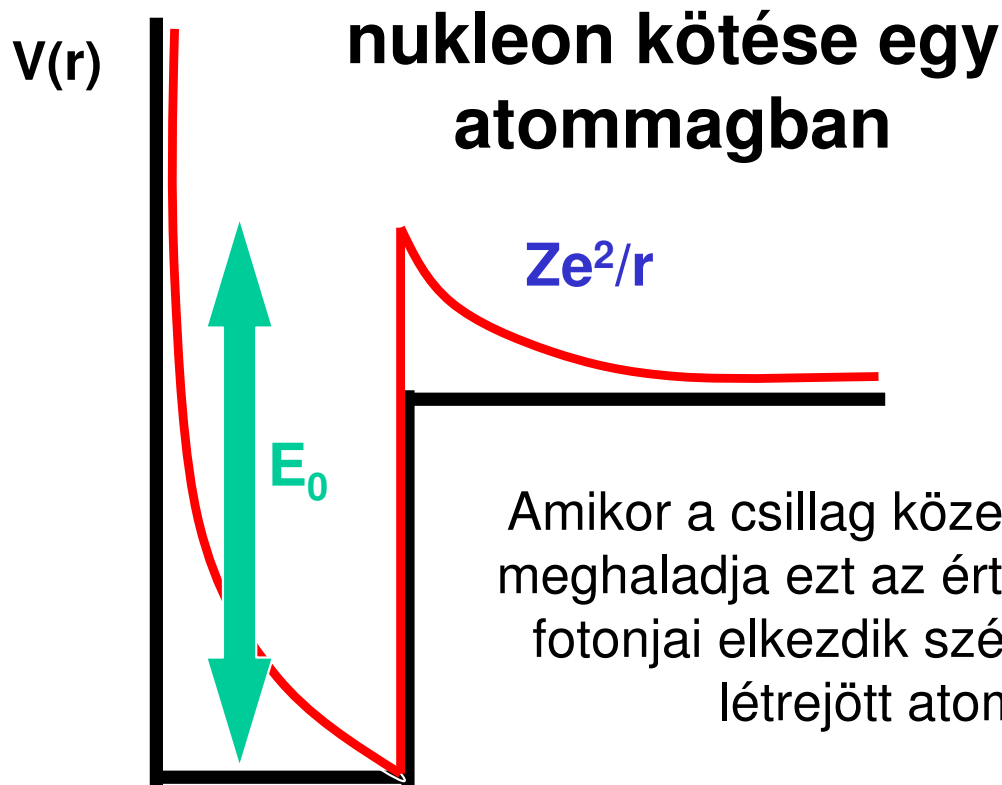
mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$



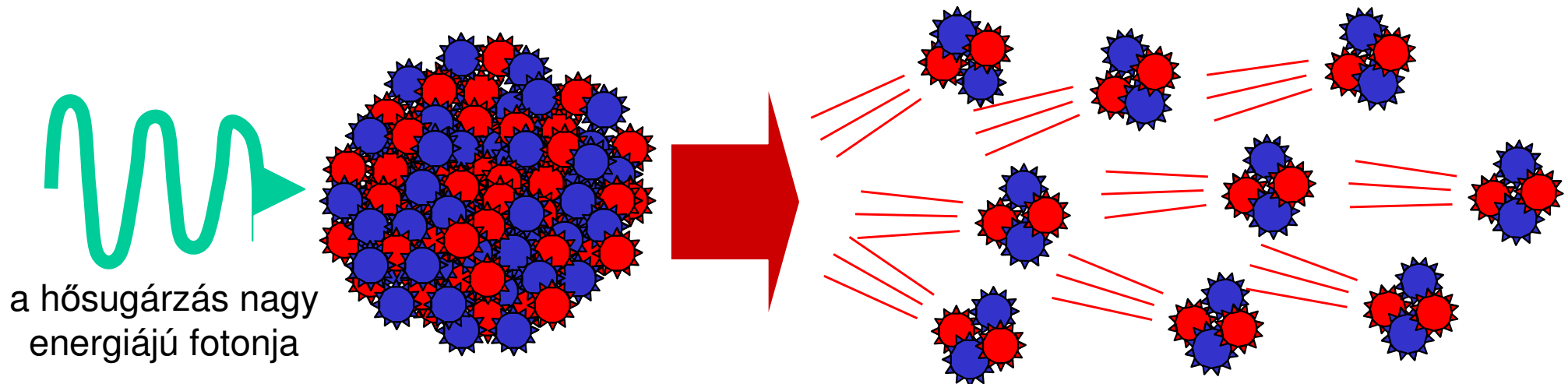


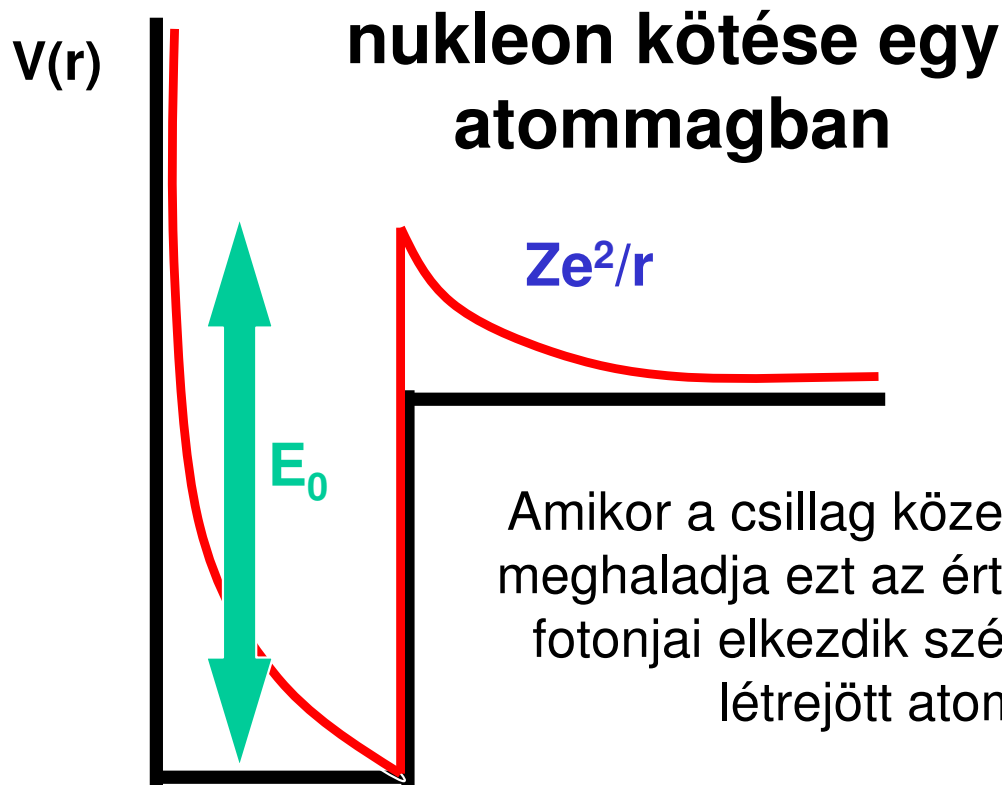
mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$





mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

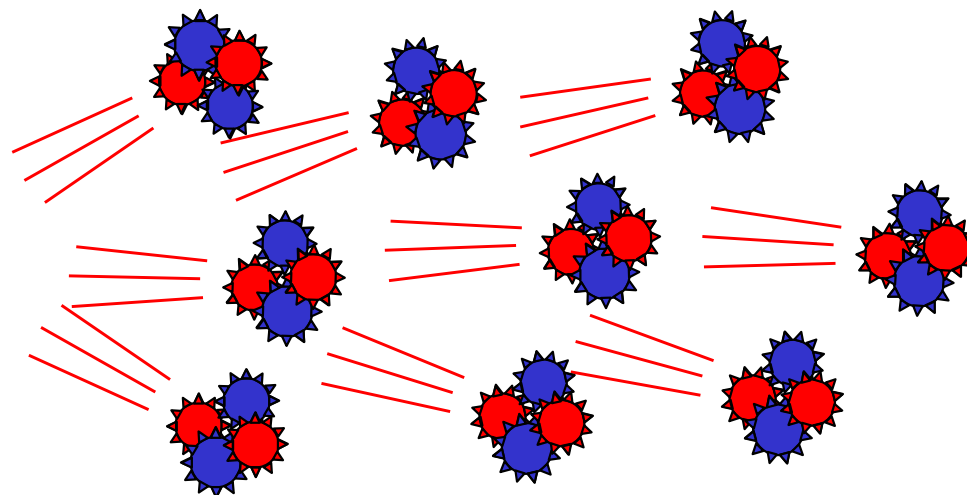
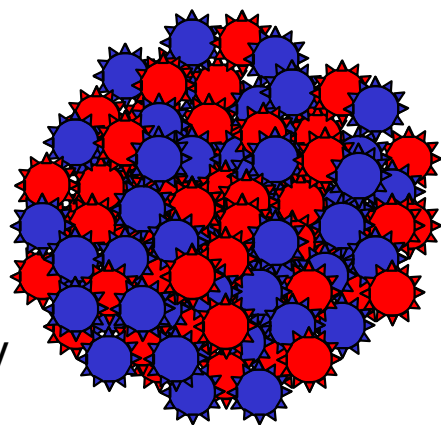
$$kT < E_0$$

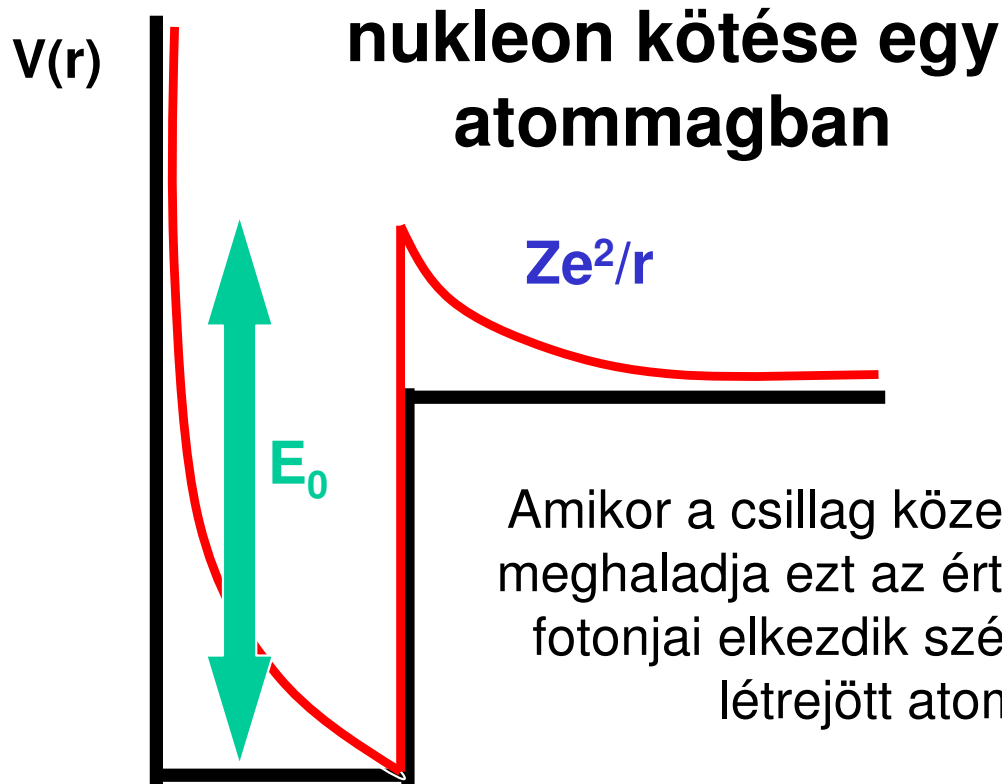
Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

$$kT > E_0$$

⁴He magok

a hőszugárzás nagy energiájú fotonja





Amikor a csillag közepén a hőmérséklet meghaladja ezt az értéket, a hőszugárzás fotonjai elkezdik szétverni a korábban létrejött atommagokat

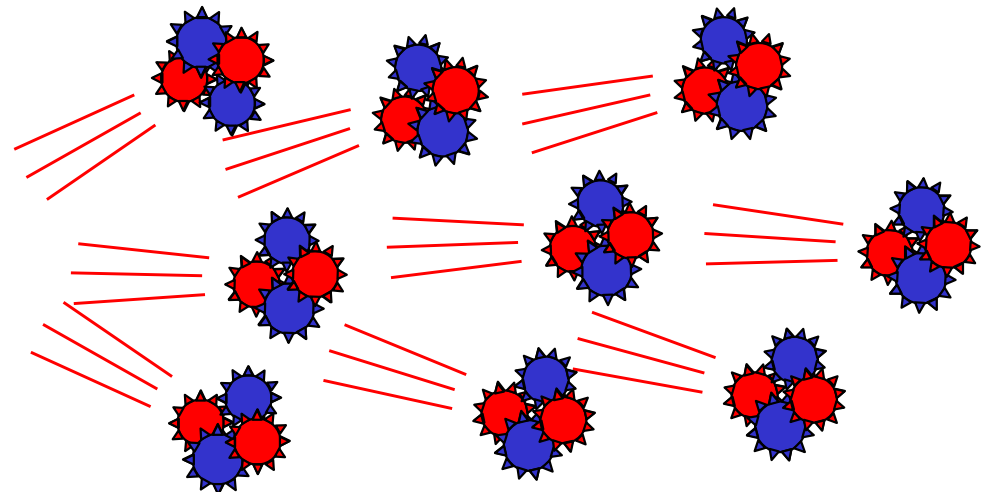
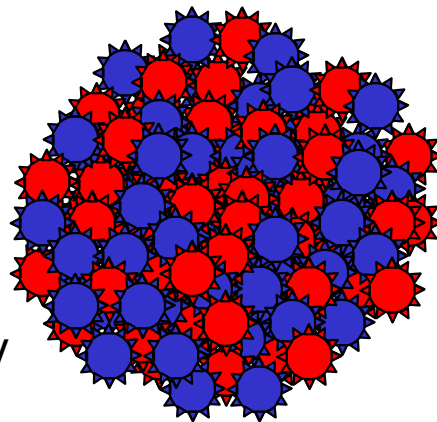
mindaddig az átlagos hőenergia kisebb volt a nukleonok kötési energiájánál:

$$kT < E_0$$

$$kT > E_0$$

${}^4\text{He}$ magok
(alfa-részecskék)

a hőszugárzás nagy energiájú fotonja



a vas atommagok fotodisszociációja:



a vas atommagok fotodisszociációja:



a vas atommagok fotodisszociációja:



a vas atommagok fotodisszociációja:



a vas atommagok fotodisszociációja:

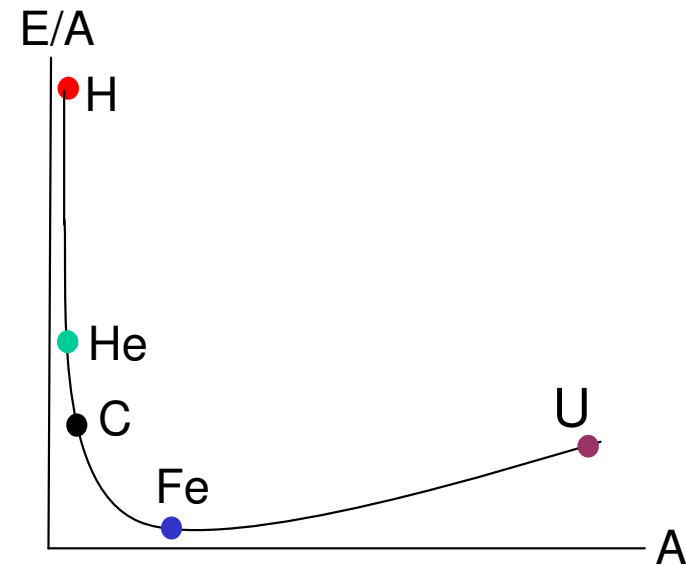


Ez a folyamat sok energiát nyel el

a vas atommagok fotodisszociációja:



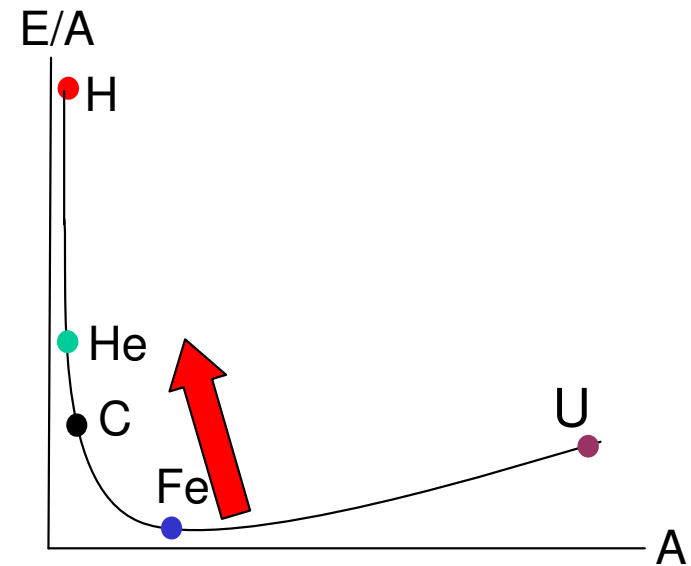
Ez a folyamat sok energiát nyel el



a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

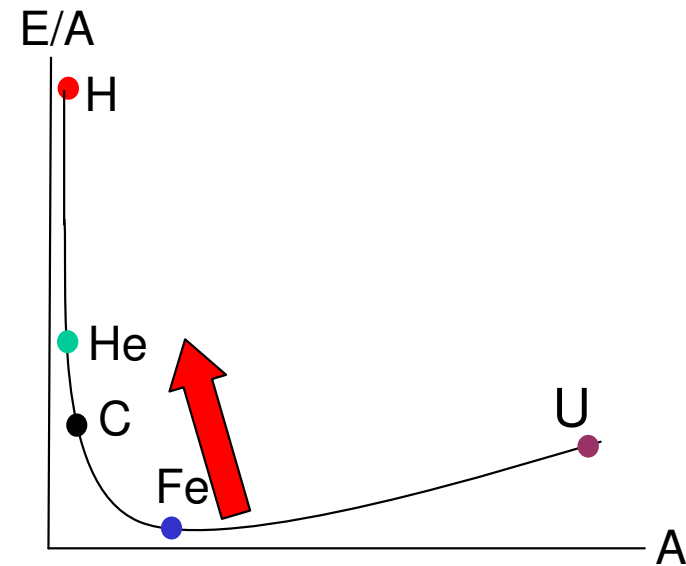


a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában

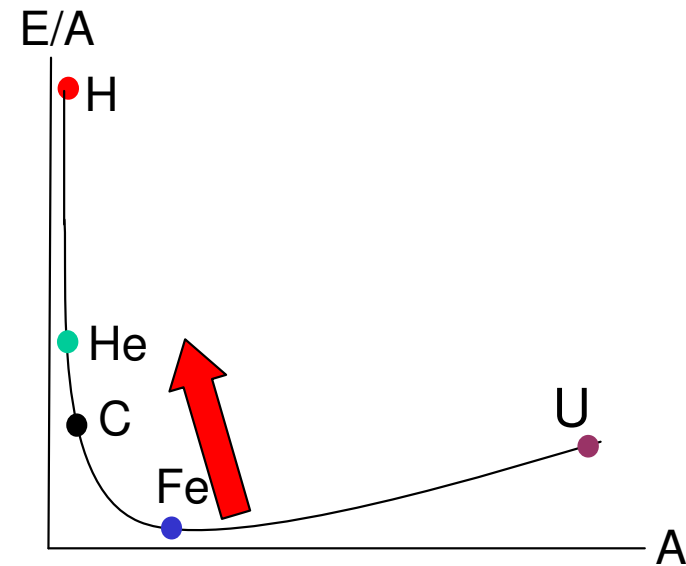


a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás



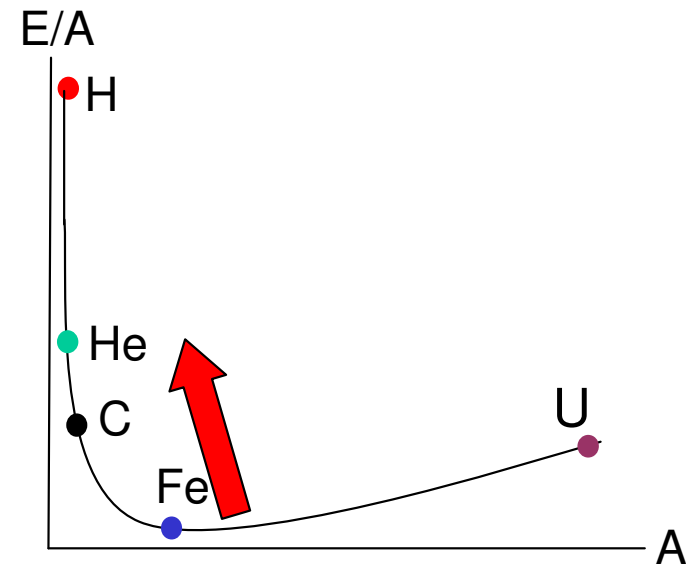
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



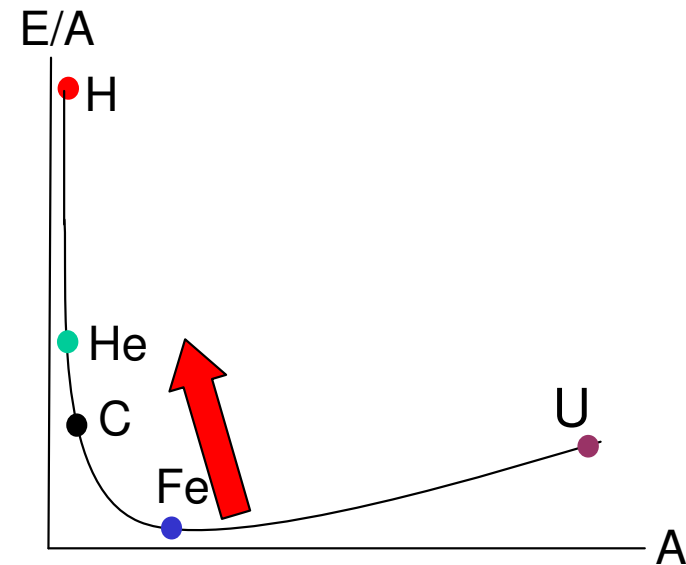
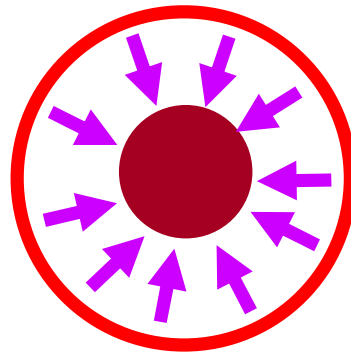
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



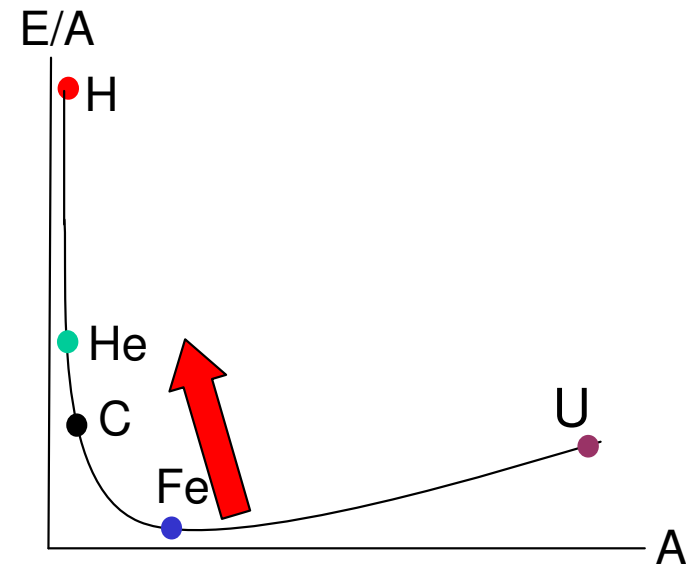
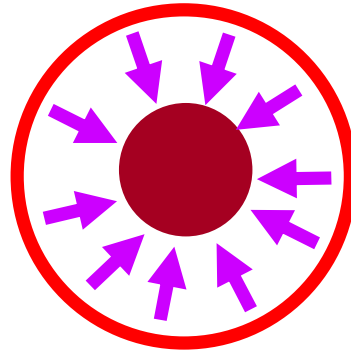
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot
gravitációs energia



a vas atommagok fotodisszociációja:



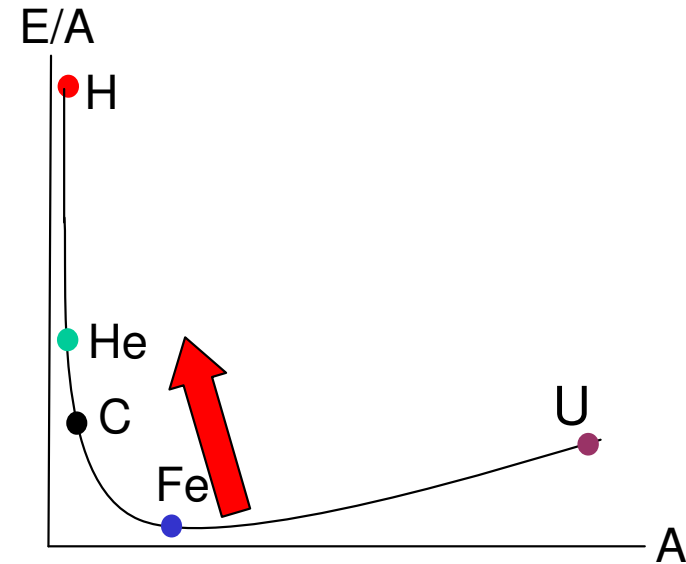
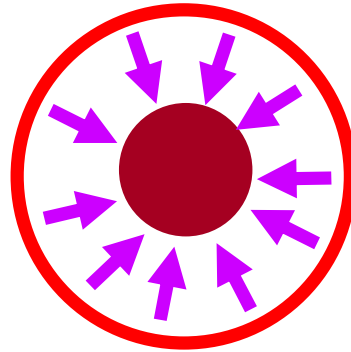
Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot
gravitációs energia



hőenergia



a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

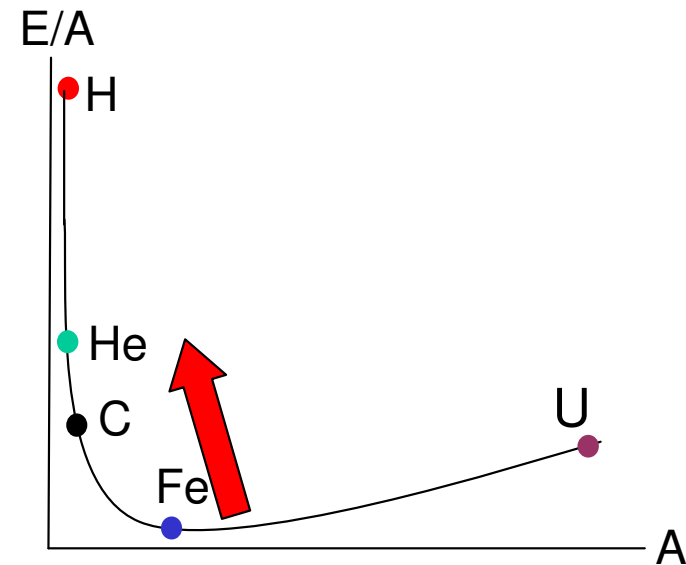
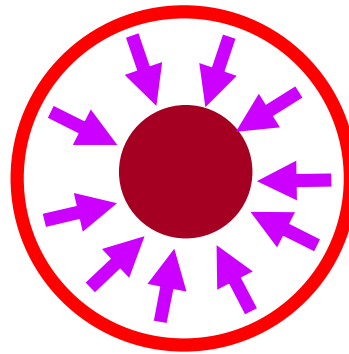
gravitációs energia



hőenergia



újramelegedés,
növekvő nyomás



a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

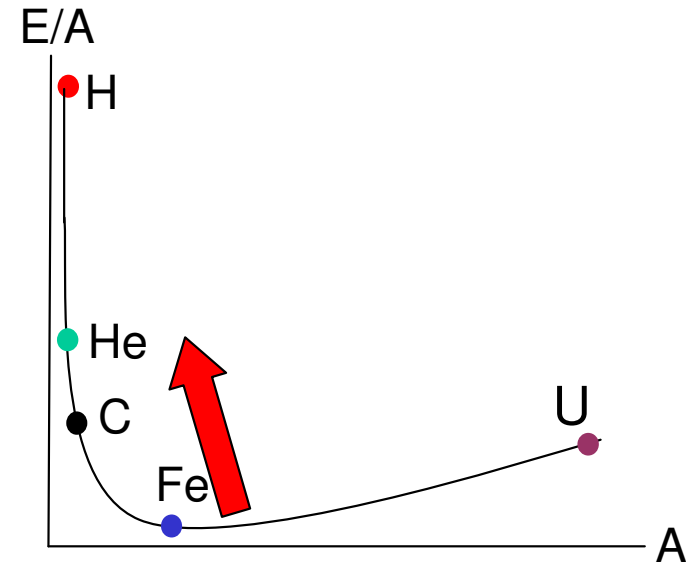
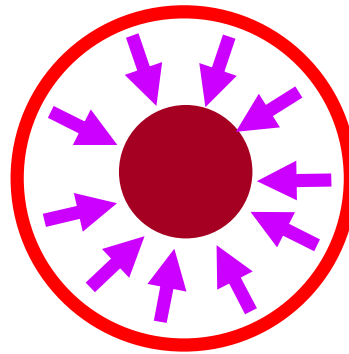


hőenergia



újramelegedés,
növekvő nyomás

szabályozás negatív
visszacsatolással



a vas atommagok fotodisszociációja:

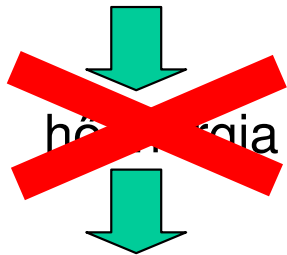


Ez a folyamat sok energiát nyel el

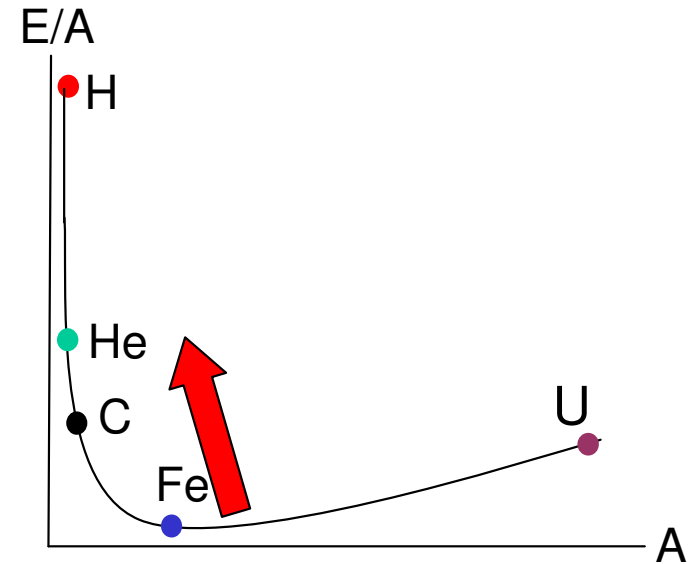
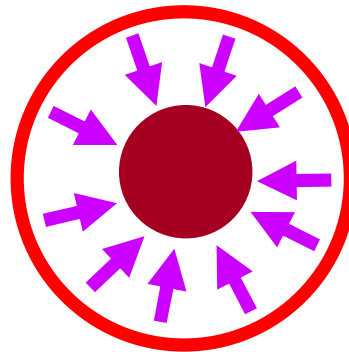
ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia



újramelegedés,
növekvő nyomás



szabályozás negatív
visszacsatolással



a vas atommagok fotodisszociációja:

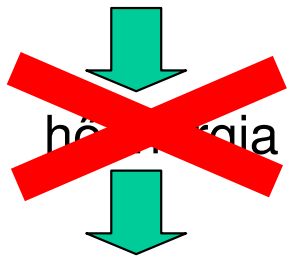


Ez a folyamat sok energiát nyel el

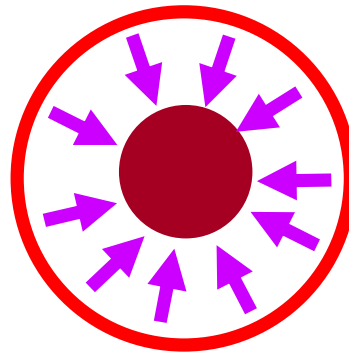
ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

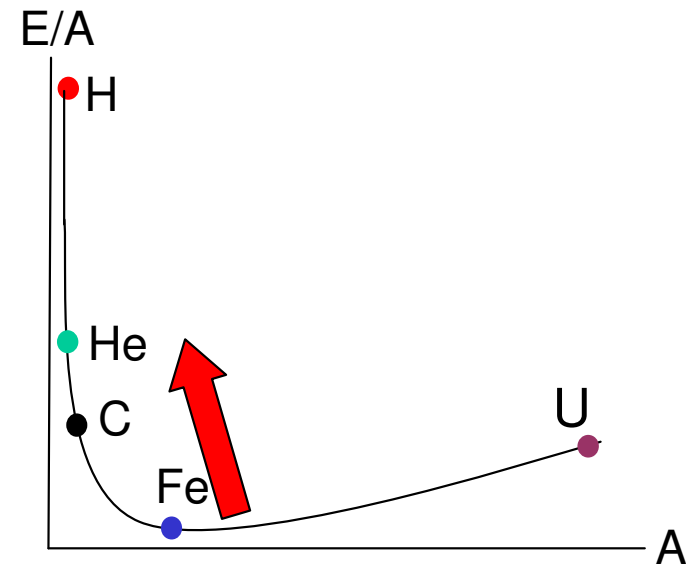
gravitációs energia



újramelegedés,
növekvő nyomás



újabb Fe atommagok
esnek szét



szabályozás negatív
visszacatolással

a vas atommagok fotodisszociációja:

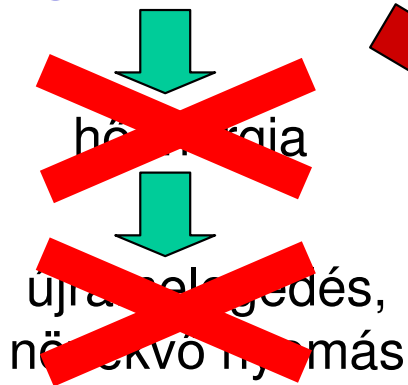


Ez a folyamat sok energiát nyel el

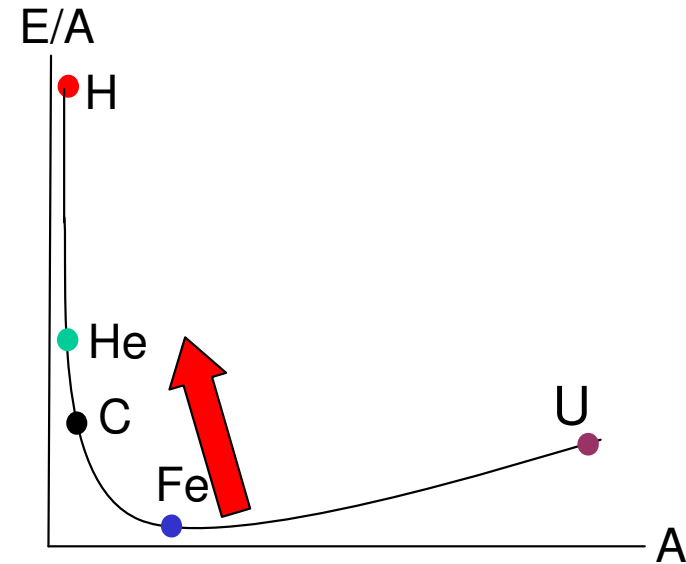
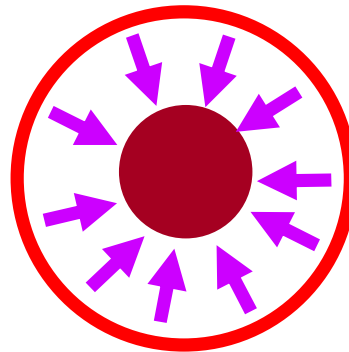
ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia



**újabb Fe atommagok
esnek szét**



szabályozás negatív
visszacsatolással

a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

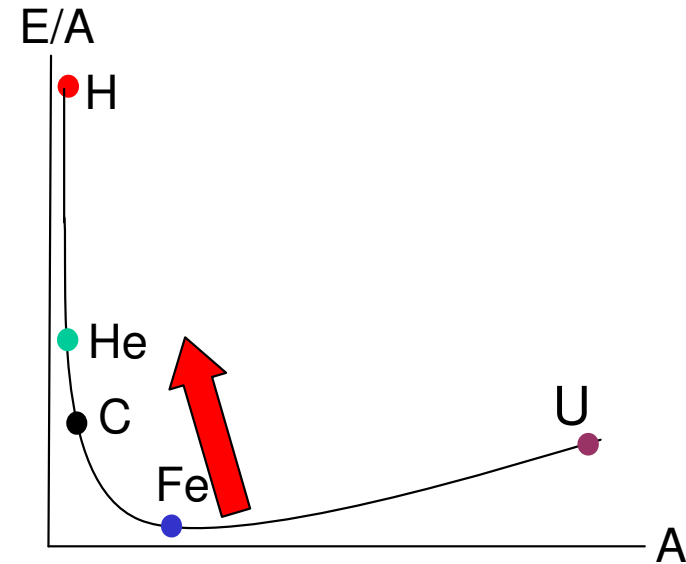
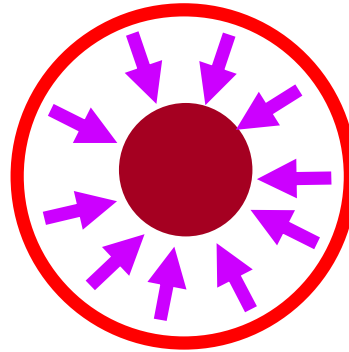
a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

~~hőenergia~~
~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

állandó hőmérséklet
kis nyomás



szabályozás negatív
visszacsatolással

a vas atommagok fotodisszociációja:

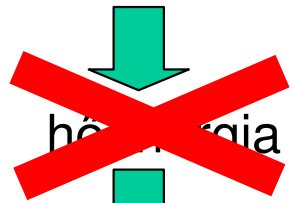


Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

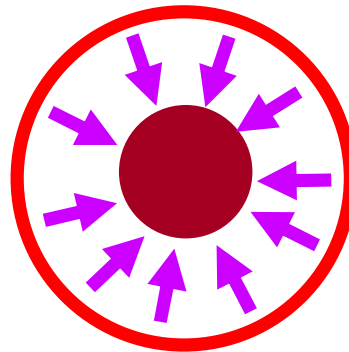


~~hőenergia~~



~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

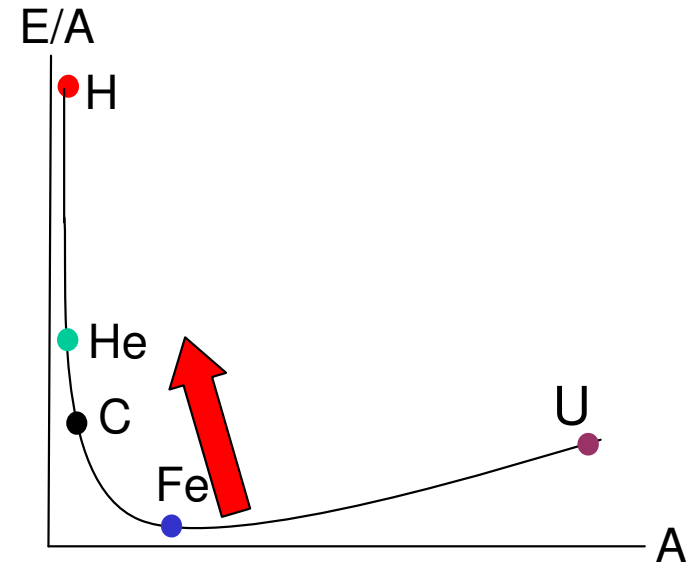
~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~



**újabb Fe atommagok
esnek szét**



**állandó hőmérséklet
kis nyomás**



a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

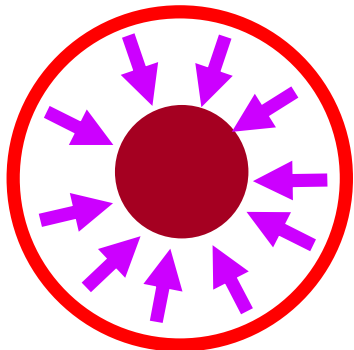
a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

~~hőenergia~~

~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

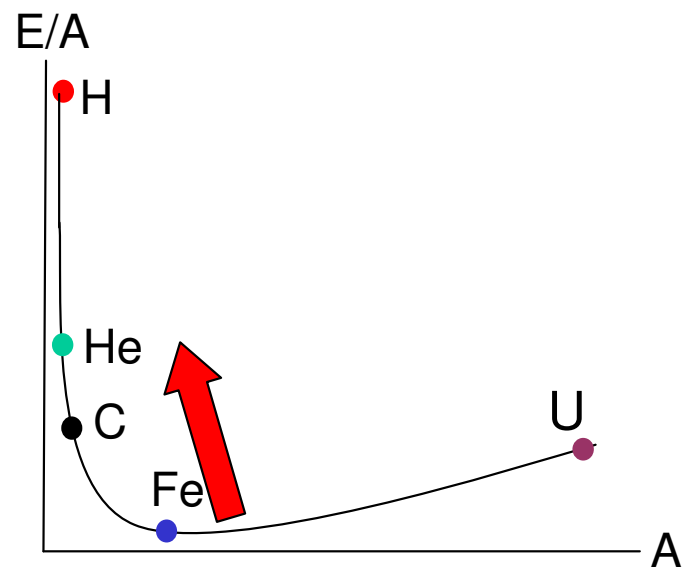
~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~



újabb Fe atommagok
esnek szét

állandó hőmérséklet
kis nyomás

**folytatódik a
beomlás!**



a vas atommagok fotodisszociációja:

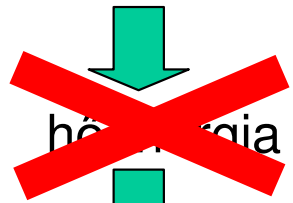


Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

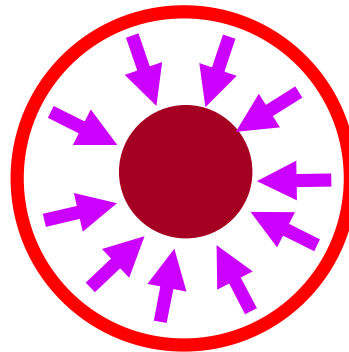


hőenergia



újra melegedés,
növekvő nyomás

szabályozás negatív
visszacsatolással



újabb Fe atommagok
esnek szét

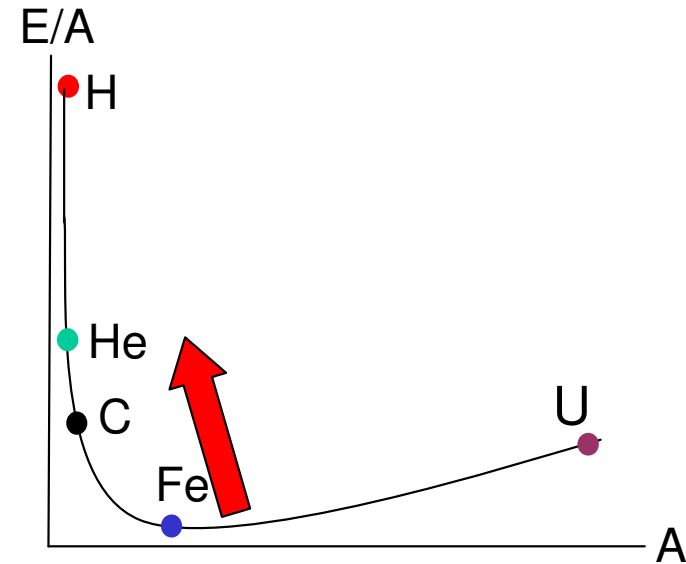


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



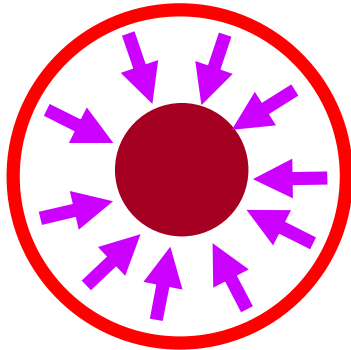
a vas atommagok fotodisszociációja:



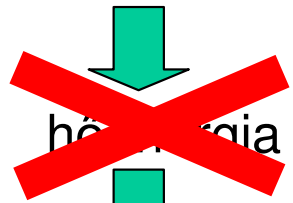
Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia



~~hőenergia~~



~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

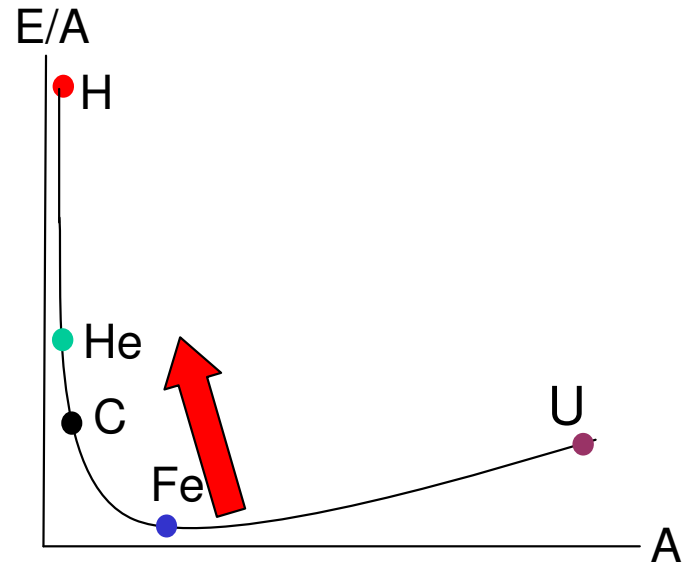


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



a vas atommagok fotodisszociációja:

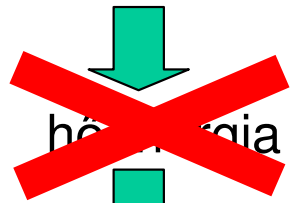


Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

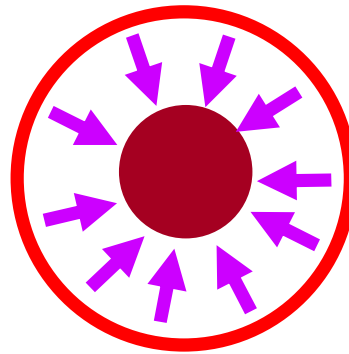


~~hőenergia~~



~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~



újabb Fe atommagok
esnek szét

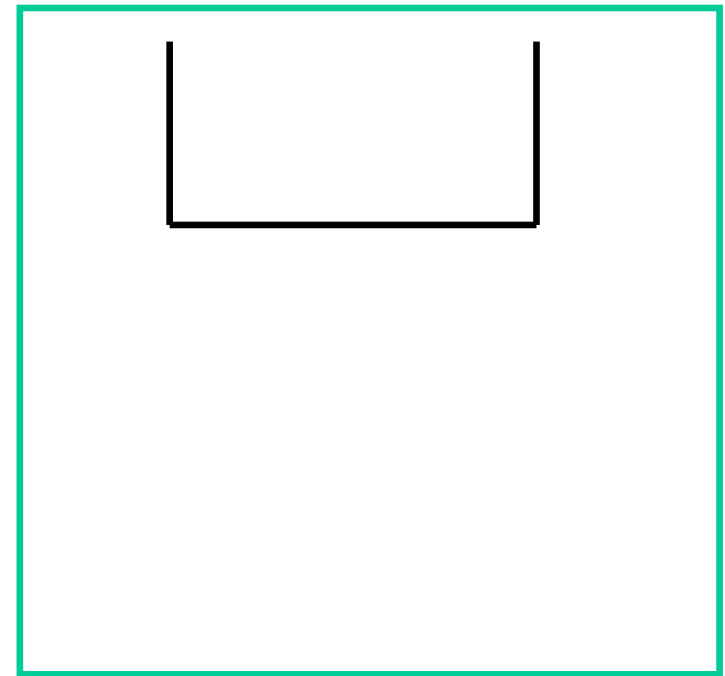
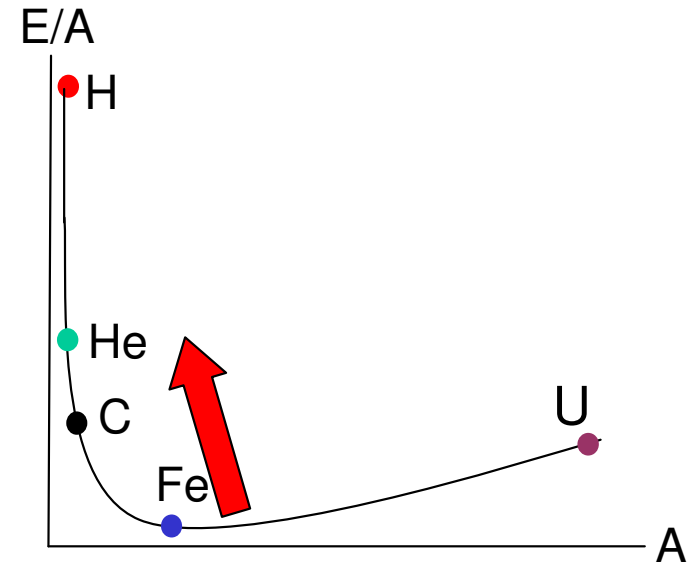


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



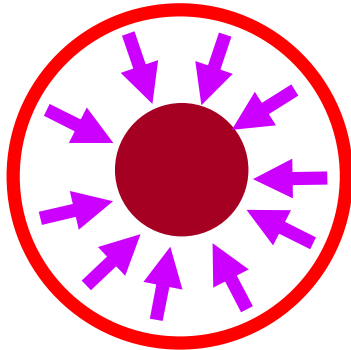
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia

~~hőenergia~~

~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

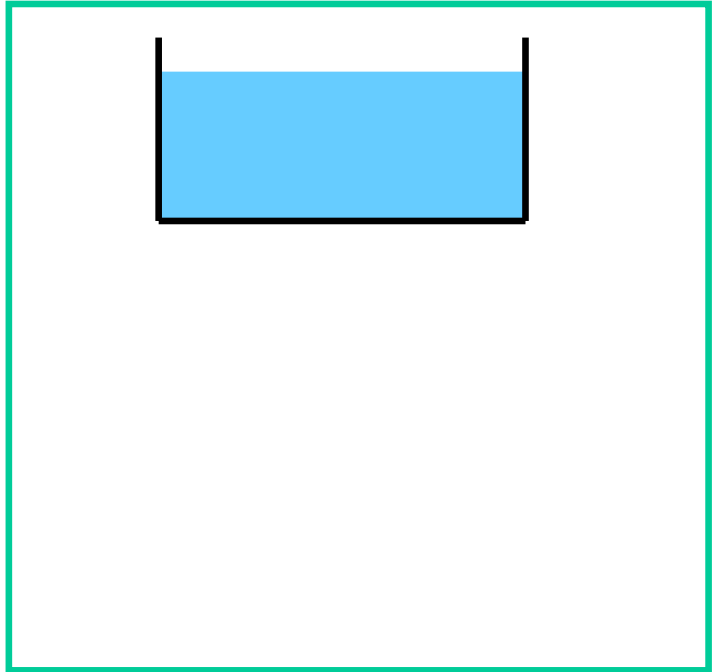
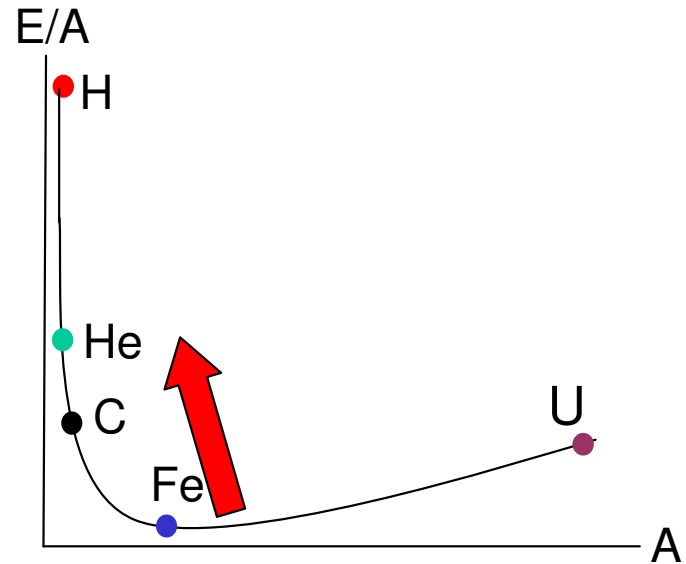
~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

állandó hőmérséklet
kis nyomás

**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



a vas atommagok fotodisszociációja:

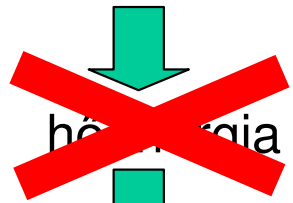


Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

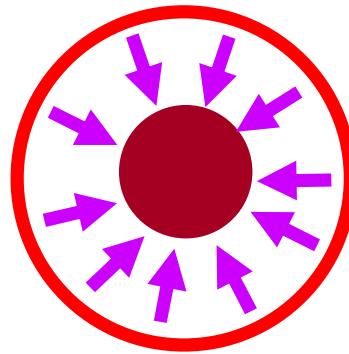


~~hőenergia~~



~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~



újabb Fe atommagok
esnek szét

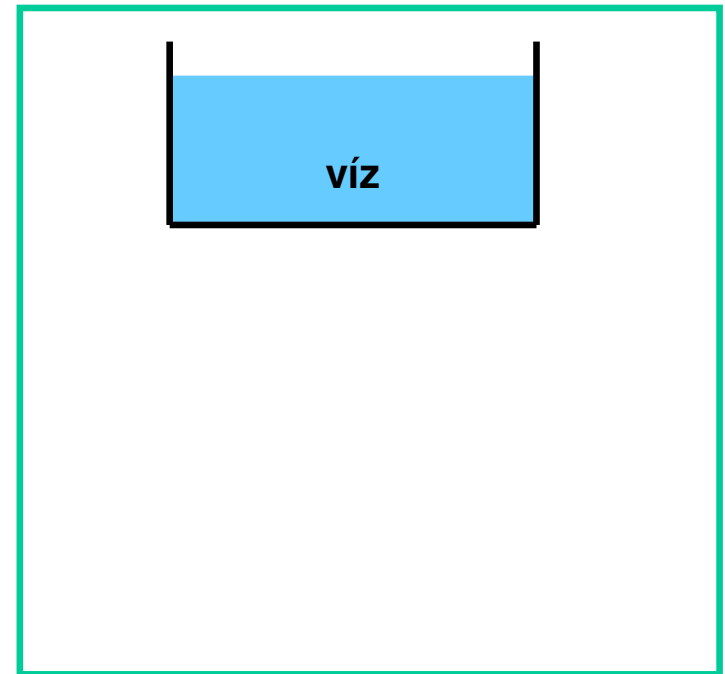
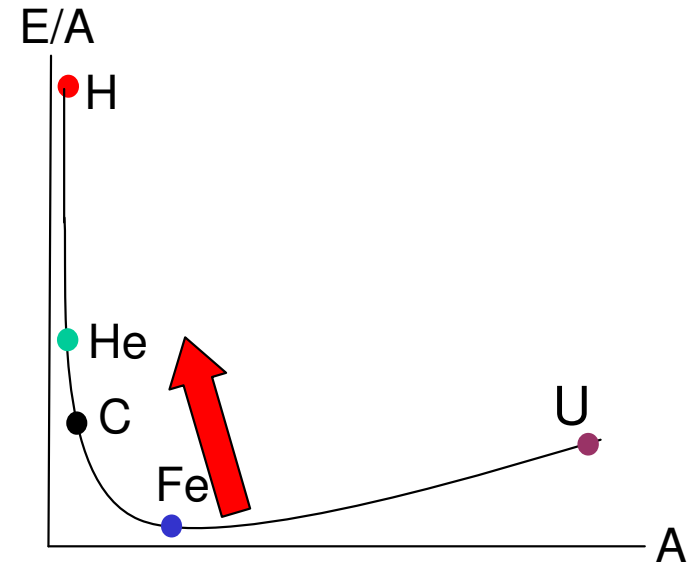


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



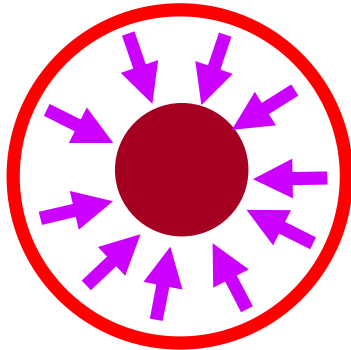
a vas atommagok fotodisszociációja:



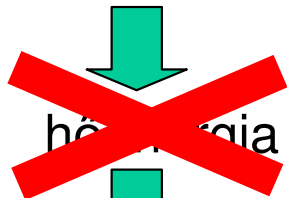
Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia



~~hőenergia~~



~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

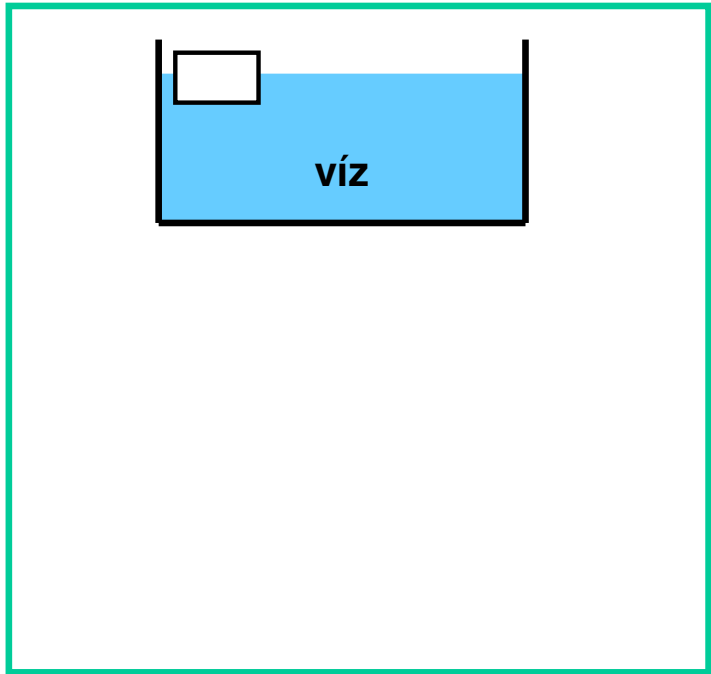
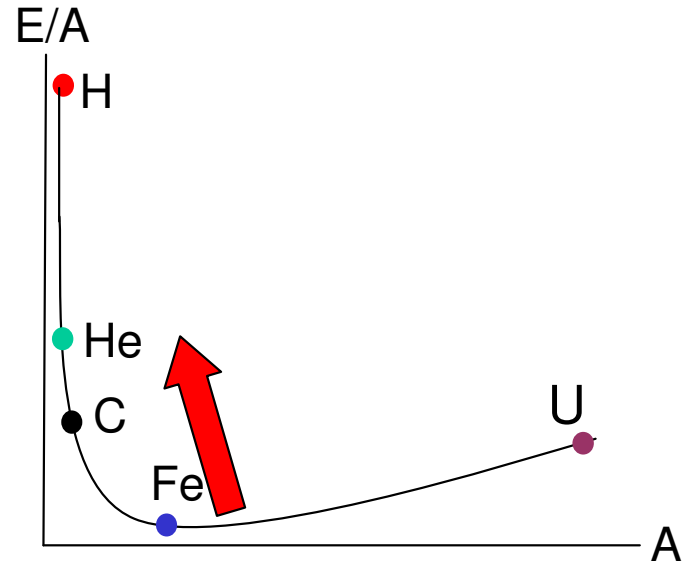


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



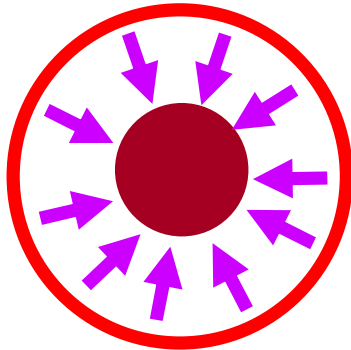
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia

~~hőenergia~~

~~újra melegedés,
növekvő nyomás~~

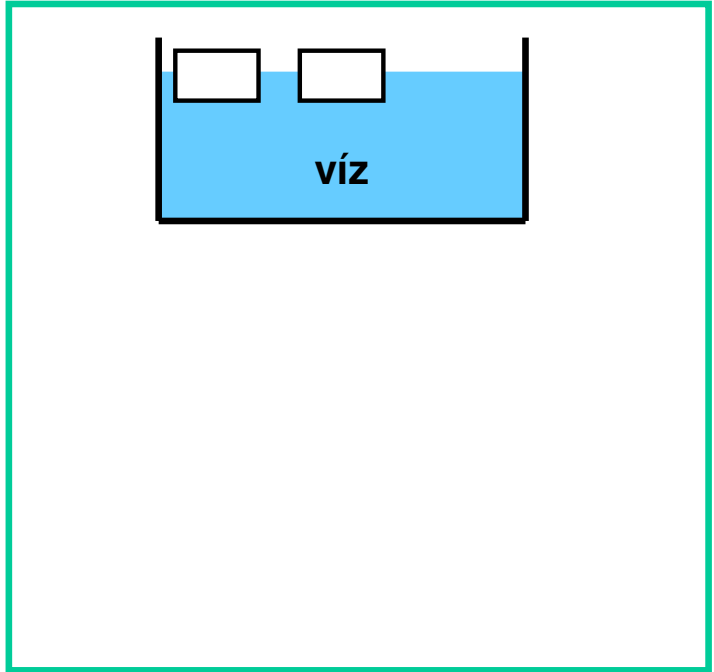
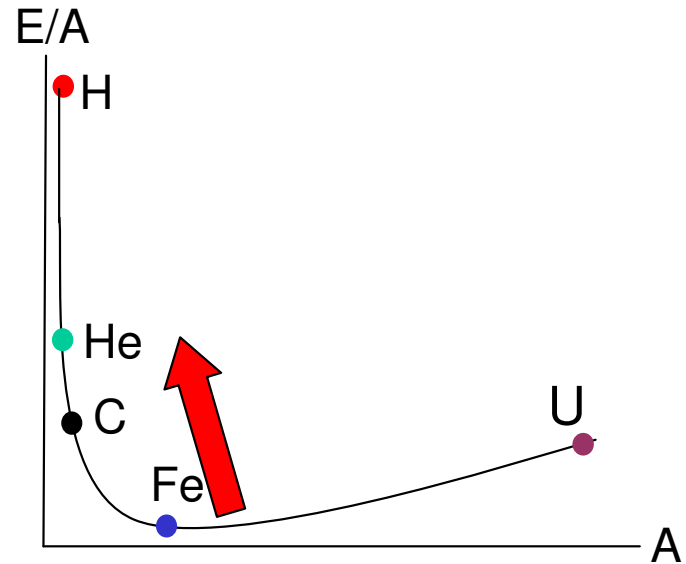
~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

állandó hőmérséklet
kis nyomás

**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



a vas atommagok fotodisszociációja:

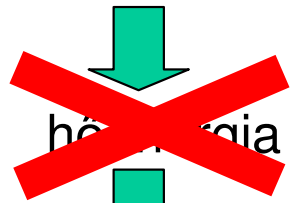


Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

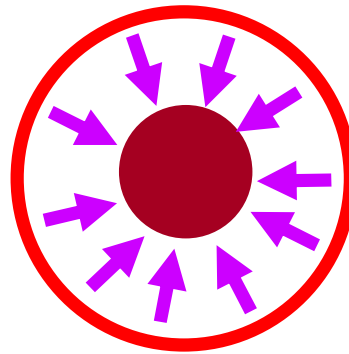


~~hőenergia~~



~~újra melegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~



újabb Fe atommagok
esnek szét

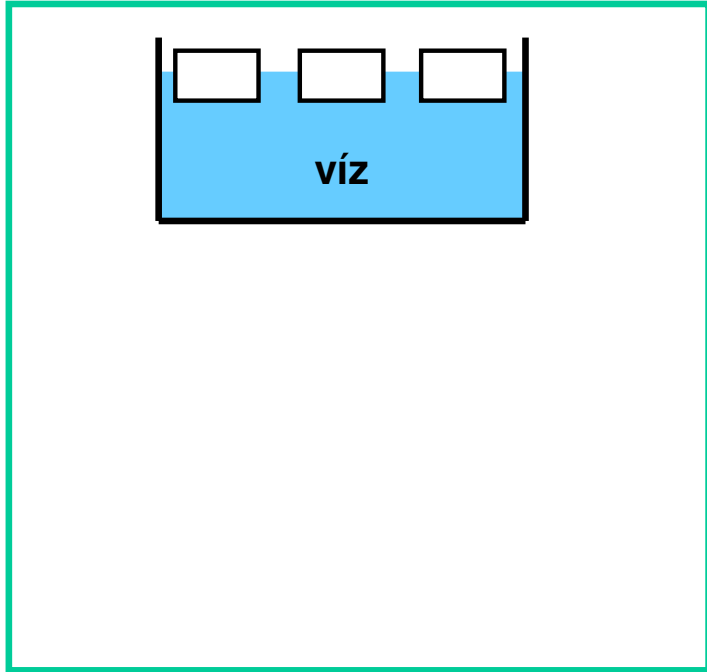
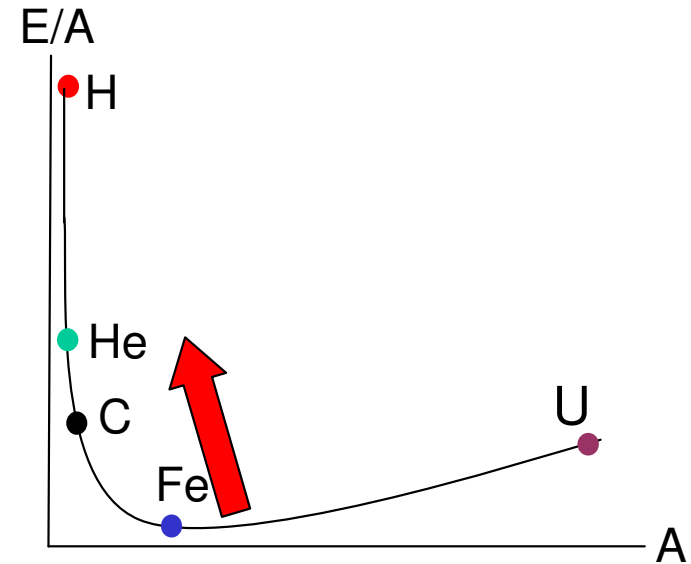


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



a vas atommagok fotodisszociációja:

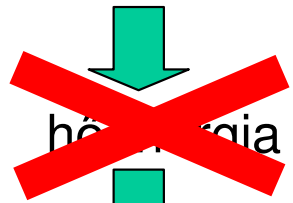


Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot

gravitációs energia

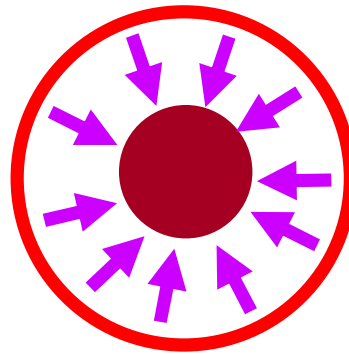


~~hőenergia~~



~~újra melegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~



újabb Fe atommagok
esnek szét

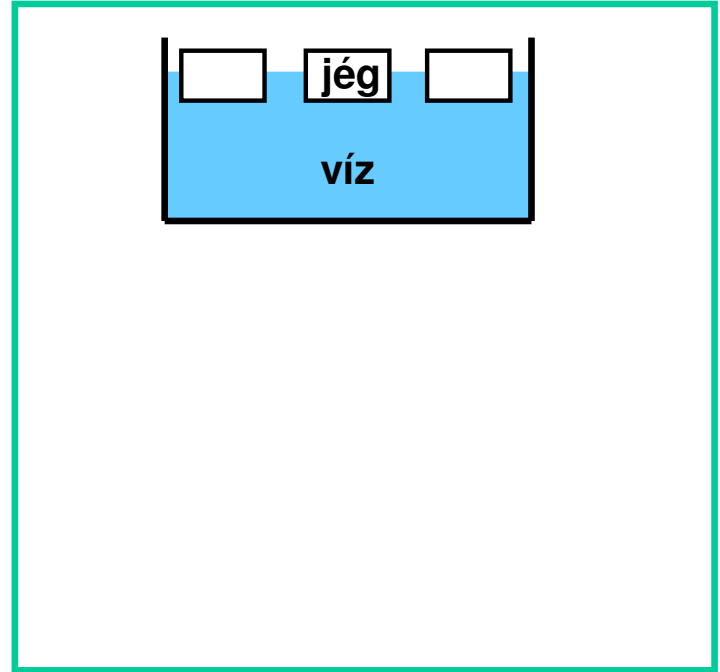
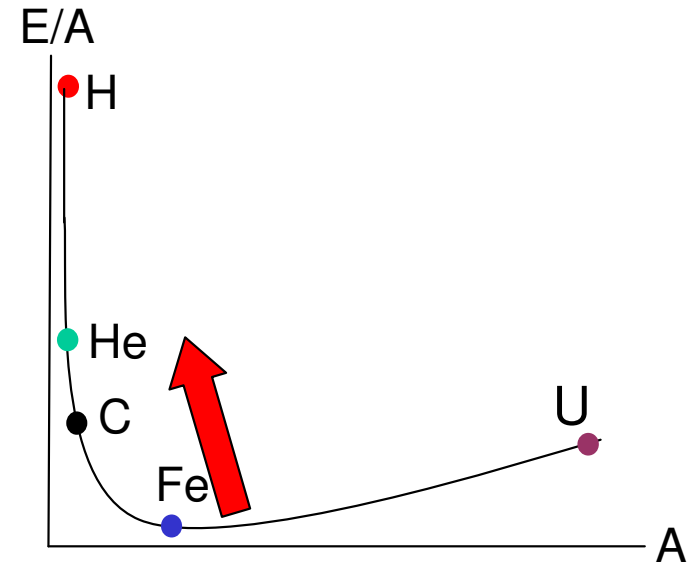


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



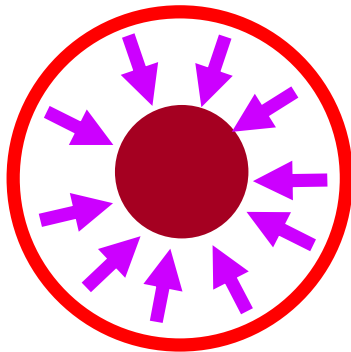
a vas atommagok fotodisszociációja:



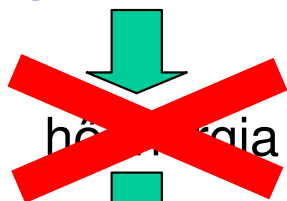
Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia



~~hőenergia~~



~~újra melegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

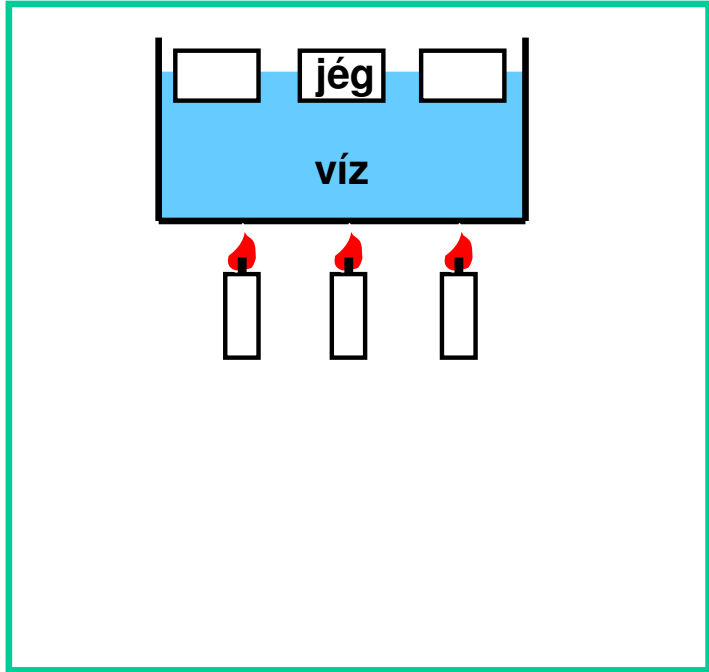
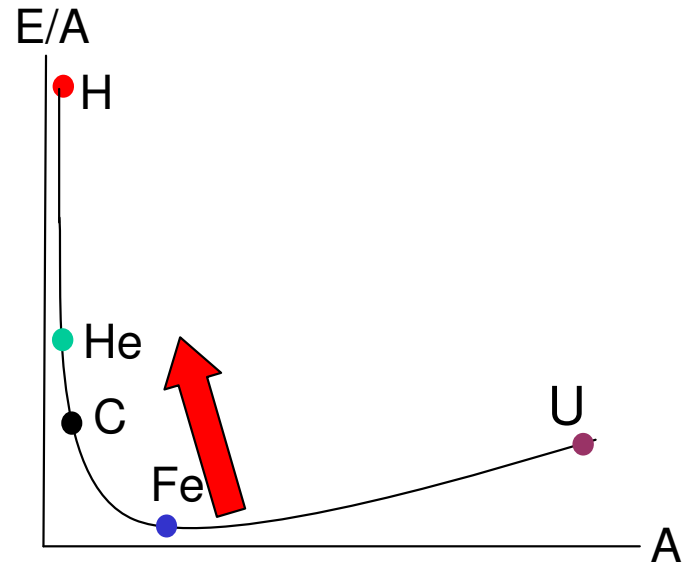


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



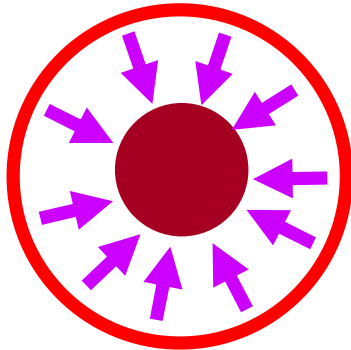
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia

~~hőenergia~~

~~újra melegedés,
növekvő nyomás~~

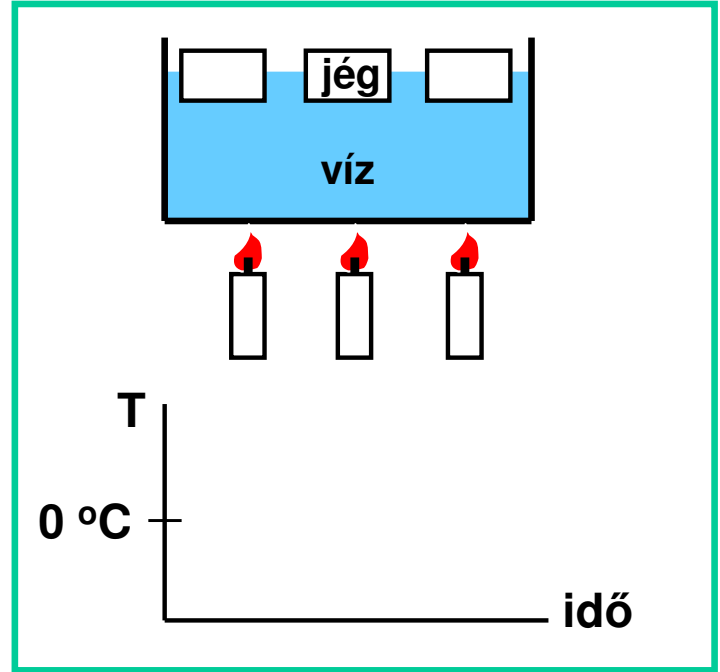
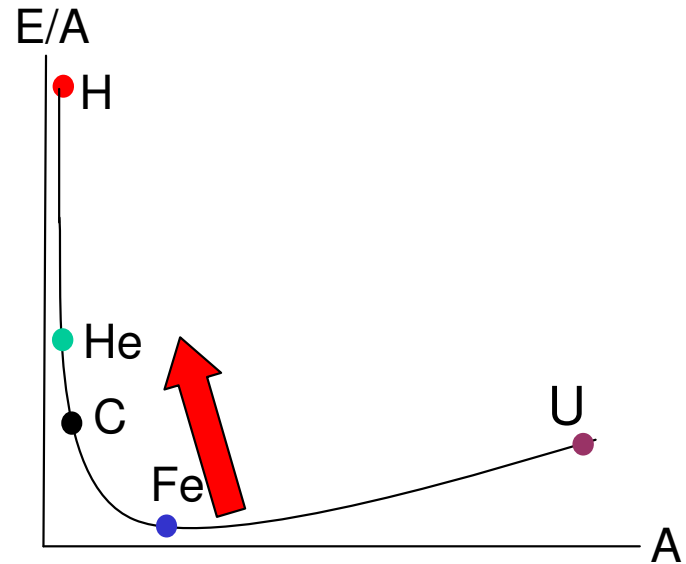
~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

állandó hőmérséklet
kis nyomás

**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



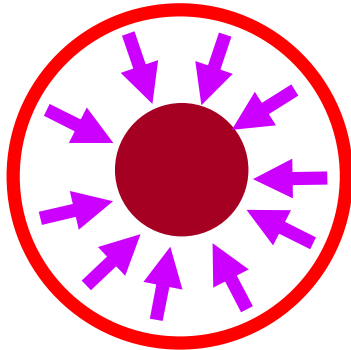
a vas atommagok fotodisszociációja:



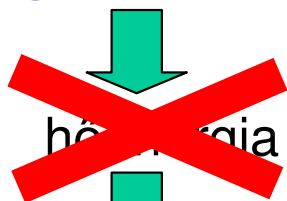
Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia



~~hőenergia~~



~~újra melegedés,
növekvő nyomás~~

~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

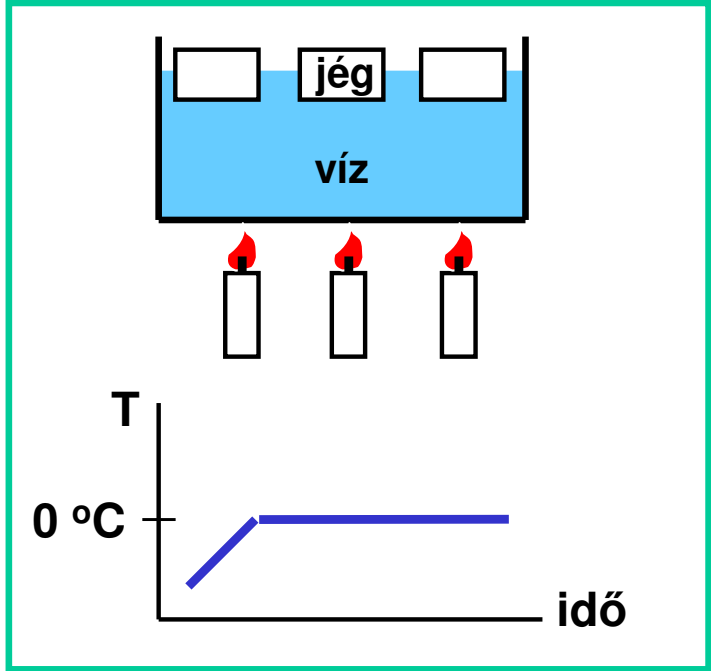
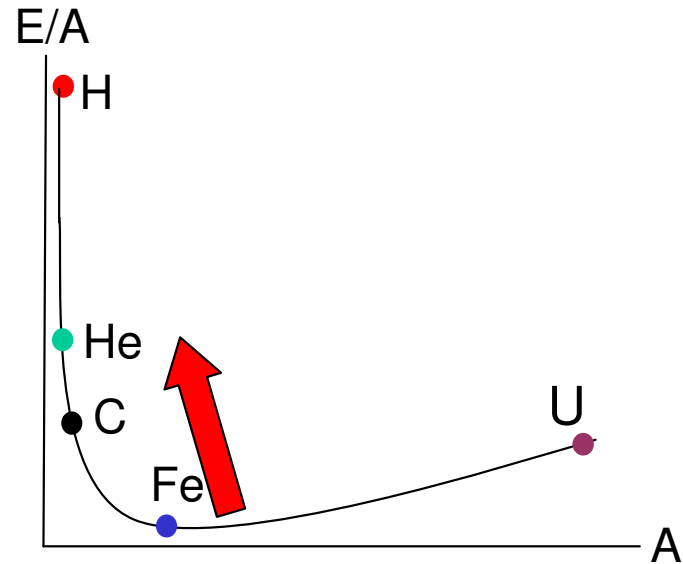


állandó hőmérséklet
kis nyomás



**folytatódik a
beomlás!**

**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



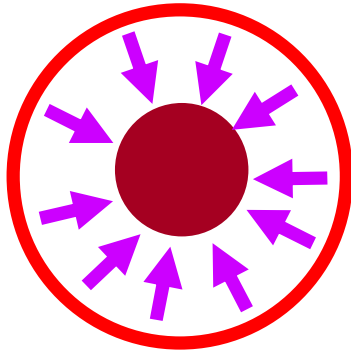
a vas atommagok fotodisszociációja:



Ez a folyamat sok energiát nyel el

ezért a csillag magjában
csökken a nyomás

a burok súlya
összenyomja a magot



gravitációs energia

~~hőenergia~~

~~újra felmelegedés,
növekvő nyomás~~

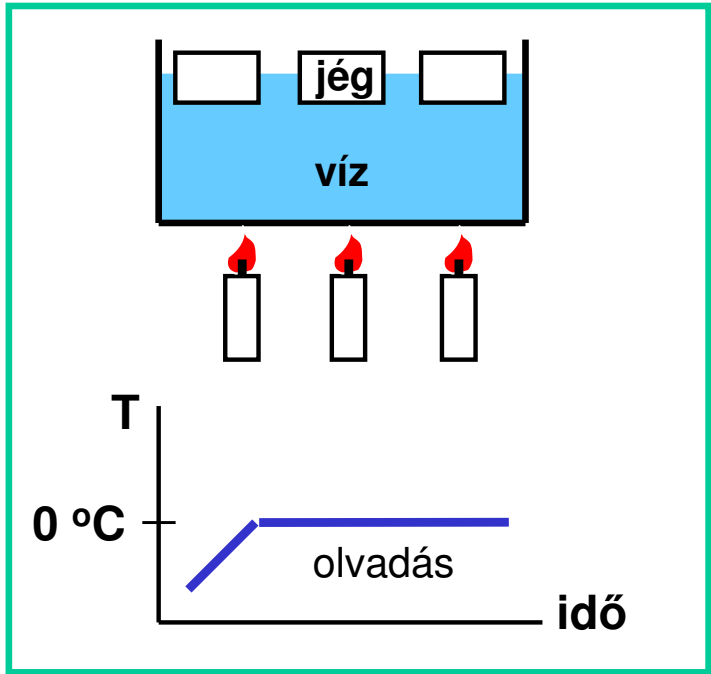
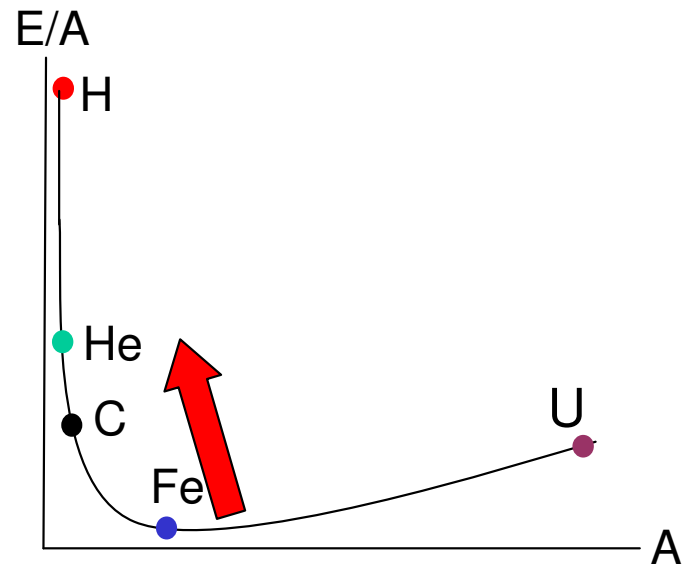
~~szabályozás negatív
visszacsatolással~~

újabb Fe atommagok
esnek szét

állandó hőmérséklet
kis nyomás

**folytatódik a
beomlás!**

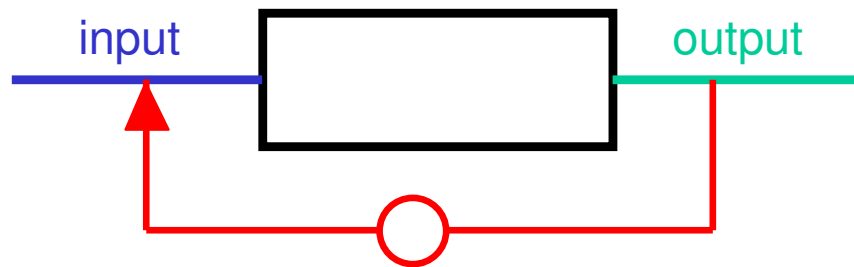
**Beindult a második
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



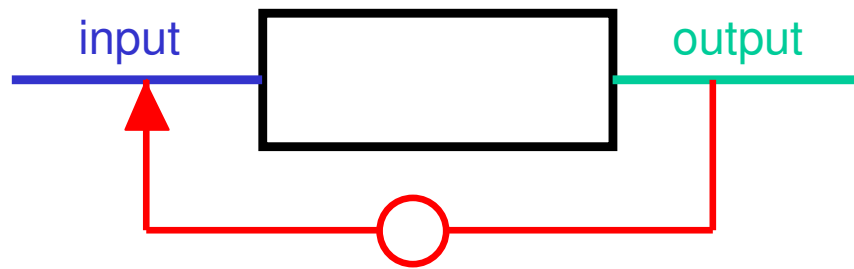
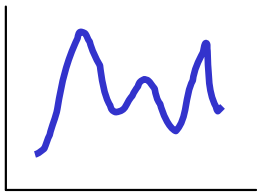
szabályozás negatív visszacsatolással



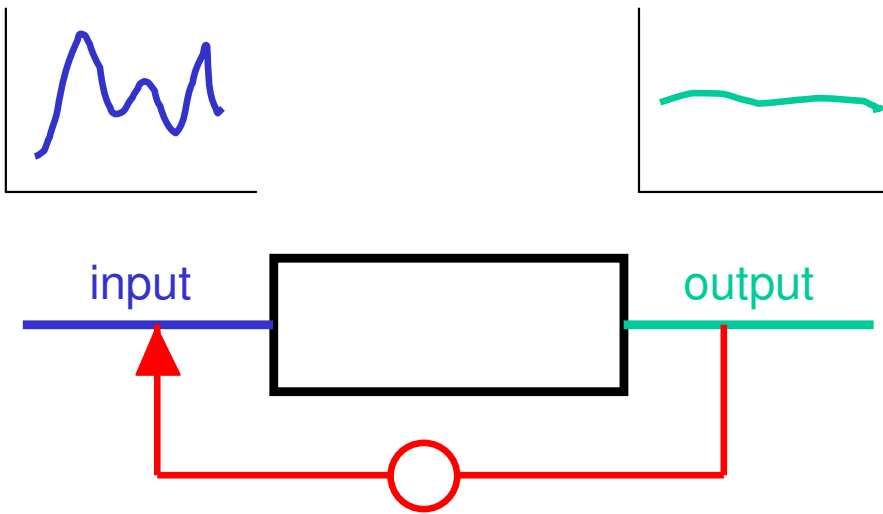
szabályozás negatív visszacsatolással



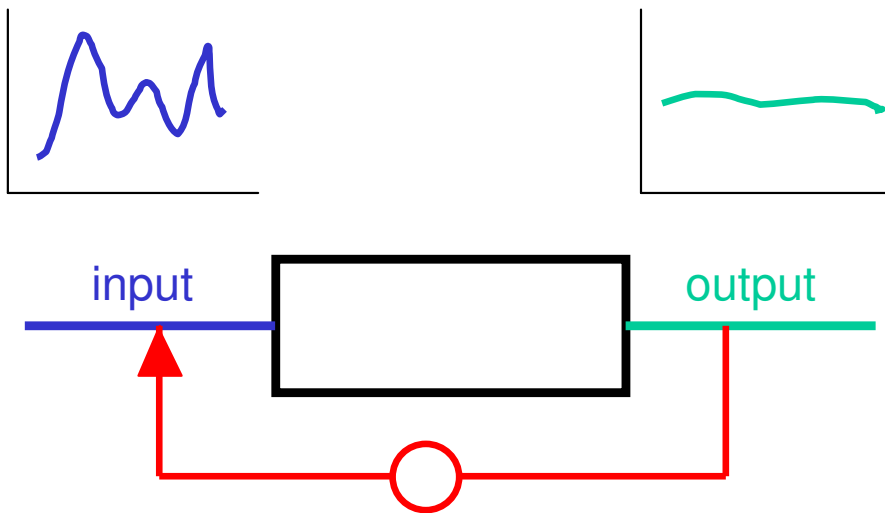
szabályozás negatív visszacsatolással



szabályozás negatív visszacsatolással

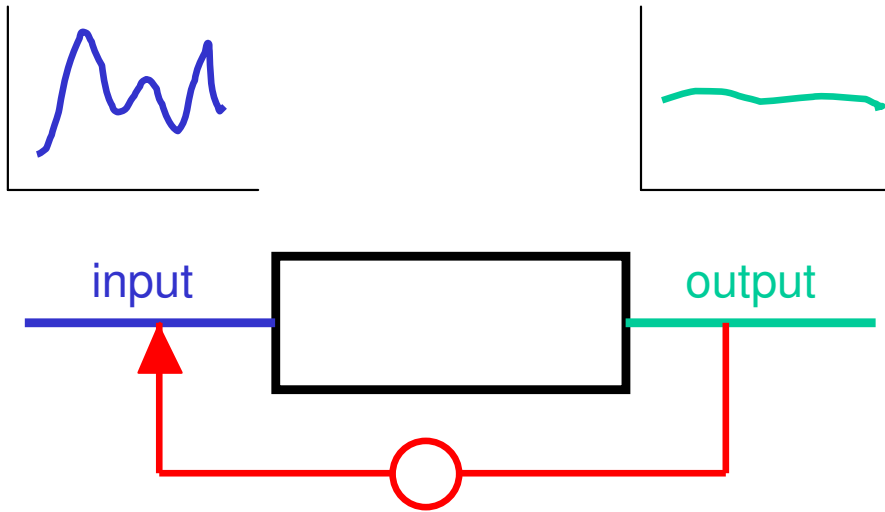


szabályozás negatív
visszacsatolással

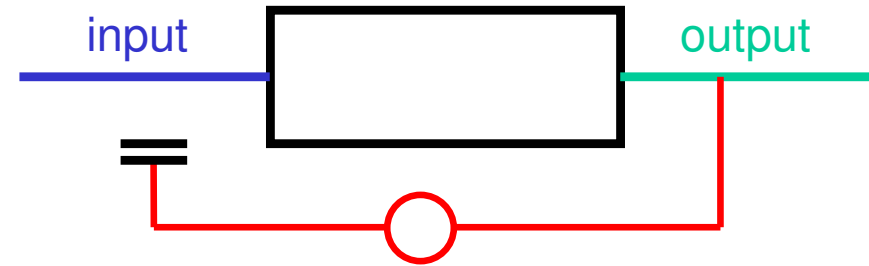


megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör

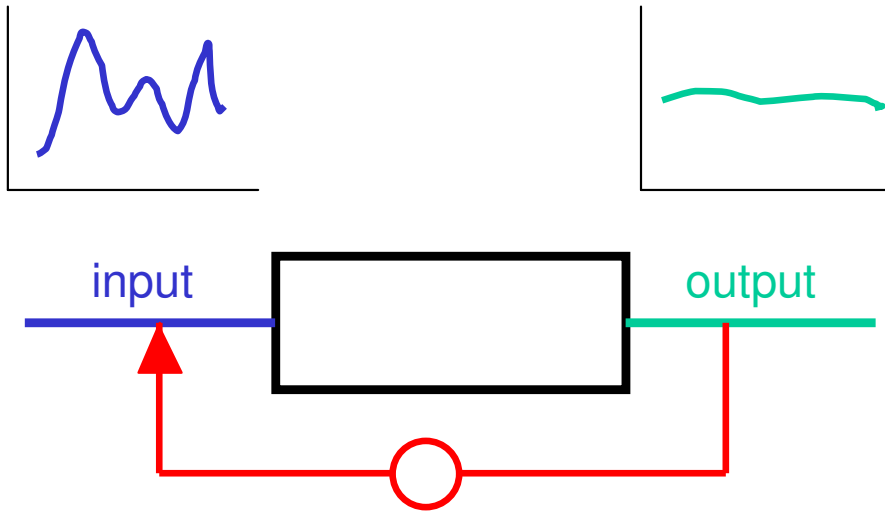
szabályozás negatív
visszacsatolással



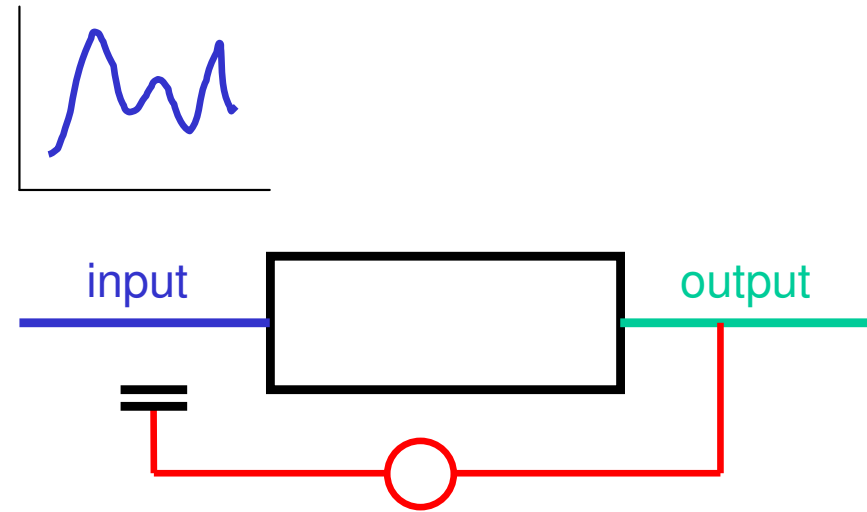
megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör



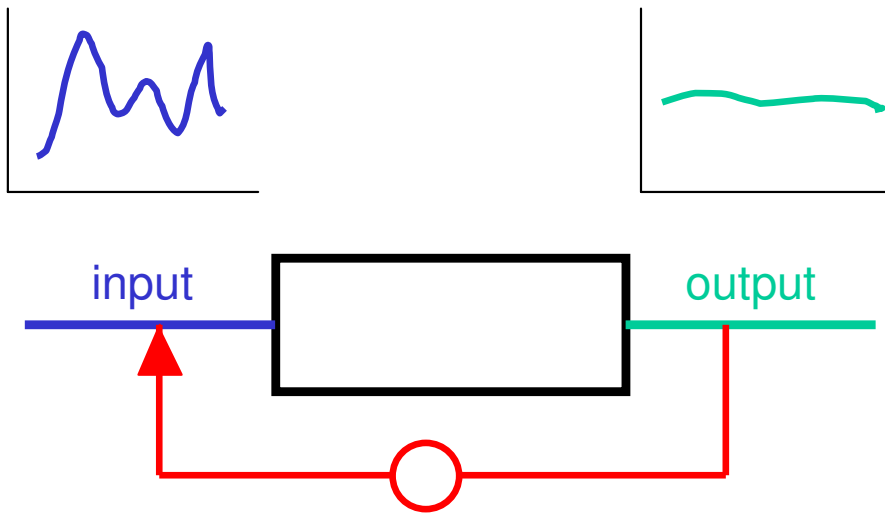
szabályozás negatív
visszacsatolással



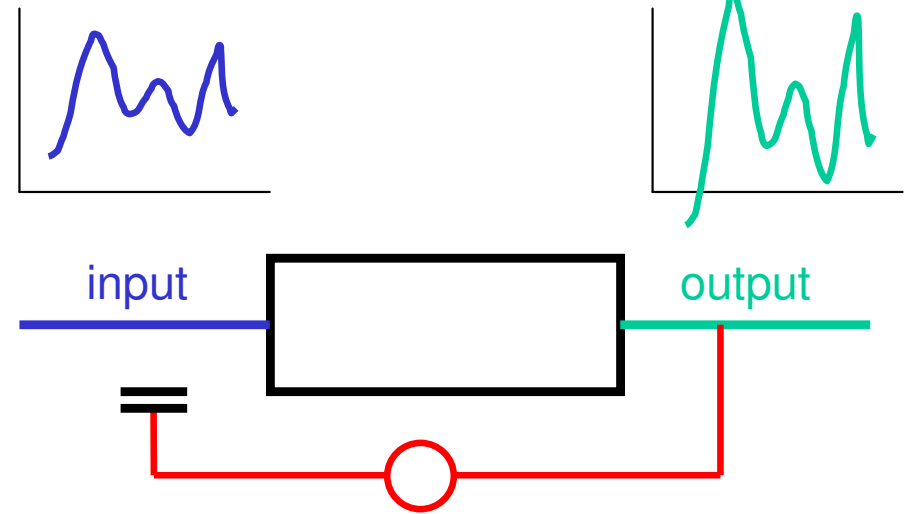
megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör



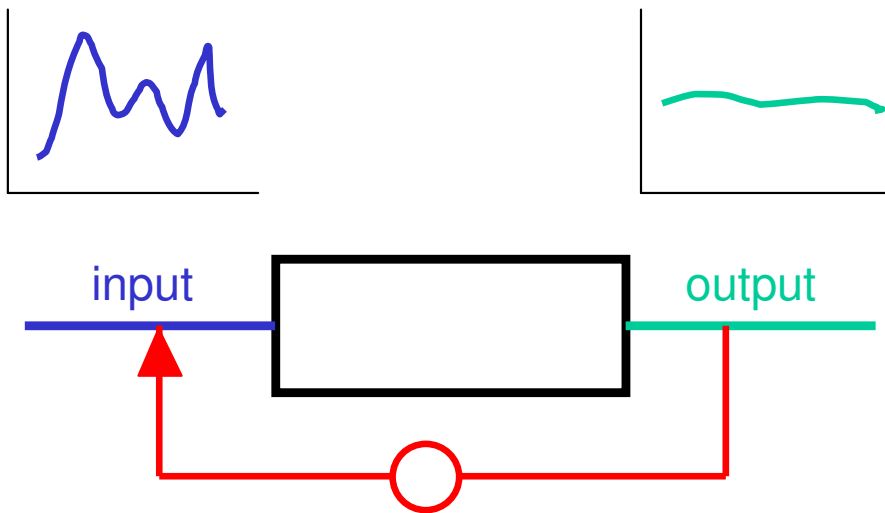
szabályozás negatív
visszacsatolással



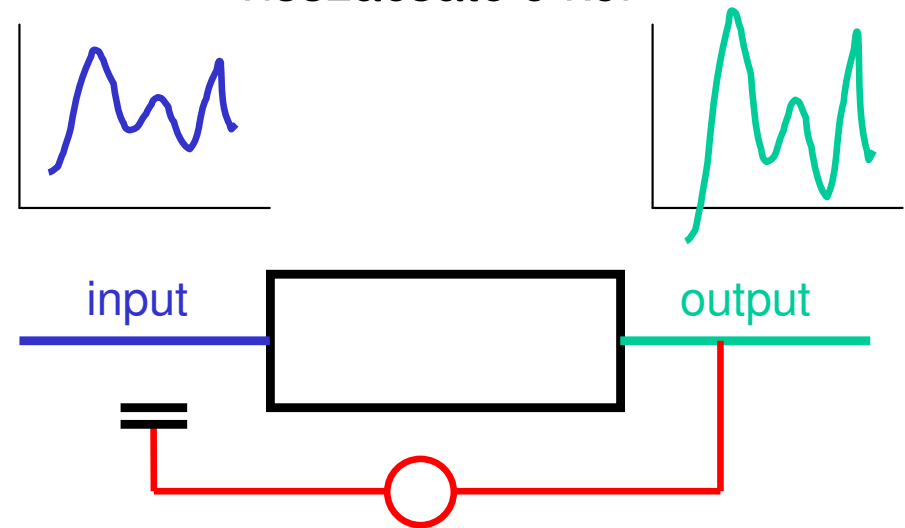
megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör



szabályozás negatív
visszacsatolással

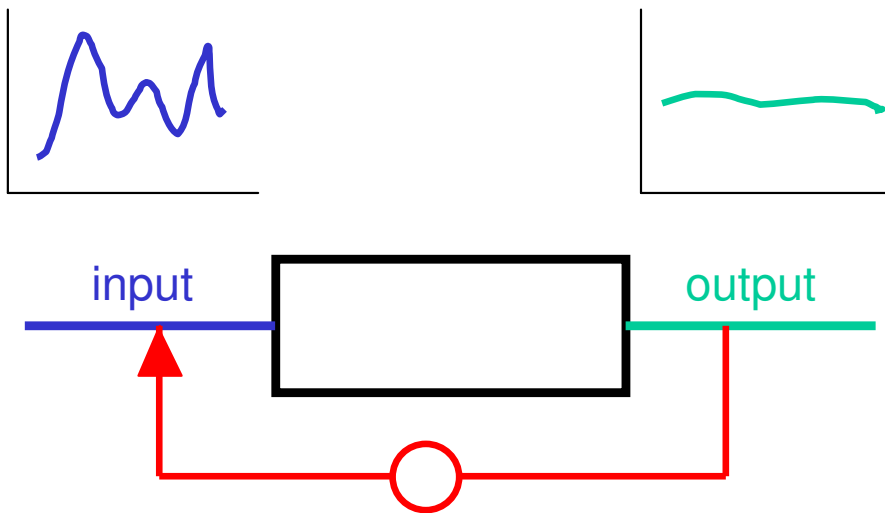


megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör

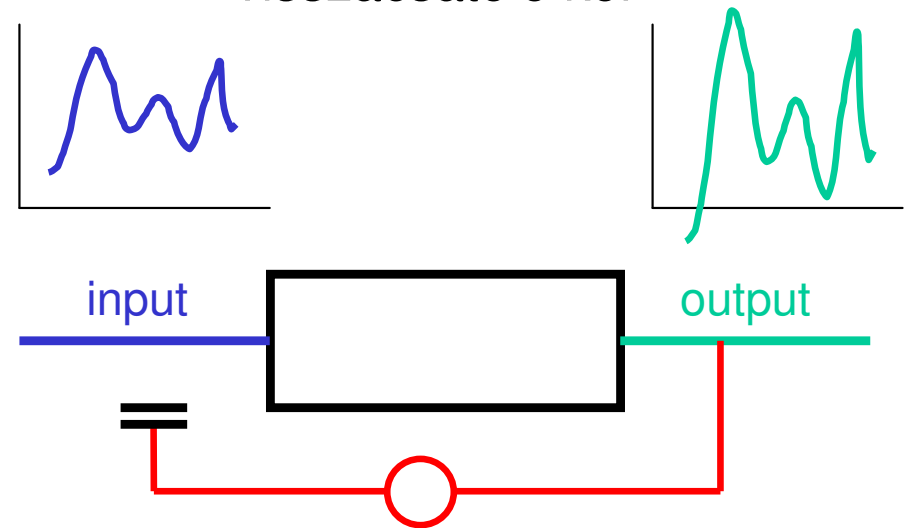


a csillag magjában a vas atommagok „olvadása” következtében megszűnt a negatív visszacsatolás

szabályozás negatív
visszacsatolással



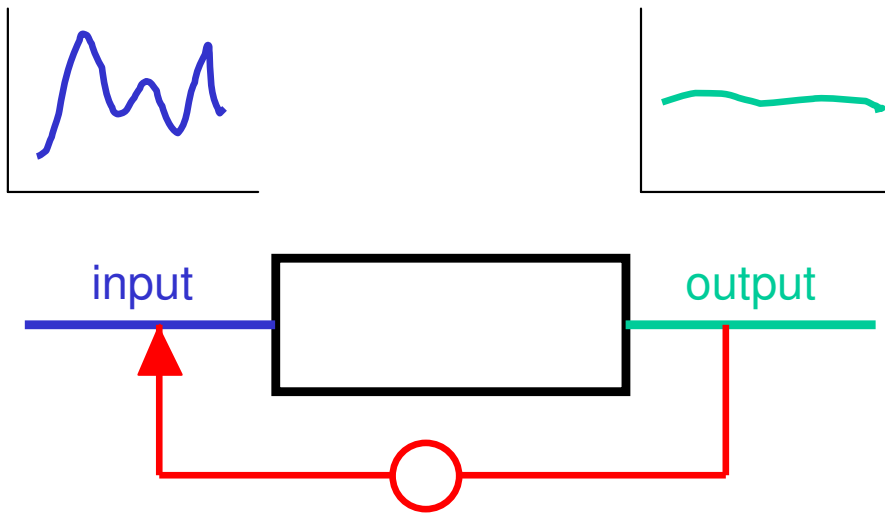
megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör



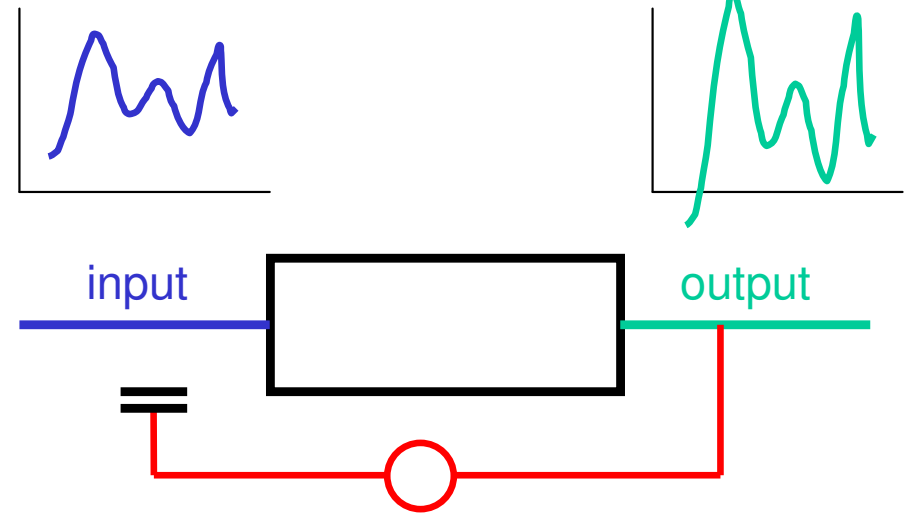
a csillag magjában a vas atommagok „olvadása” következtében megszűnt a negatív visszacsatolás

a burok anyagának beomlása akadálytalanul folytatódik

szabályozás negatív
visszacsatolással

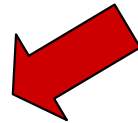


megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör



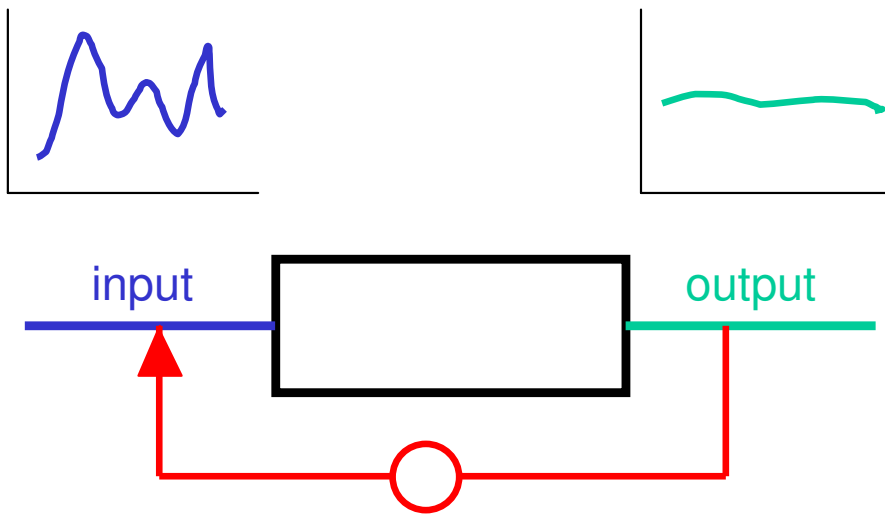
a csillag magjában a vas atommagok „olvadása” következtében
megszűnt a negatív visszacsatolás

a burok anyagának beomlása akadálytalanul folytatódik

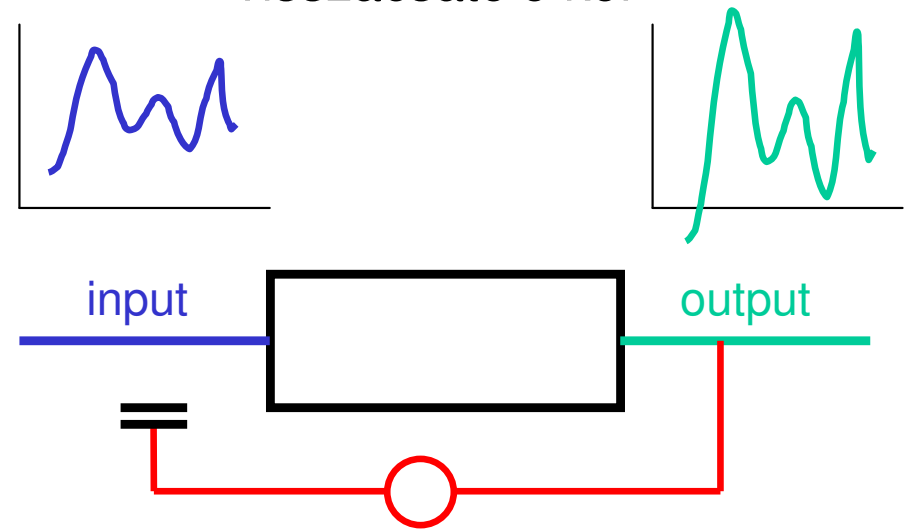


a csillag évmilliók alatt gyártotta le
a vas atommagokat – ezek most
igen gyorsan szétesnek

szabályozás negatív
visszacsatolással



megszakadt a szabályozó
visszacsatoló kör

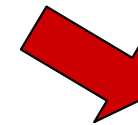


a csillag magjában a vas atommagok „olvadása” következtében
megszűnt a negatív visszacsatolás

a burok anyagának beomlása akadálytalanul folytatódik



a csillag évmilliók alatt gyártotta le
a vas atommagokat – ezek most
igen gyorsan szétesnek



a burok anyagának jelentős része
beomlik a magba – a csillag magja
még sűrűbb lesz

Meddig tart ez a folyamat?



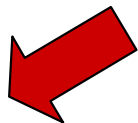
Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



Meddig tart ez a folyamat?

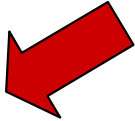
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll



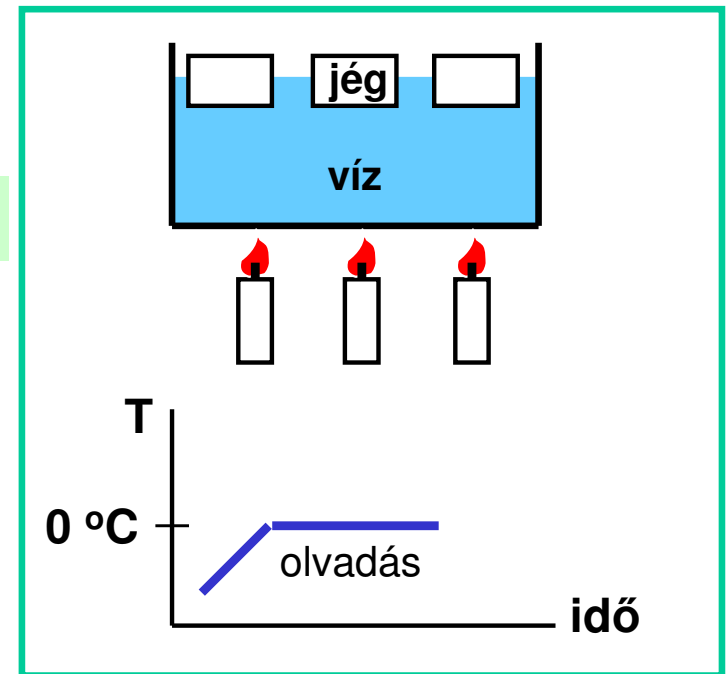
a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

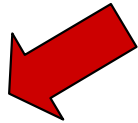
a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



Meddig tart ez a folyamat?

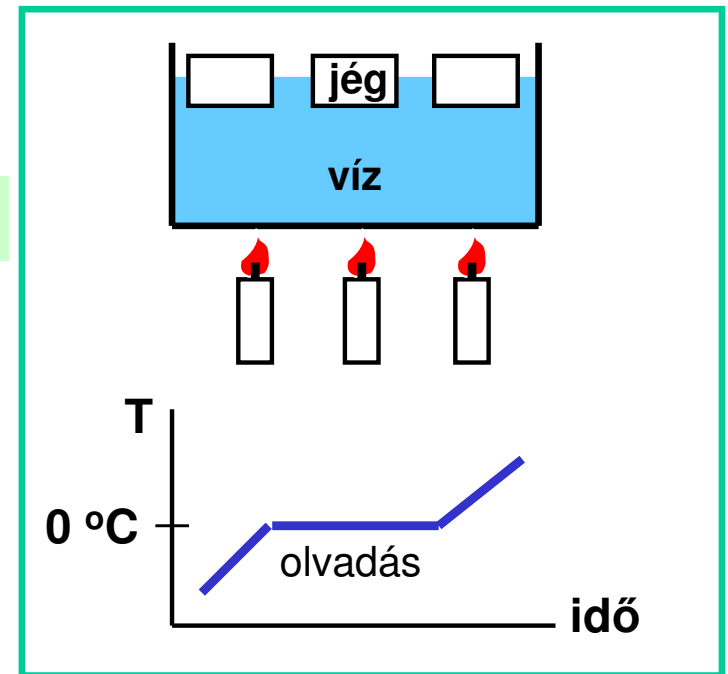
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll



a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



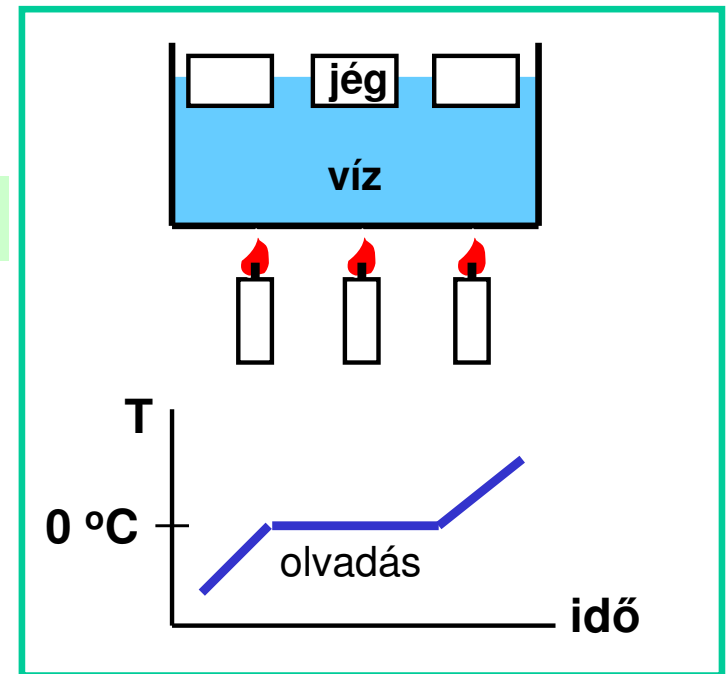
Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

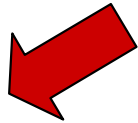
a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

Meddig tart ez a folyamat?



Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



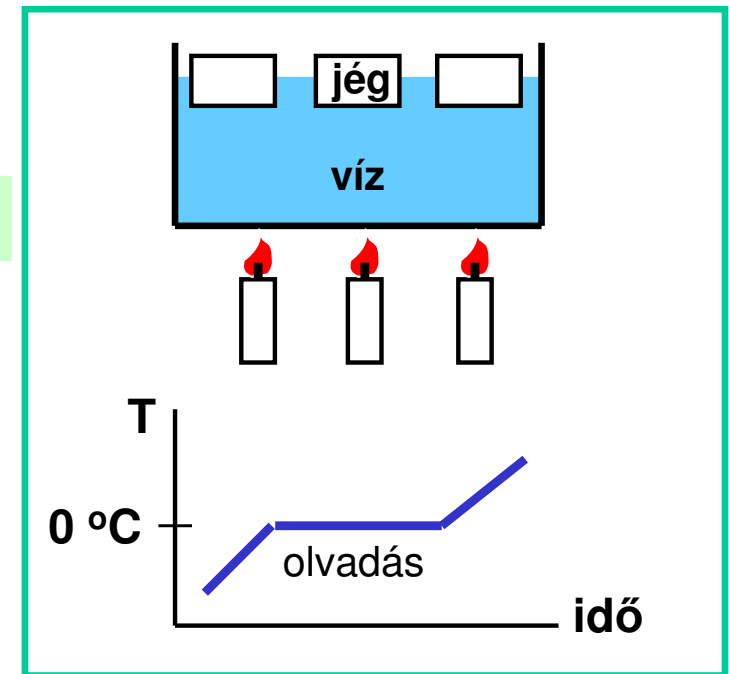
a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll



a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a**
csillagmag hőmérsékletét

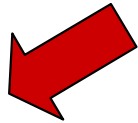
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét



Meddig tart ez a folyamat?

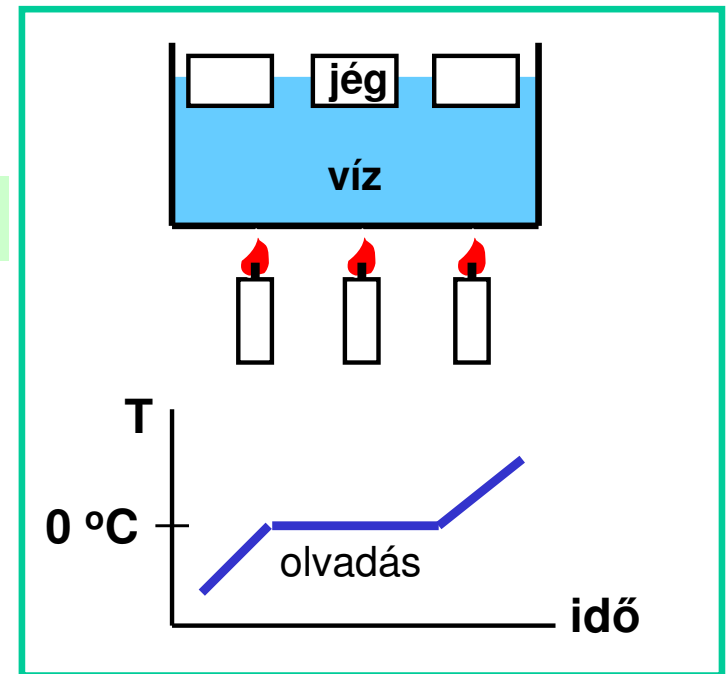
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

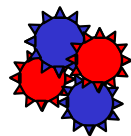


a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



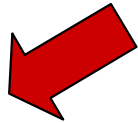
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét



Meddig tart ez a folyamat?

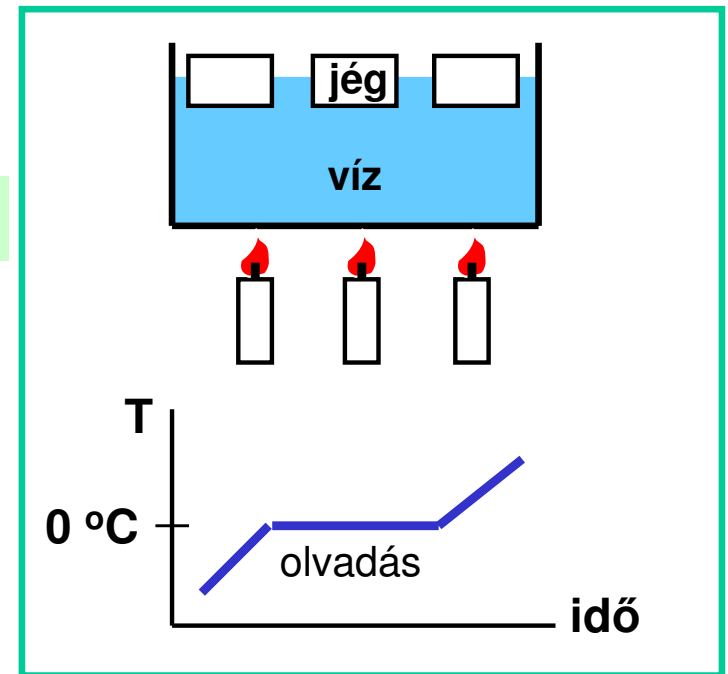
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

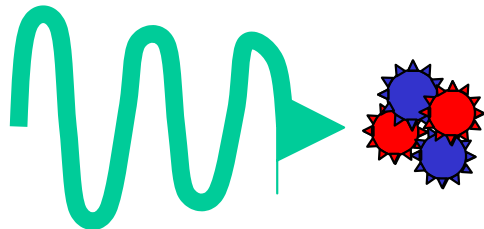


a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



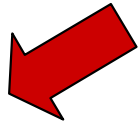
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét



Meddig tart ez a folyamat?

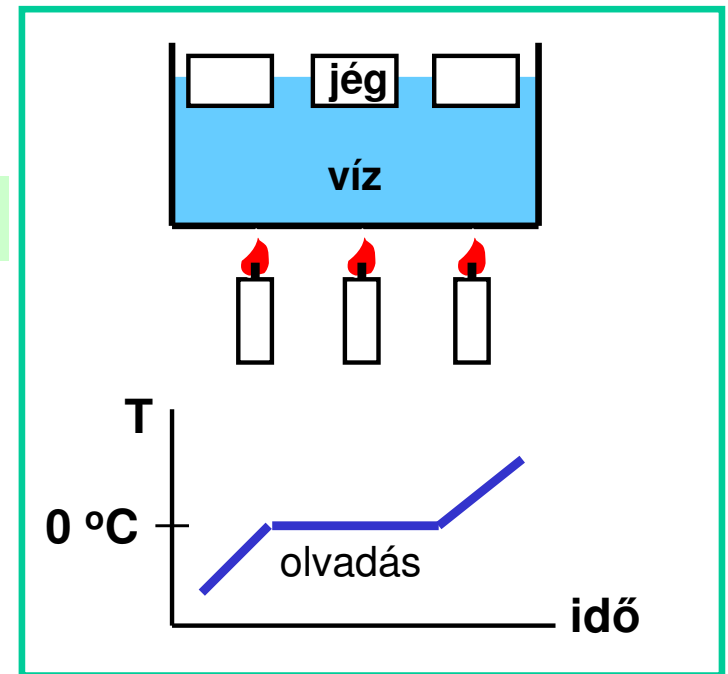
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

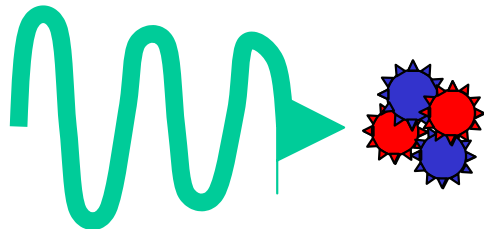


a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



Meddig tart ez a folyamat?

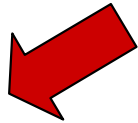
amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét



a hőszugárzás még
nagyobb energiájú fotonja

Meddig tart ez a folyamat?

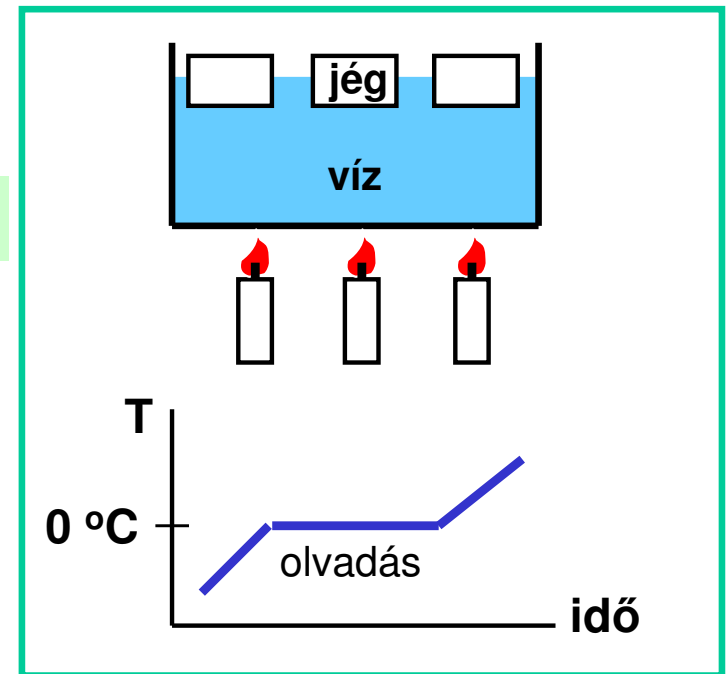
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

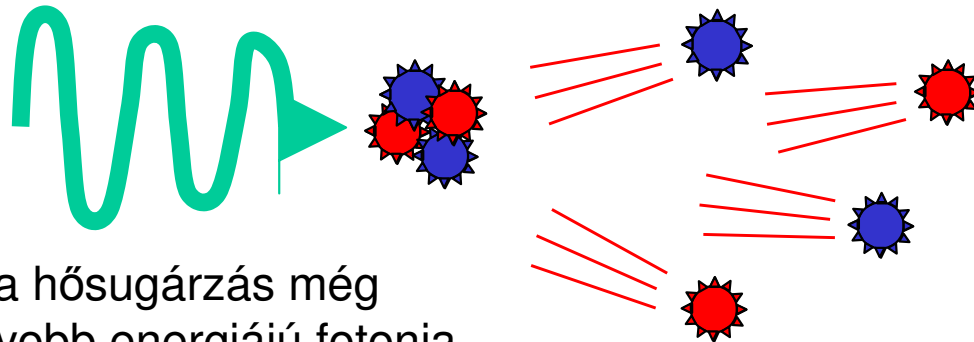


a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



Meddig tart ez a folyamat?

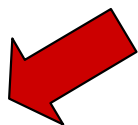
amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét



a hőszugárzás még
nagyobb energiájú fotonja

Meddig tart ez a folyamat?

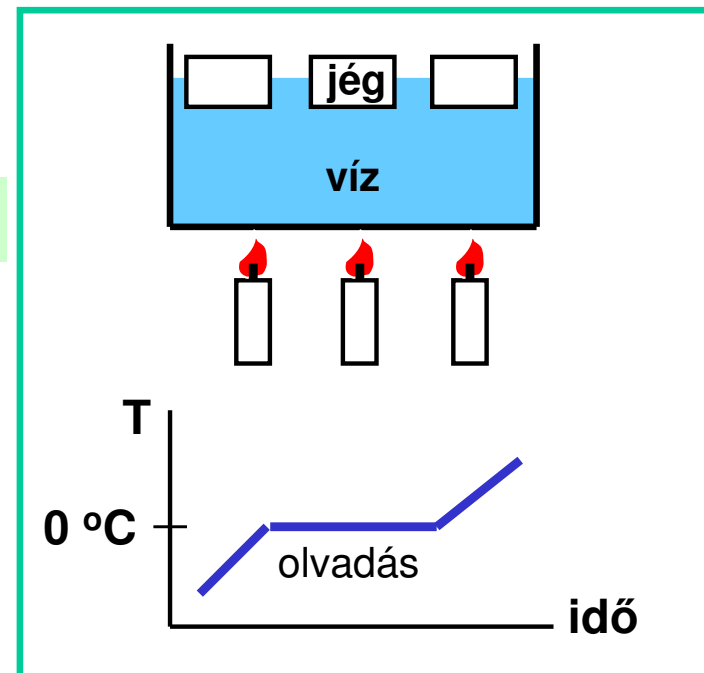
amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”



a csillag magja már lényegében alfa-részecskékből áll



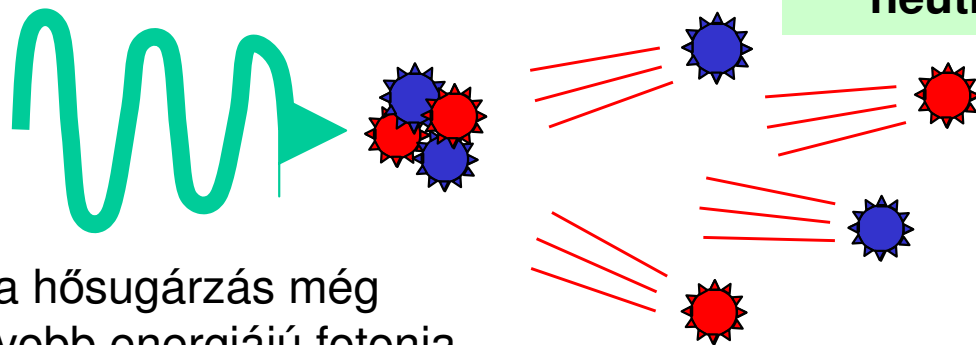
a beomlás gravitációs energiája most már hőenergiává alakulhat, és **növelheti a csillagmag hőmérsékletét**



Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy **újabb disszociációs folyamat** küszöbértékét

az alfa-részecskék szétesnek protonokra és neutronokra



a hőszugárzás még nagyobb energiájú fotonja

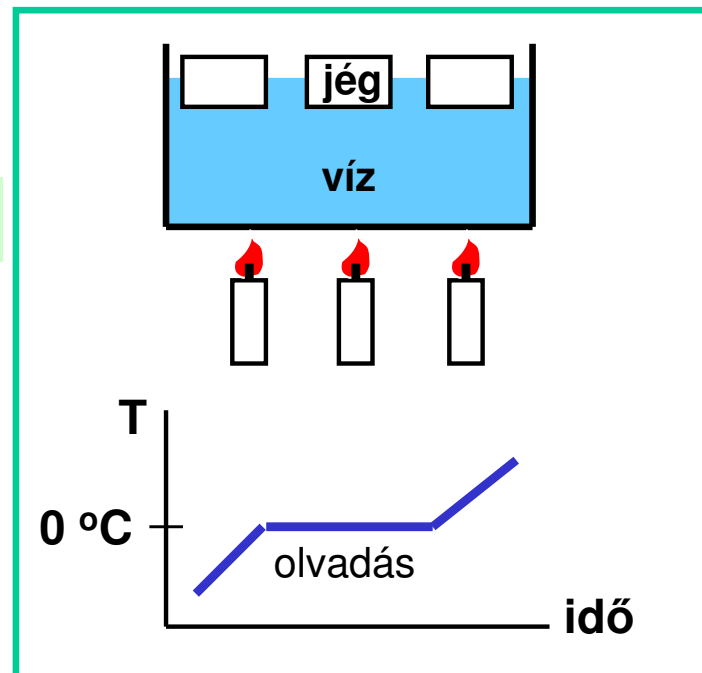


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

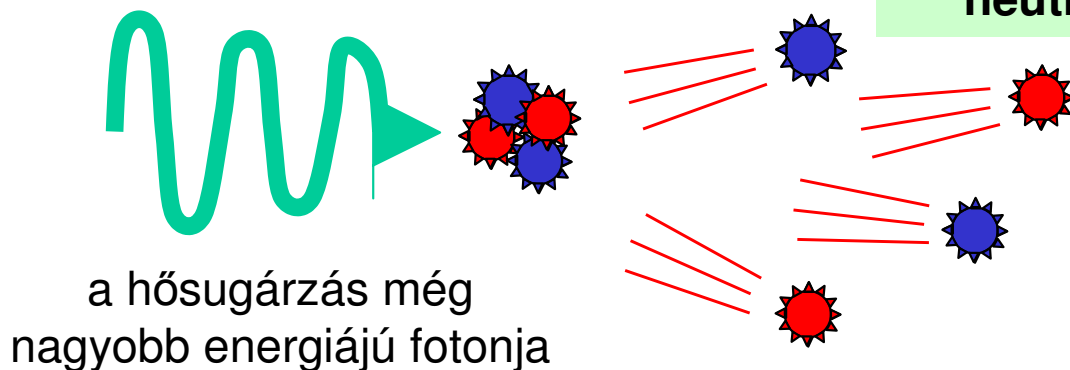
a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



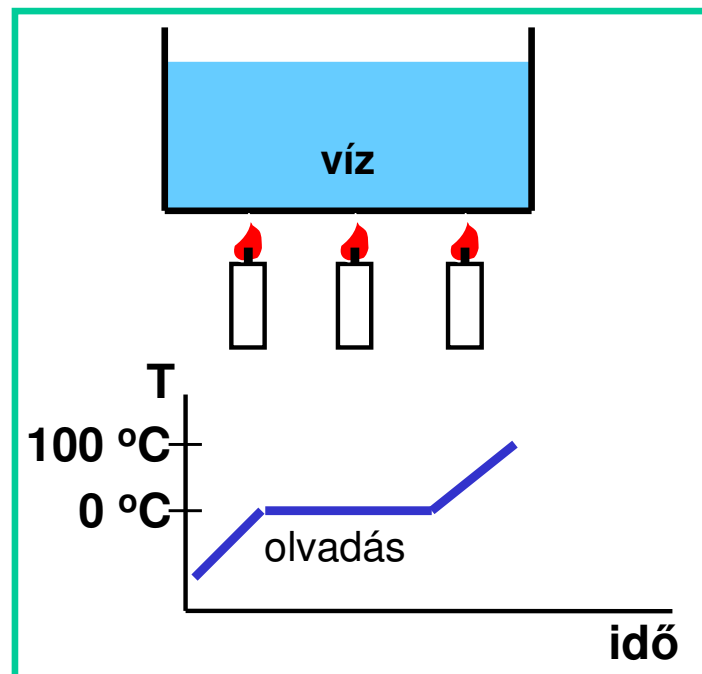
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét

az alfa-
részecskék
szétesnek
protonokra és
neutronokra



a hőszugárzás még
nagyobb energiájú fotonja

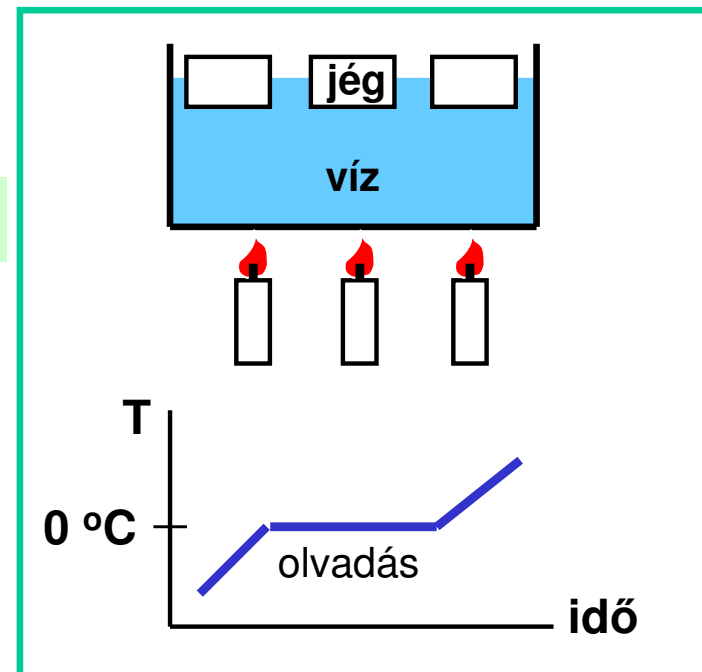


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

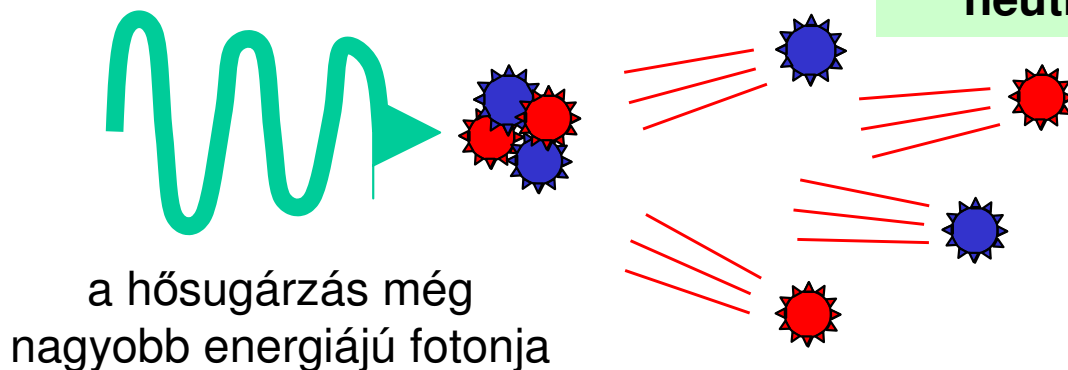
a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



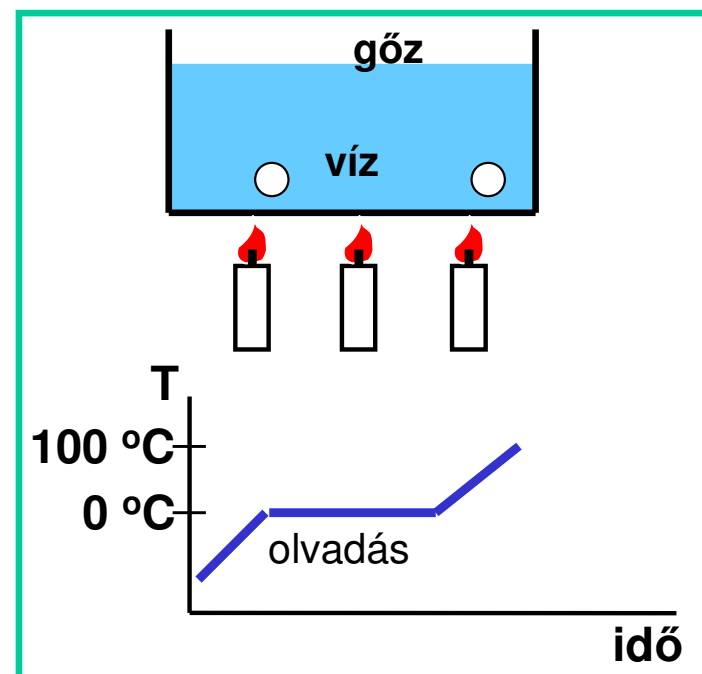
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét

az alfa-
részecskék
szétesnek
protonokra és
neutronokra



a hőszugárzás még
nagyobb energiájú fotonja

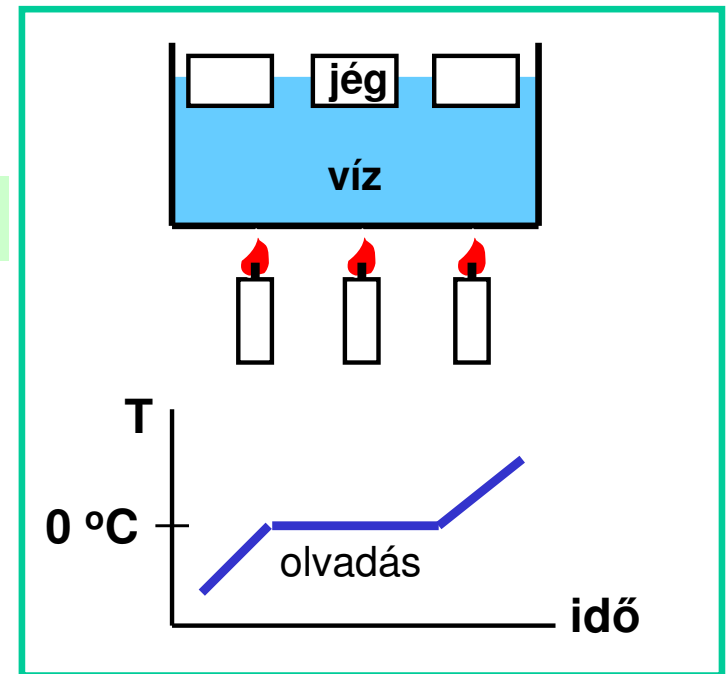


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

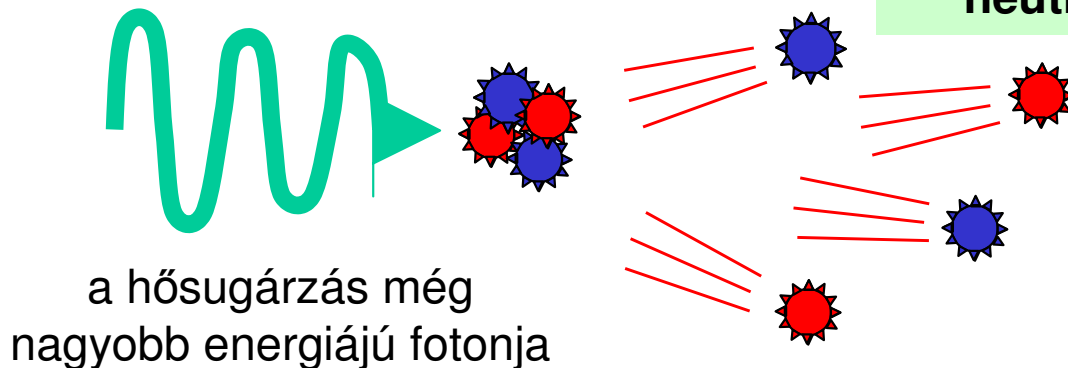
a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



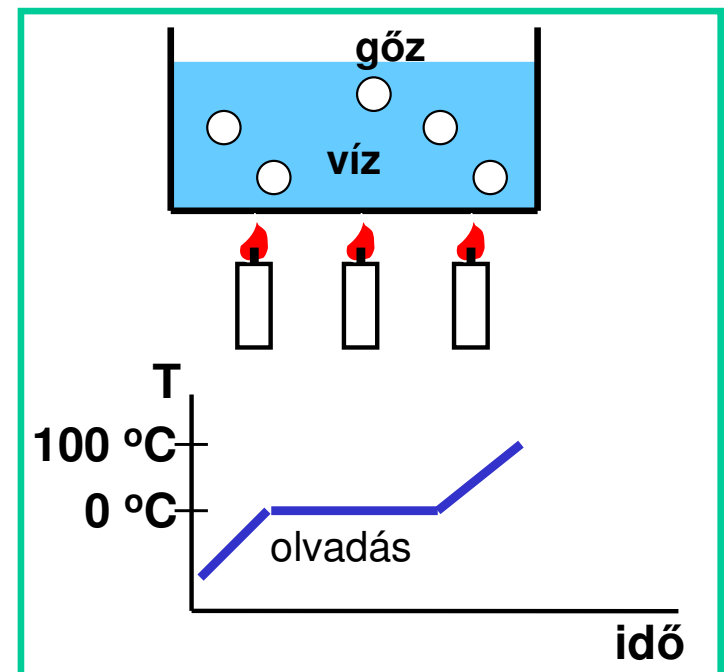
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét

az alfa-
részecskék
szétesnek
protonokra és
neutronokra



a hőszugárzás még
nagyobb energiájú fotonja

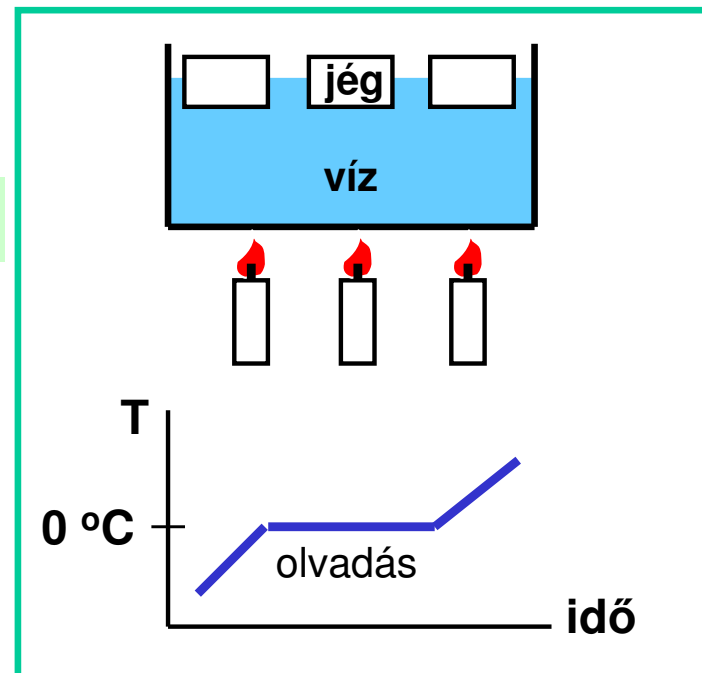


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már lényegében alfa-részecskékből áll

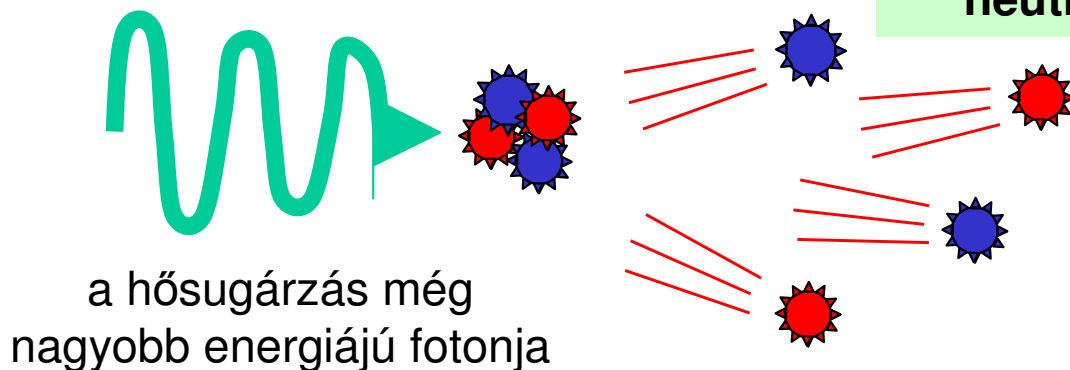
a beomlás gravitációs energiája most már hőenergiává alakulhat, és **növelheti a csillagmag hőmérsékletét**



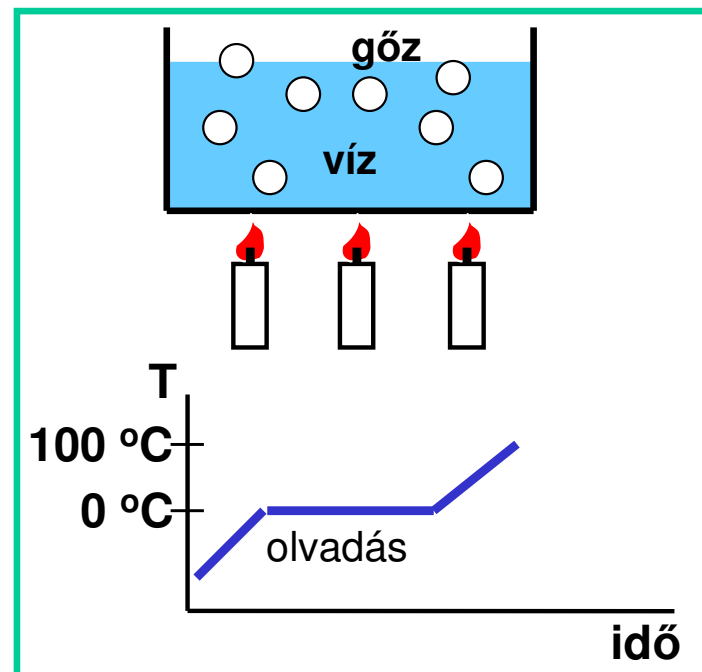
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy **újabb disszociációs folyamat** küszöbértékét

az alfa-részecskék szétesnek protonokra és neutronokra



a hőszugárzás még nagyobb energiájú fotonja

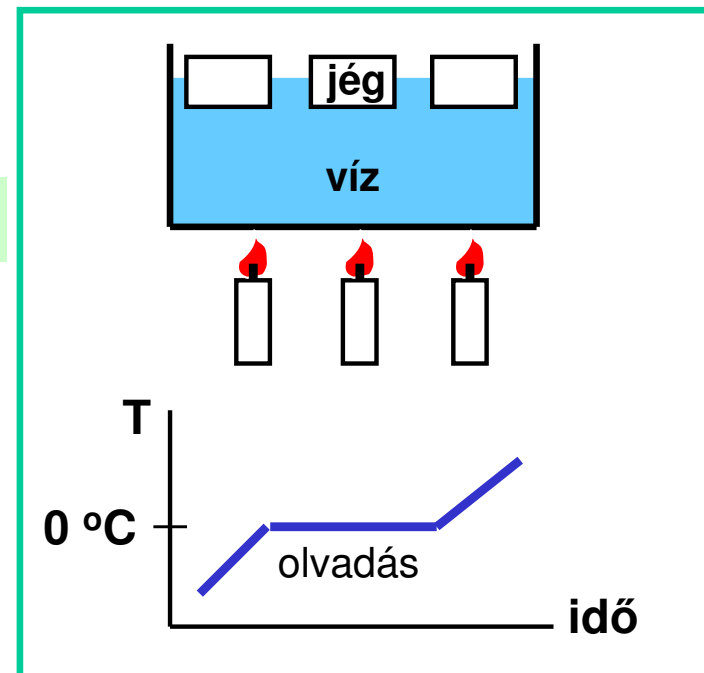


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már lényegében alfa-részecskékből áll

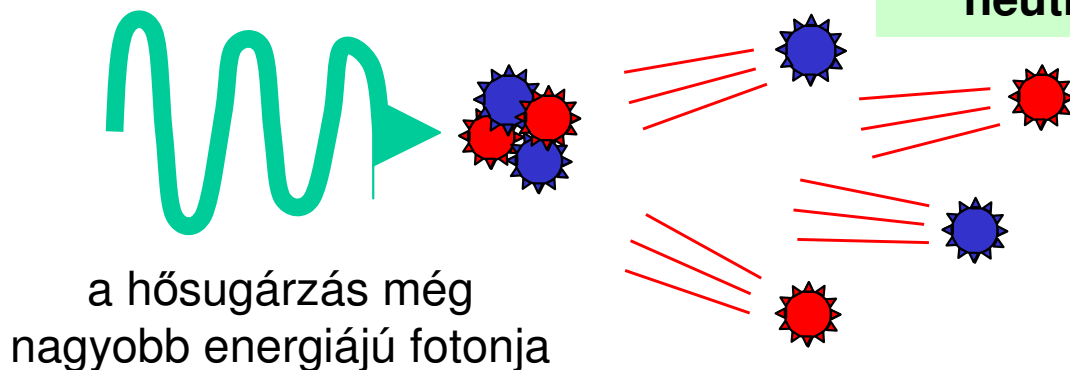
a beomlás gravitációs energiája most már hőenergiává alakulhat, és **növelheti a csillagmag hőmérsékletét**



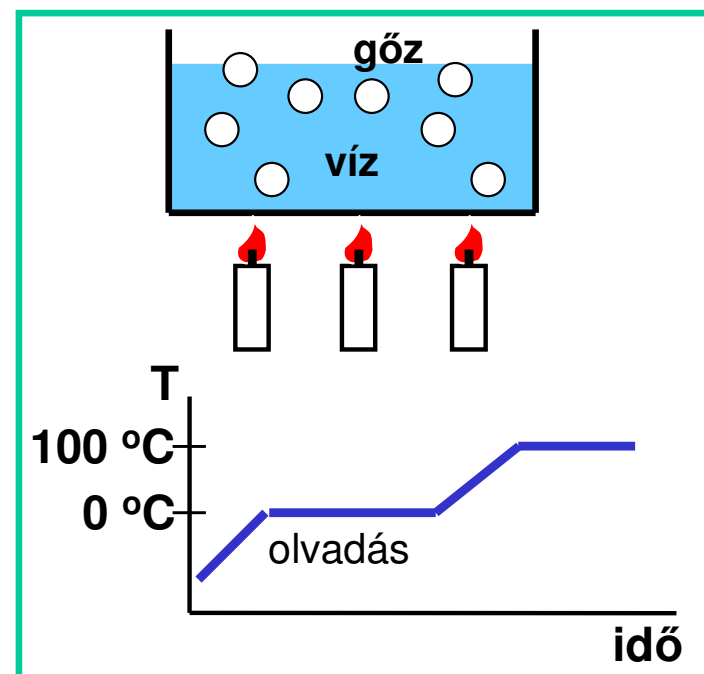
Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy **újabb disszociációs folyamat** küszöbértékét

az alfa-részecskék szétesnek protonokra és neutronokra



a hőszugárzás még nagyobb energiájú fotonja

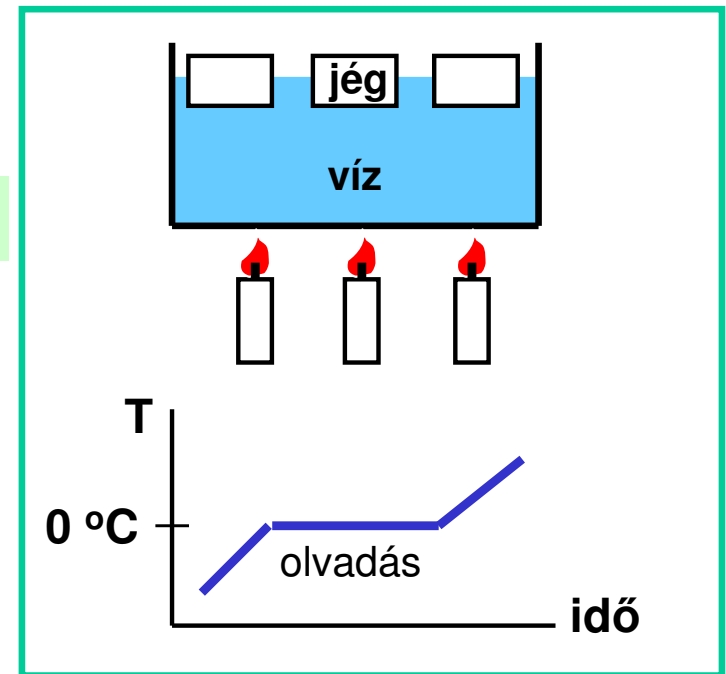


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

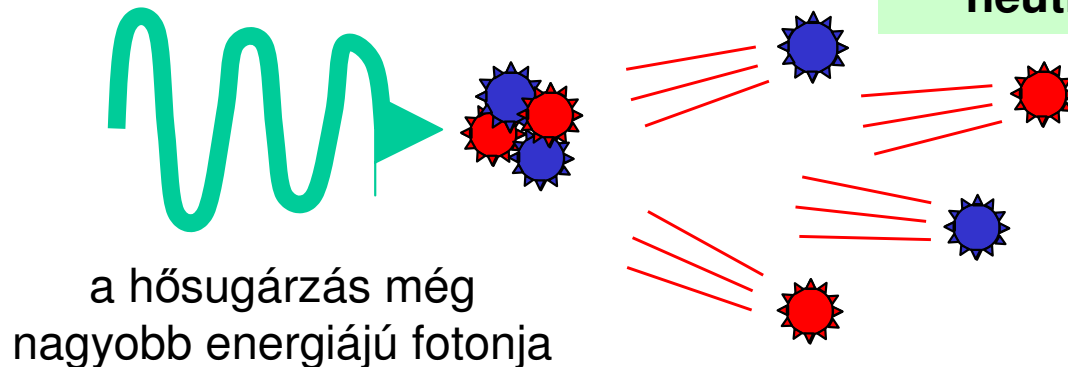
a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

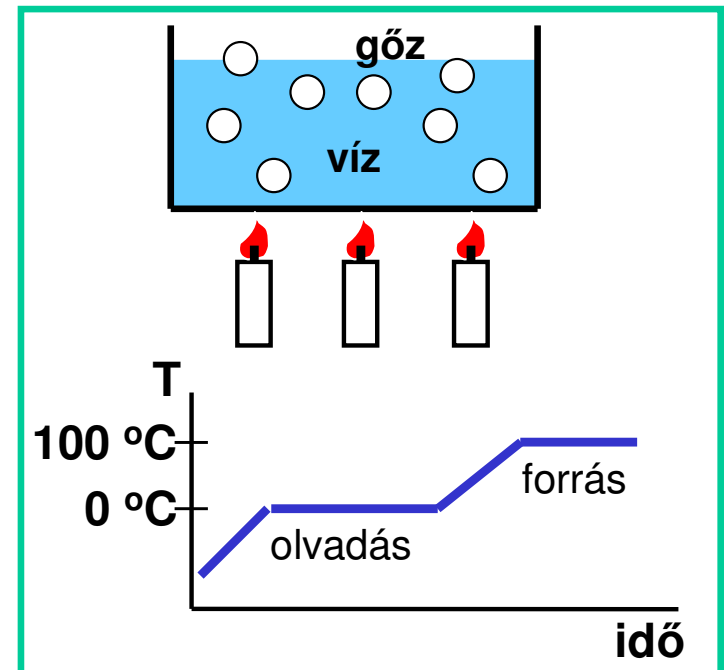


Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét



az alfa-
részecskék
szétesnek
protonokra és
neutronokra

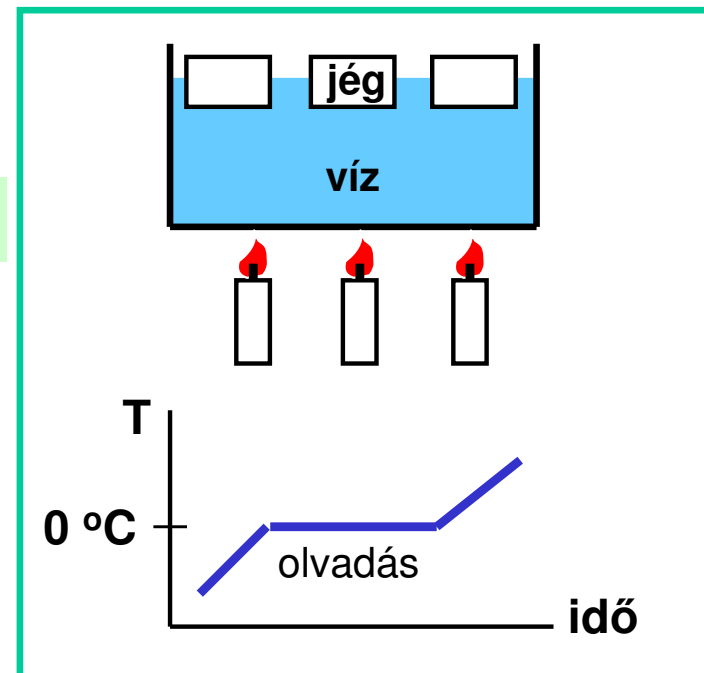


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden vas atommag elfogy, „elolvad”

a csillag magja már
lényegében
alfa-részecskékből
áll

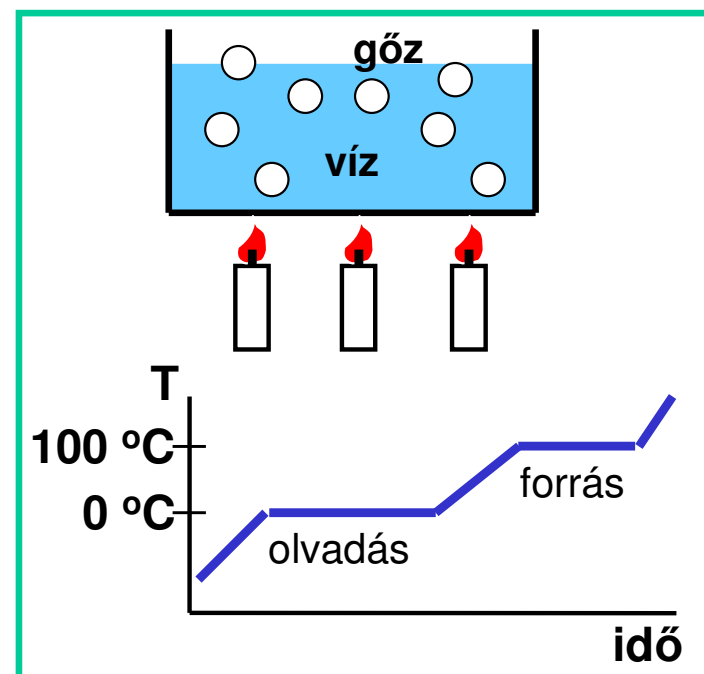
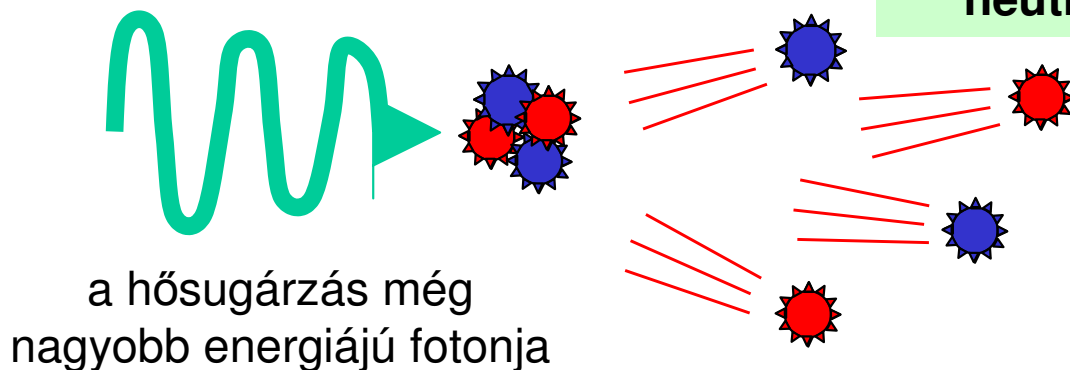
a beomlás gravitációs energiája
most már hőenergiává
alakulhat, és **növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



Meddig tart ez a folyamat?

amíg a hőmérsékletét el nem éri egy
újabb disszociációs folyamat
küszöbértékét

az alfa-
részecskék
szétesnek
protonokra és
neutronokra



újabb „olvadás”-jellegű folyamat



újabb „olvadás”-jellegű folyamat

az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra



újabb „olvadás”-jellegű folyamat

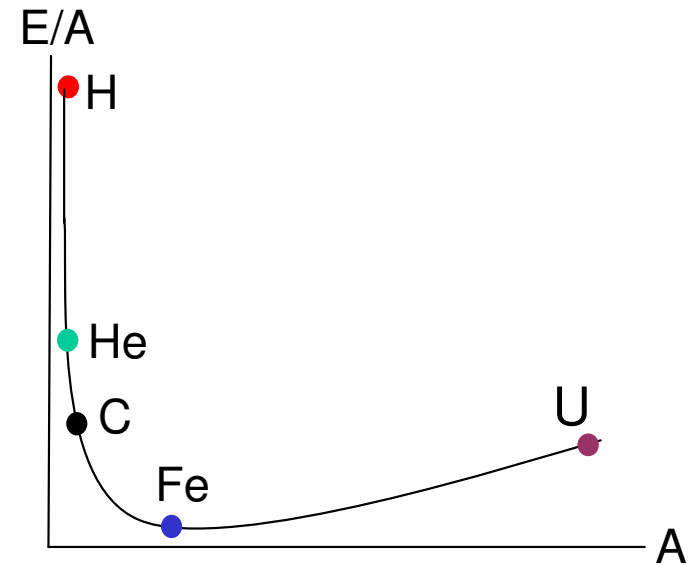
az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra

Ez a folyamat még több energiát nyel el

újabb „olvadás”-jellegű folyamat

az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra

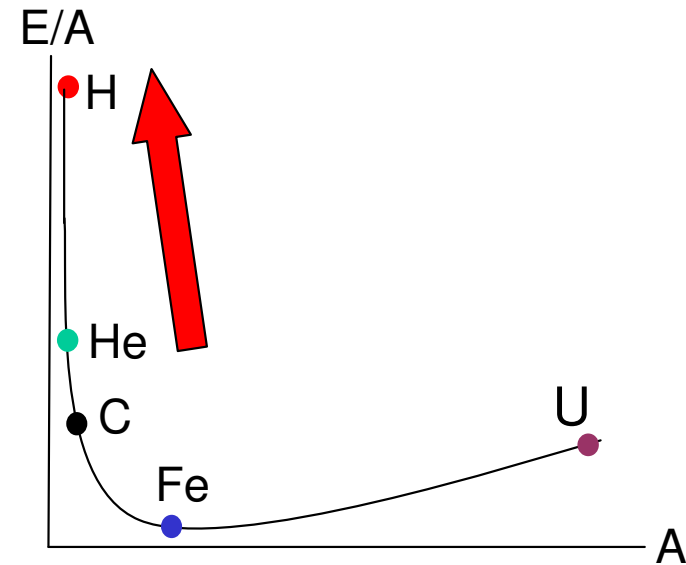
Ez a folyamat még több energiát nyel el



újabb „olvadás”-jellegű folyamat

az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra

Ez a folyamat még több energiát nyel el

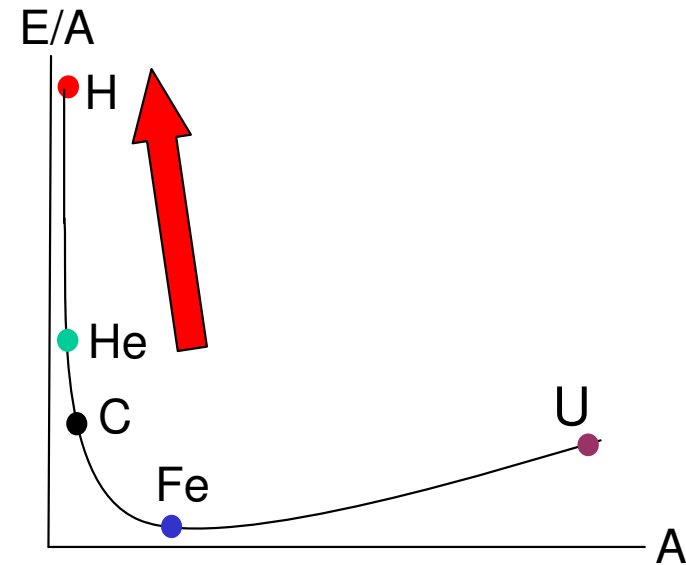


újabb „olvadás”-jellegű folyamat

az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra

Ez a folyamat még több energiát nyel el

Beindult a harmadik
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!



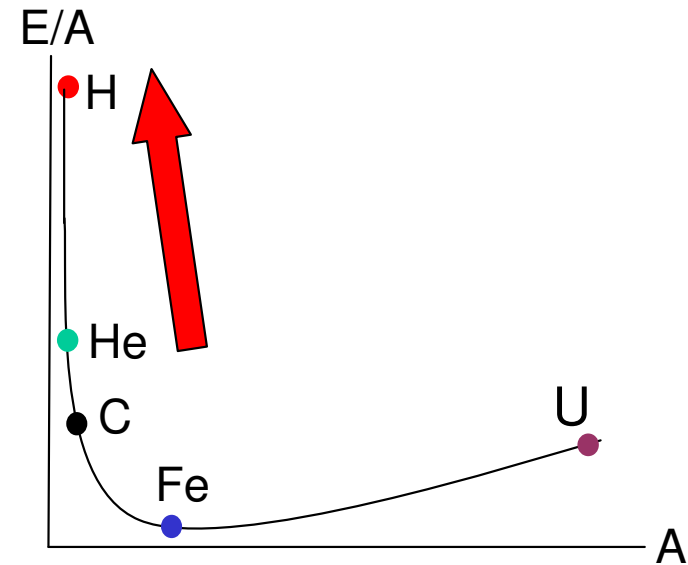
újabb „olvadás”-jellegű folyamat

az alfa-részecskék szétesnek protonokra és neutronokra

Ez a folyamat még több energiát nyel el

a beomló anyag gravitációs energiája ismét nem az anyag melegítésére, hanem az alfa-részecskék szétverésére fordítódik

Beindult a harmadik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!



újabb „olvadás”-jellegű folyamat

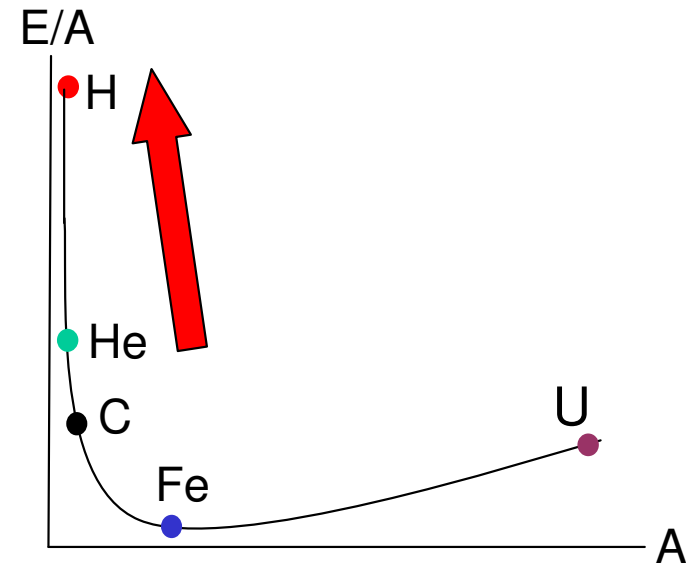
az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra

Ez a folyamat még több energiát nyel el

a beomló anyag gravitációs energiája
ismét nem az anyag melegítésére, hanem
az alfa-részecskék szétverésére fordítódik

a hőmérséklet ismét állandó marad, a
nyomás nem nő, a csillag magja nem tud
ellenállni a beomló anyag súlyának

**Beindult a harmadik
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



újabb „olvadás”-jellegű folyamat

az alfa-részecskék szétesnek
protonokra és neutronokra

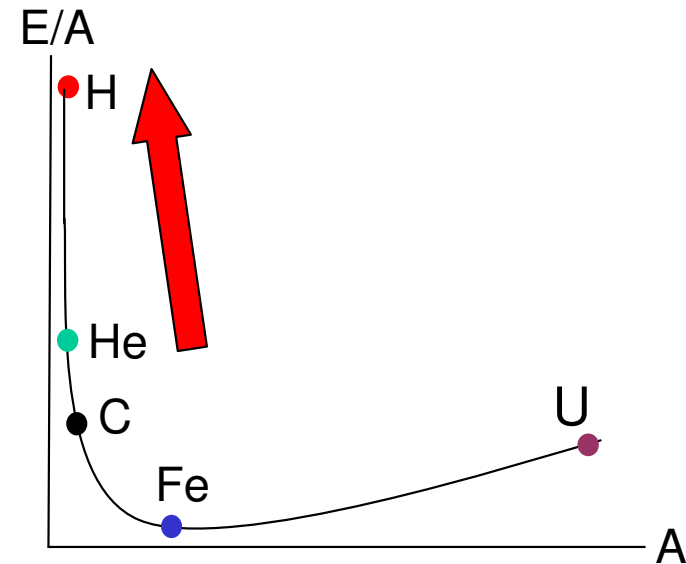
Ez a folyamat még több energiát nyel el

a beomló anyag gravitációs energiája
ismét nem az anyag melegítésére, hanem
az alfa-részecskék szétverésére fordítódik

a hőmérséklet ismét állandó marad, a
nyomás nem nő, a csillag magja nem tud
ellenállni a beomló anyag súlyának

a burok anyagának beomlása akadálytalanul folytatódik

**Beindult a harmadik
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**



újabb „olvadás”-jellegű folyamat

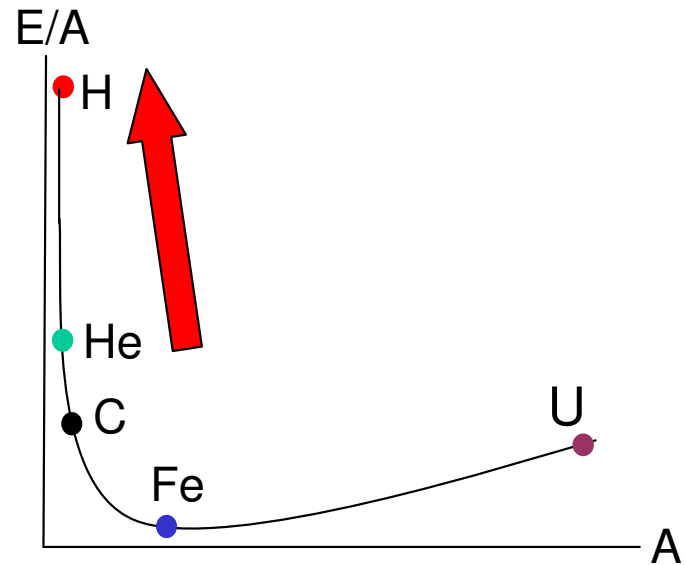
az alfa-részecskék szétesnek protonokra és neutronokra

Beindult a harmadik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!

Ez a folyamat még több energiát nyel el

a beomló anyag gravitációs energiája ismét nem az anyag melegítésére, hanem az alfa-részecskék szétverésére fordítódik

a hőmérséklet ismét állandó marad, a nyomás nem nő, a csillag magja nem tud ellenállni a beomló anyag súlyának



a burok anyagának beomlása akadálytalanul folytatódik



a csillag még ifjúkorának évmilliói alatt gyártotta le hidrogénből a hélium atommagokat – ezek most pillanatok alatt szétesnek

újabb „olvadás”-jellegű folyamat

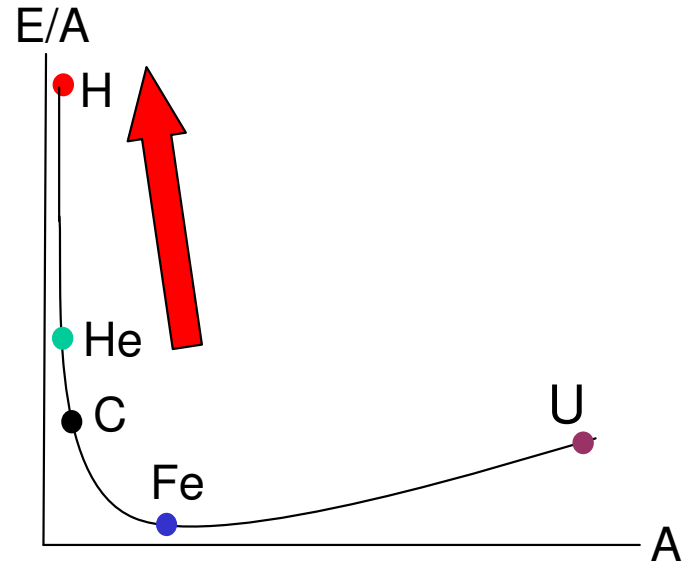
az alfa-részecskék szétesnek protonokra és neutronokra

Beindult a harmadik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!

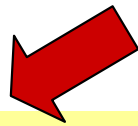
Ez a folyamat még több energiát nyel el

a beomló anyag gravitációs energiája ismét nem az anyag melegítésére, hanem az alfa-részecskék szétverésére fordítódik

a hőmérséklet ismét állandó marad, a nyomás nem nő, a csillag magja nem tud ellenállni a beomló anyag súlyának



a burok anyagának beomlása akadálytalanul folytatódik



a csillag még ifjúkorának évmilliói alatt gyártotta le hidrogénből a hélium atommagokat – ezek most pillanatok alatt szétesnek



a burok anyagának további jelentős része omlik be a magba, közben maga is felhevül, új magreakciók indulnak be benne

Meddig tart ez a folyamat?



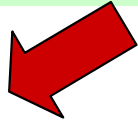
Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”



Meddig tart ez a folyamat?

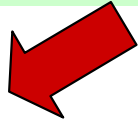
amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”



a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”



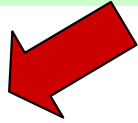
a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz



a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,

Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”



a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz



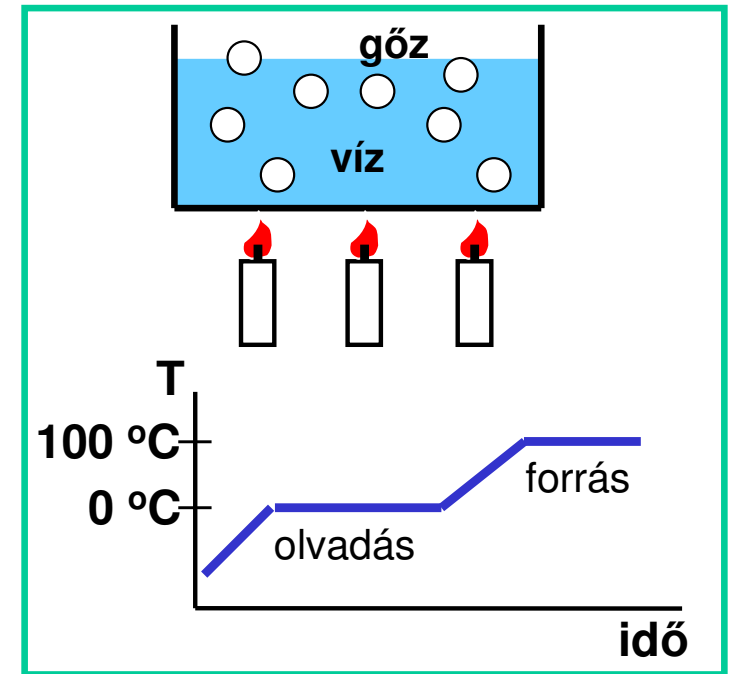
a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a**
csillagmag hőmérsékletét

Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

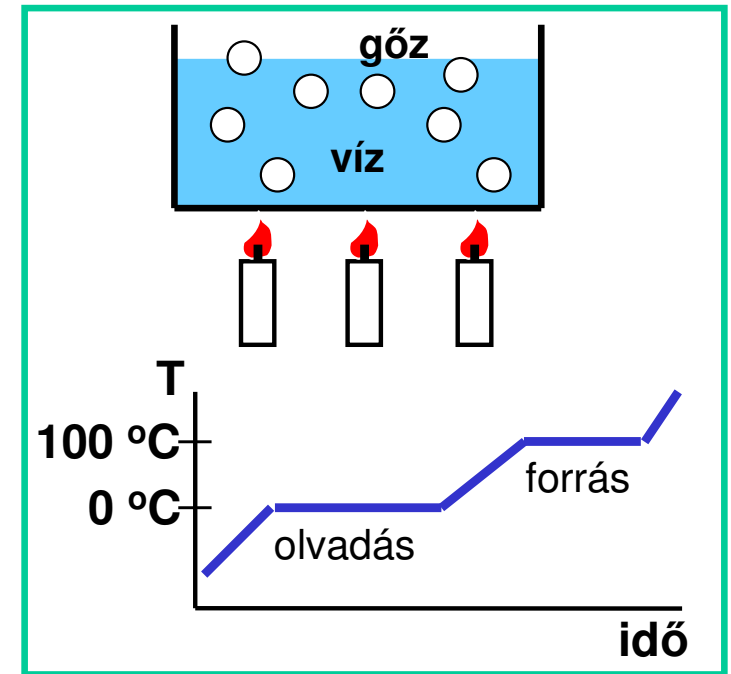


Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



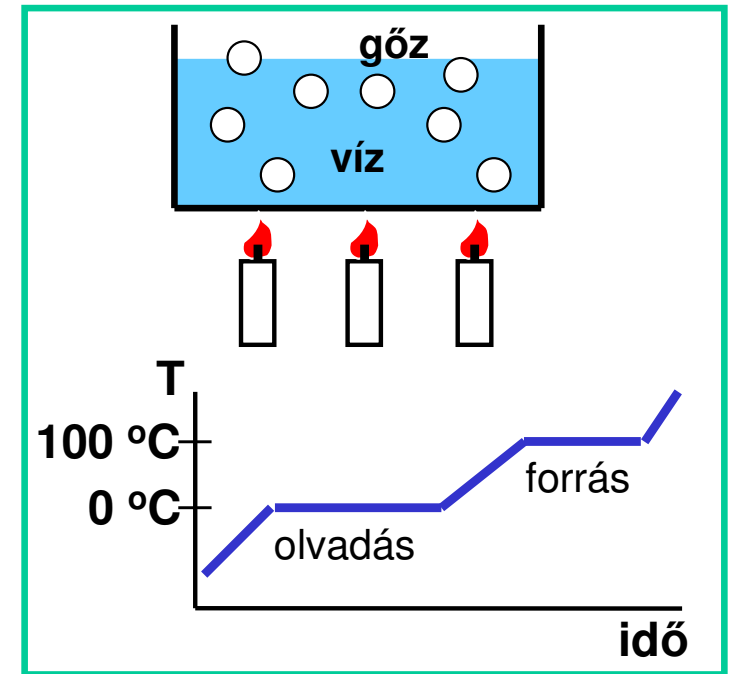
Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban



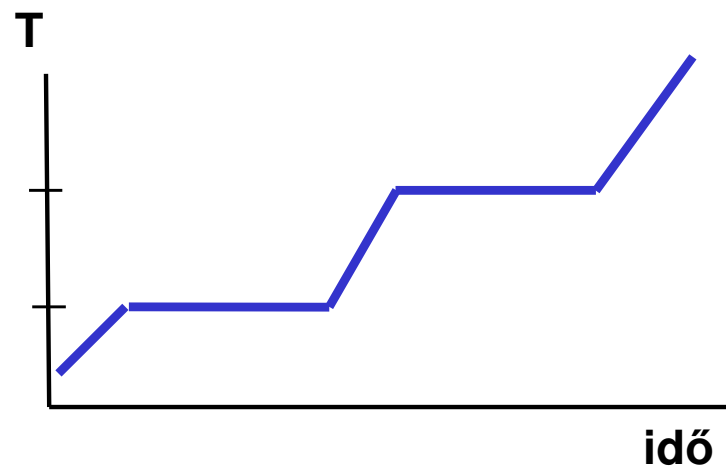
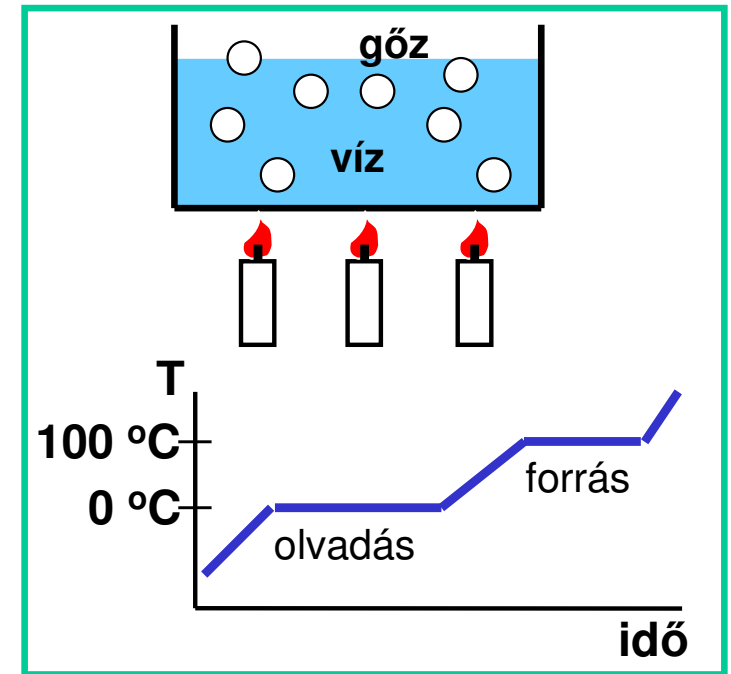
Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban



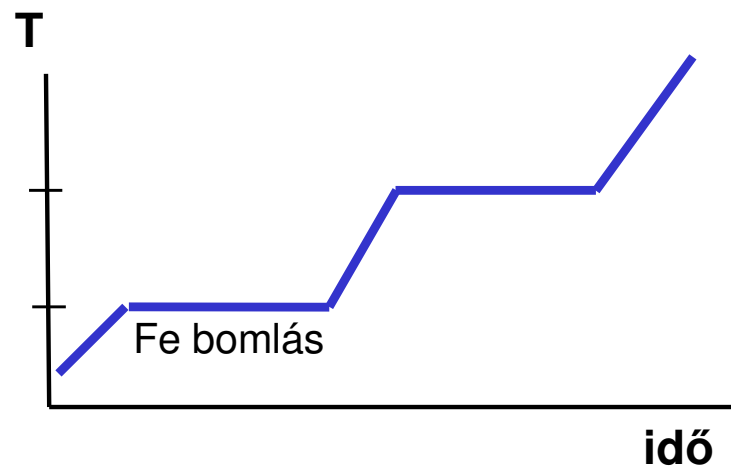
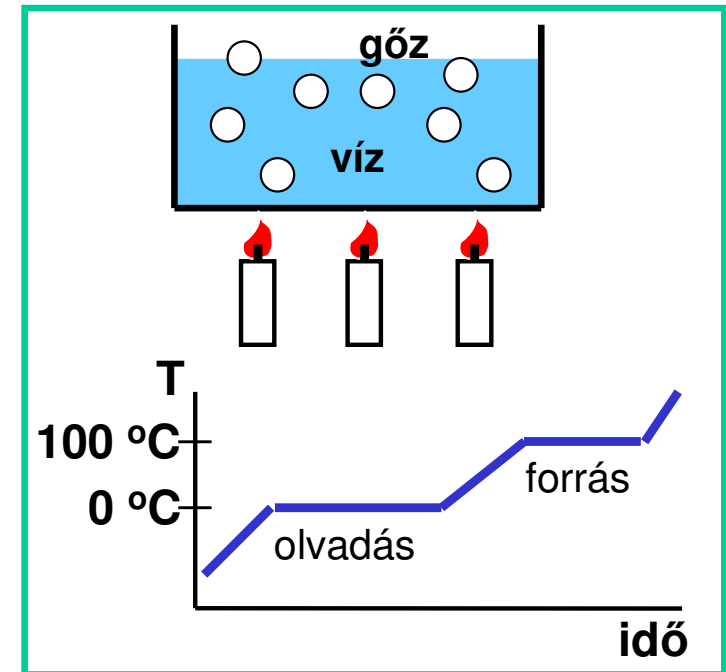
Meddig tart ez a folyamat?

amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**

valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban

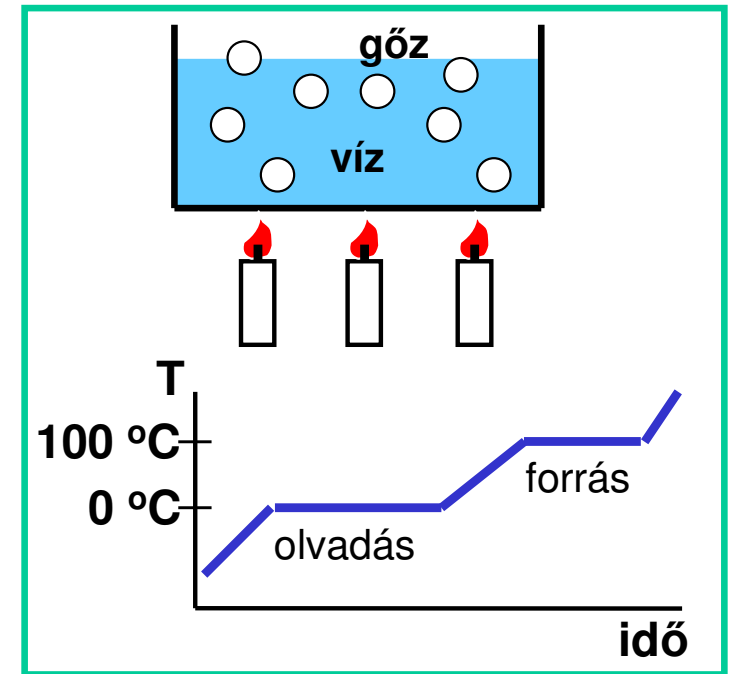


Meddig tart ez a folyamat?

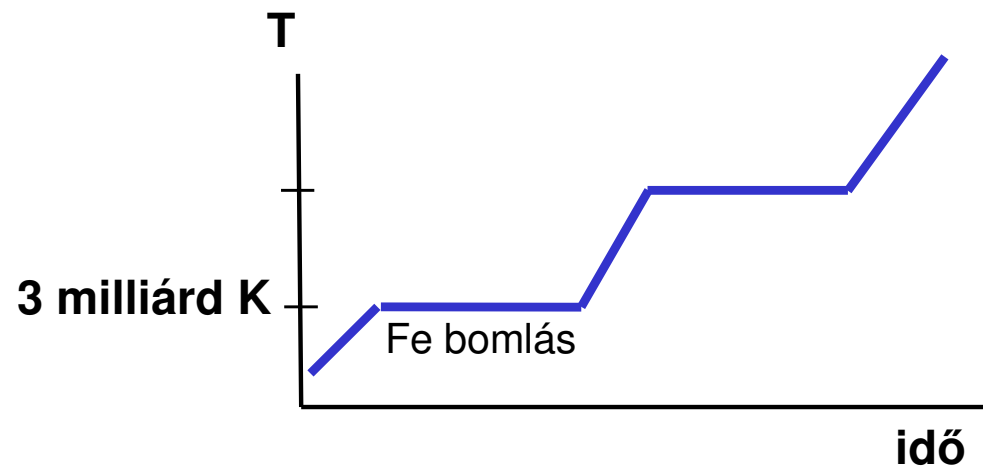
amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban

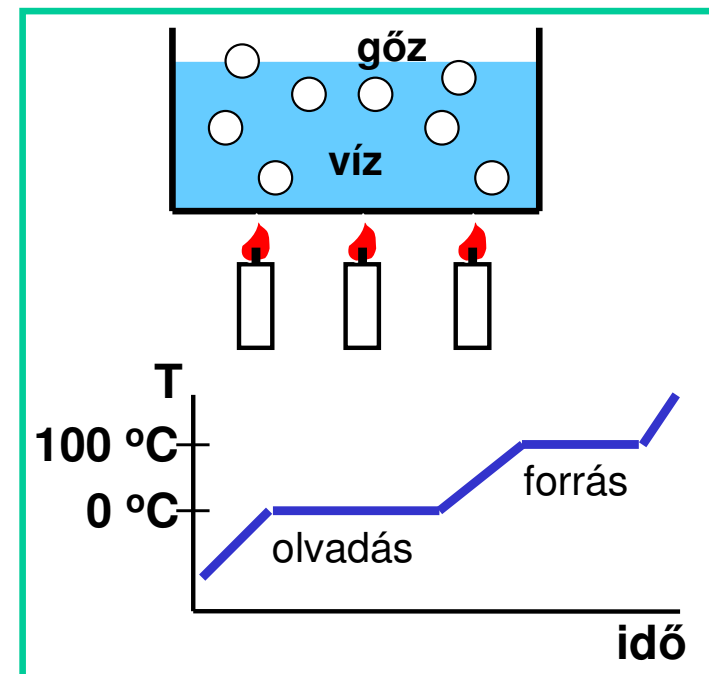


Meddig tart ez a folyamat?

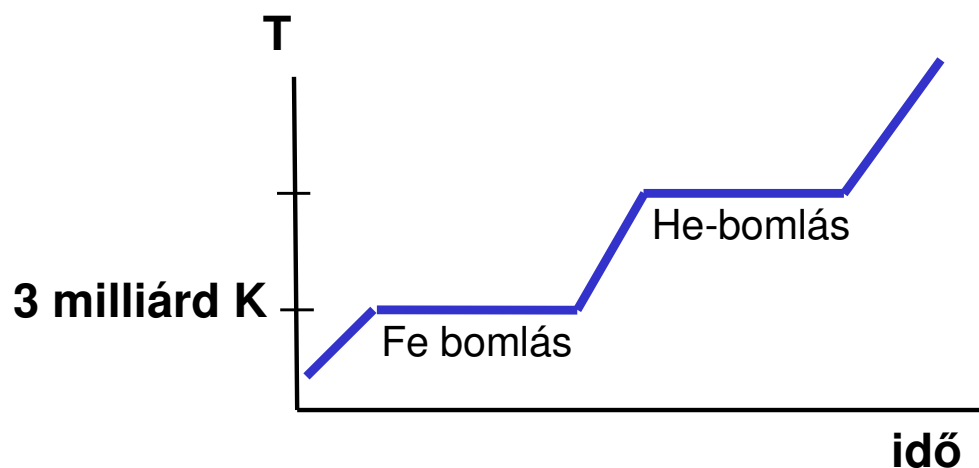
amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban

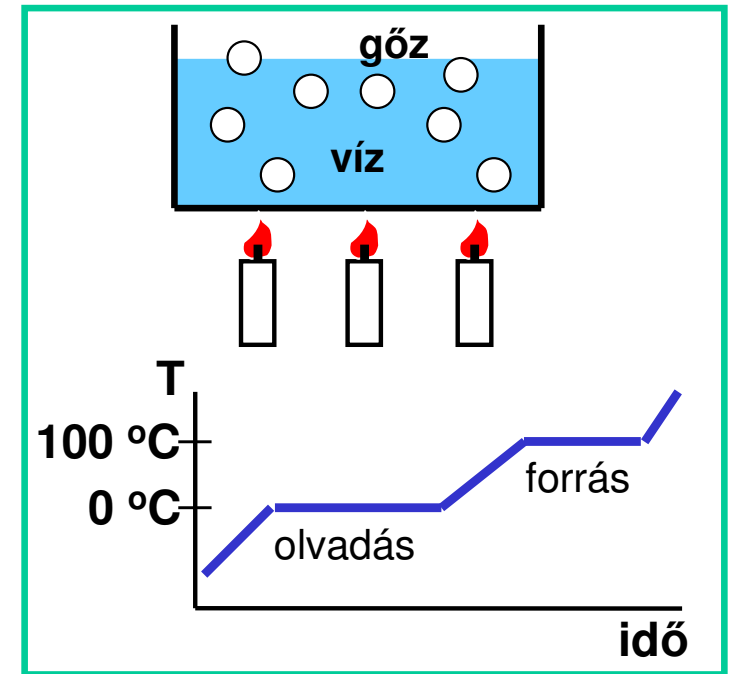


Meddig tart ez a folyamat?

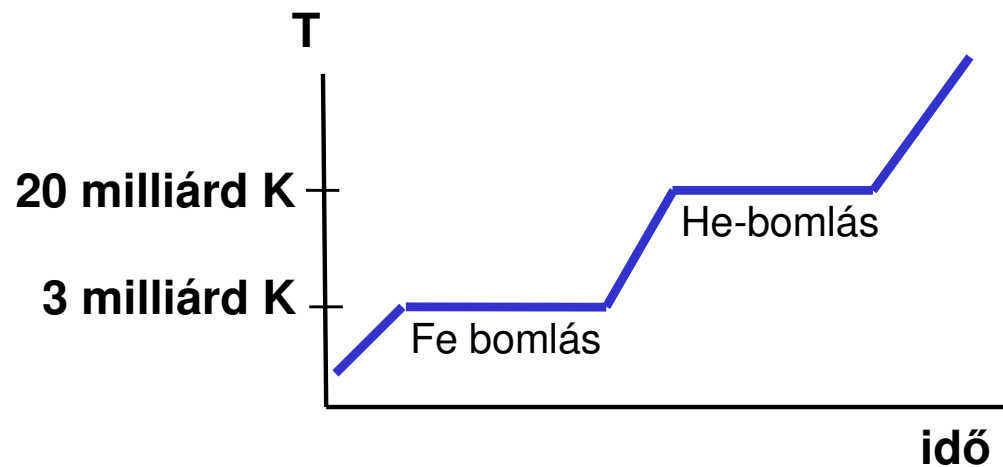
amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban

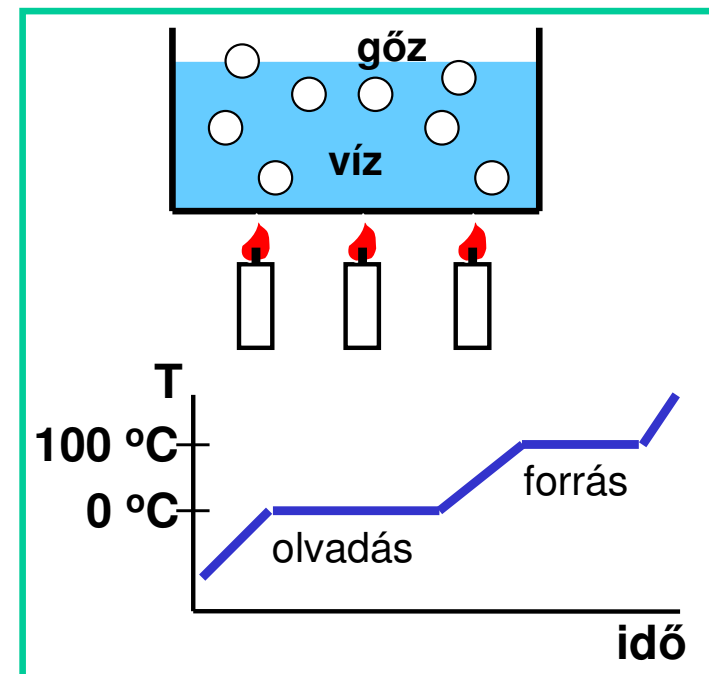


Meddig tart ez a folyamat?

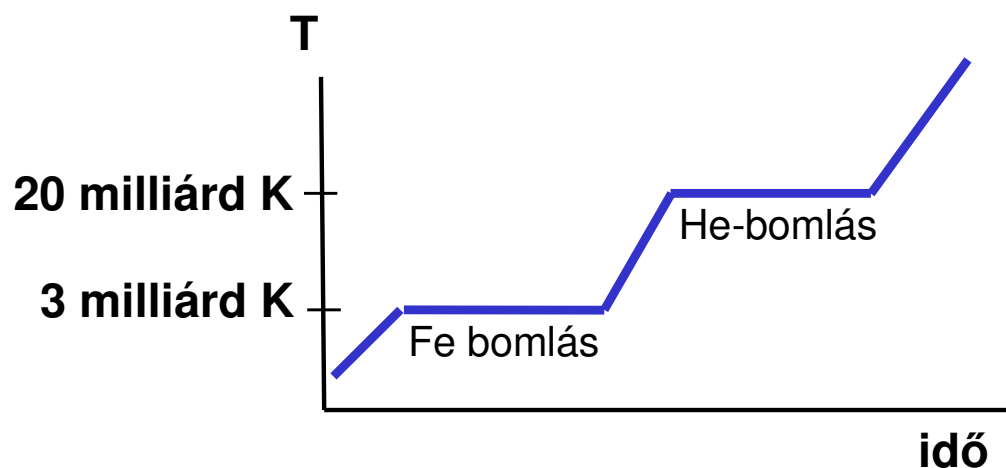
amíg minden hélium atommag elfogy,
„elpárolog”

a csillag magja már
lényegében
magányos protonok,
neutronok és elektronok
sűrű, forró plazmája
lesz

a beomlás gravitációs
energiája
ismét hőenergiává alakulhat,
és **tovább növelheti a
csillagmag hőmérsékletét**



valóságos
hőmérséklet-
adatok a
csillagokban



az eddig
bekapcsolt három
hűtőgép nem tudta
hatékonyan hűteni
a csillag anyagát,
sőt éppen
ellenkezőleg...

az eddig bekapcsolt
három hűtőgép nem
tudta elég
hatékonyan hűteni a
csillag anyagát, sőt
éppen ellenkezőleg...



az eddig bekapcsolt
három hűtőgép nem
tudta elég
hatékonyan hűteni a
csillag anyagát, sőt
éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által
elvont energia ott
maradt
a csillagban,
magenergia
formájában



az eddig bekapcsolt
három hűtőgép nem
tudta elég
hatékonyan hűteni a
csillag anyagát, sőt
éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által
elvont energia ott
maradt
a csillagban,
magenergia
formájában

az energia nem
tudott kijutni a
csillagból, mert a
csillag anyaga nem
átlátszó az
(elektromágneses)
hősugárzás
számára



az eddig bekapcsolt
három hűtőgép nem
tudta elég
hatékonyan hűteni a
csillag anyagát, sőt
éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által
elvont energia ott
maradt
a csillagban,
magenergia
formájában

az energia nem
tudott kijutni a
csillagból, mert a
csillag anyaga nem
átlátszó az
(elektromágneses)
hősugárzás
számára

**most lép színre a leghatékonyabb
hűtőgép, valóságos hőszivattyú:**

az eddig bekapcsolt
három hűtőgép nem
tudta elég
hatékonyan hűteni a
csillag anyagát, sőt
éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által
elvont energia ott
maradt
a csillagban,
magenergia
formájában

az energia nem
tudott kijutni a
csillagból, mert a
csillag anyaga nem
átlátszó az
(elektromágneses)
hősugárzás
számára

**most lép színre a leghatékonyabb
hűtőgép, valóságos hőszivattyú:**

a neutrínó

az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián)

az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős

az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

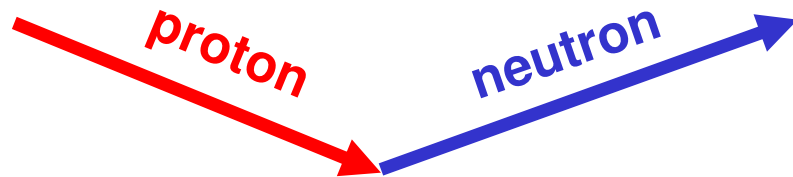
a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

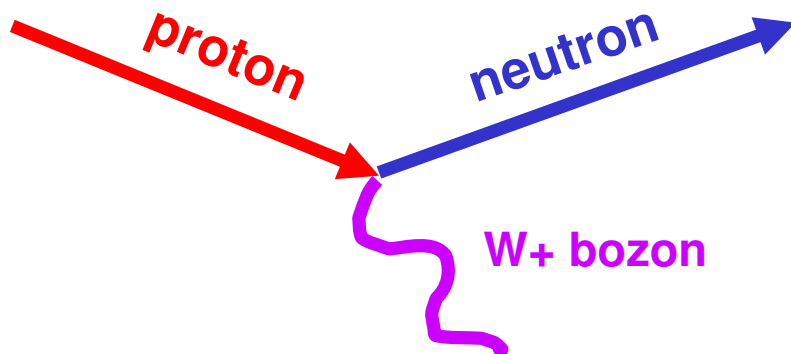
a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

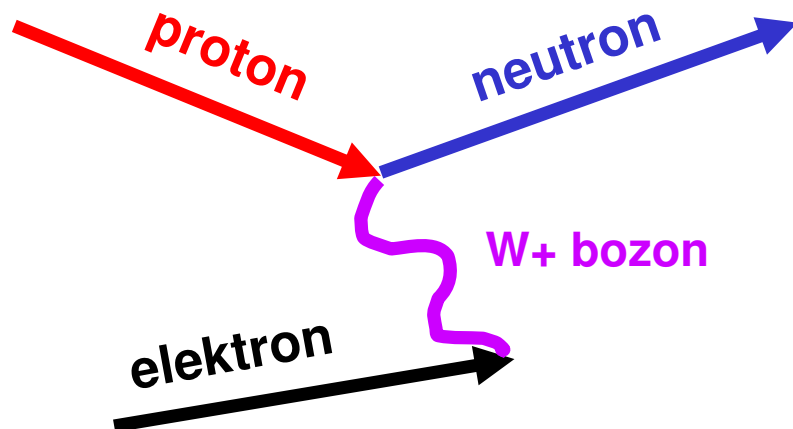
a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

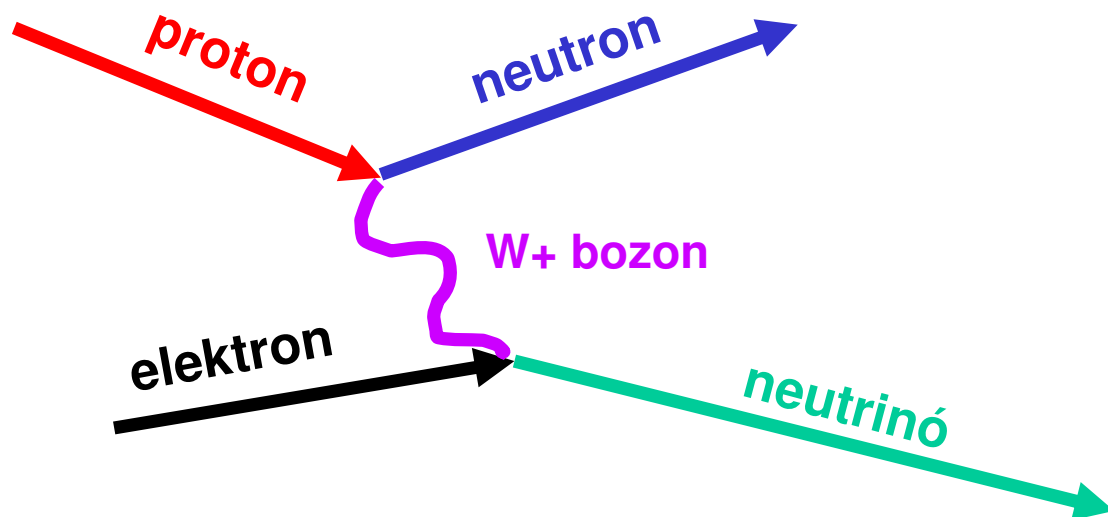
a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

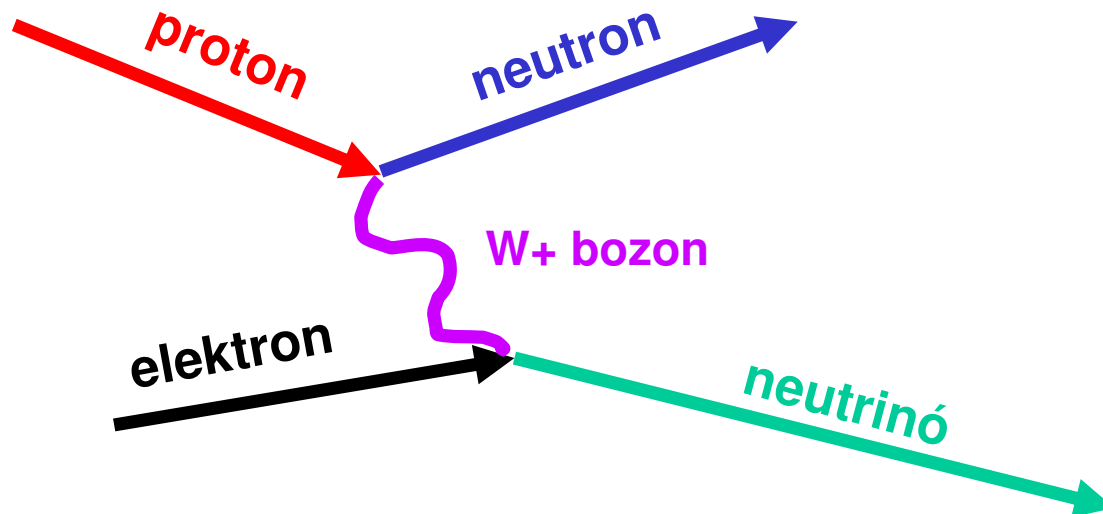
az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

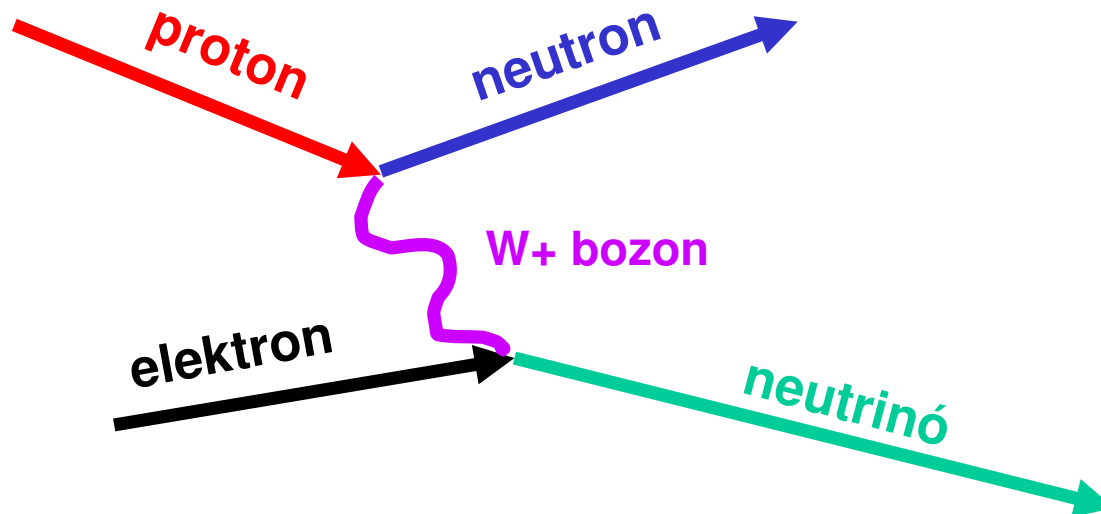
Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

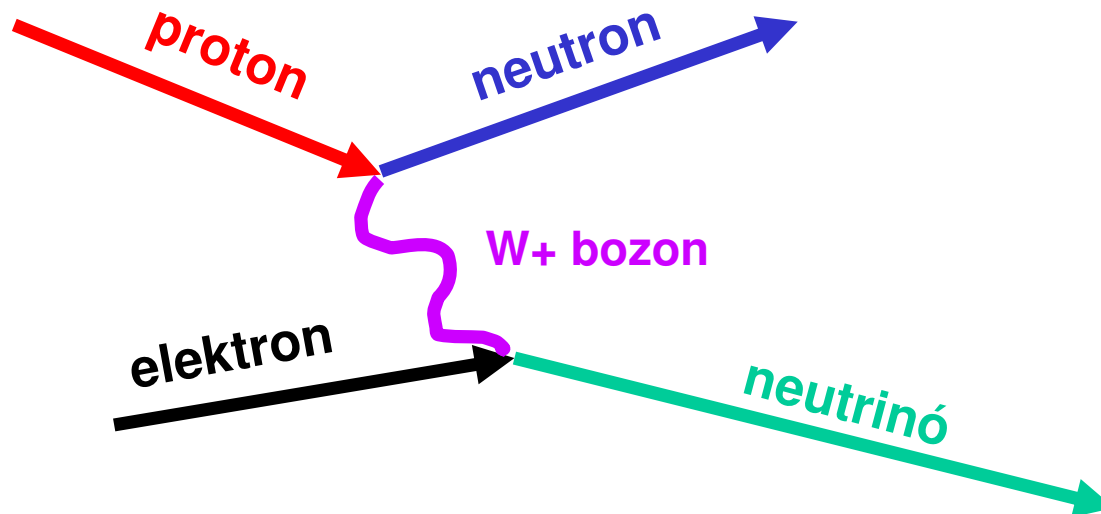
$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

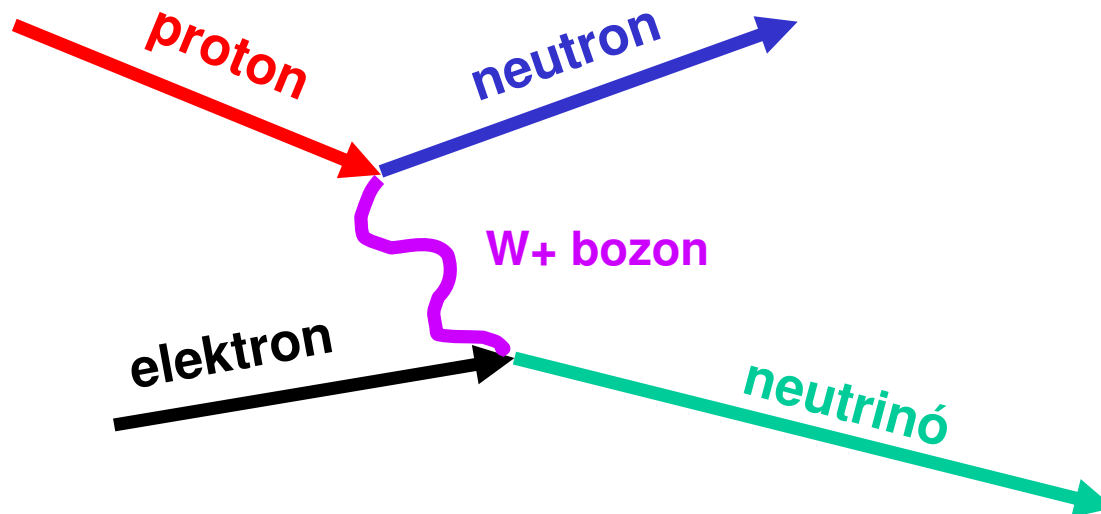
Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

$$m_e \ll m_p = m_n$$

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

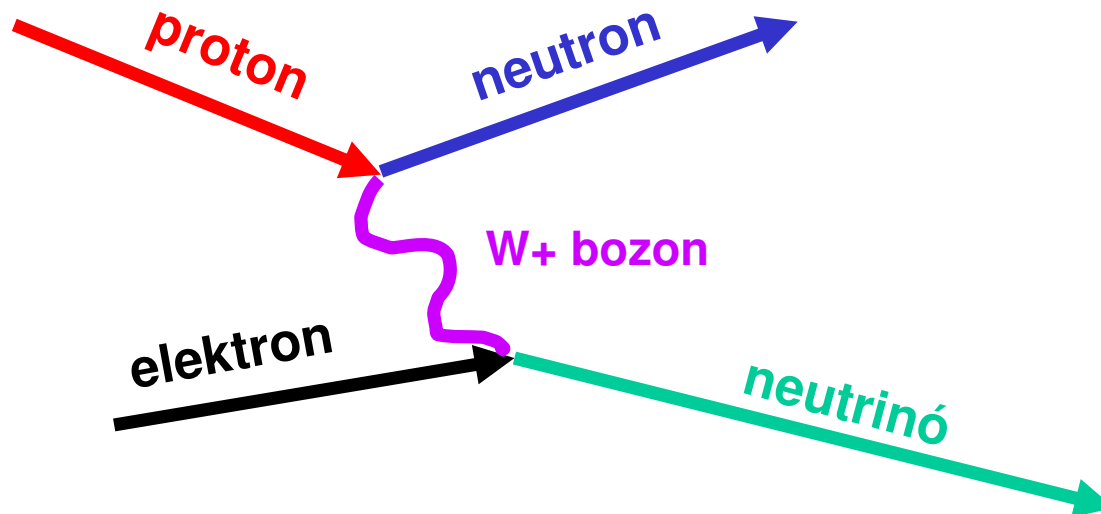
$$m_e \ll m_p = m_n$$

az elektronnak sok hely kell(ene)!

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

$$m_e \ll m_p = m_n$$

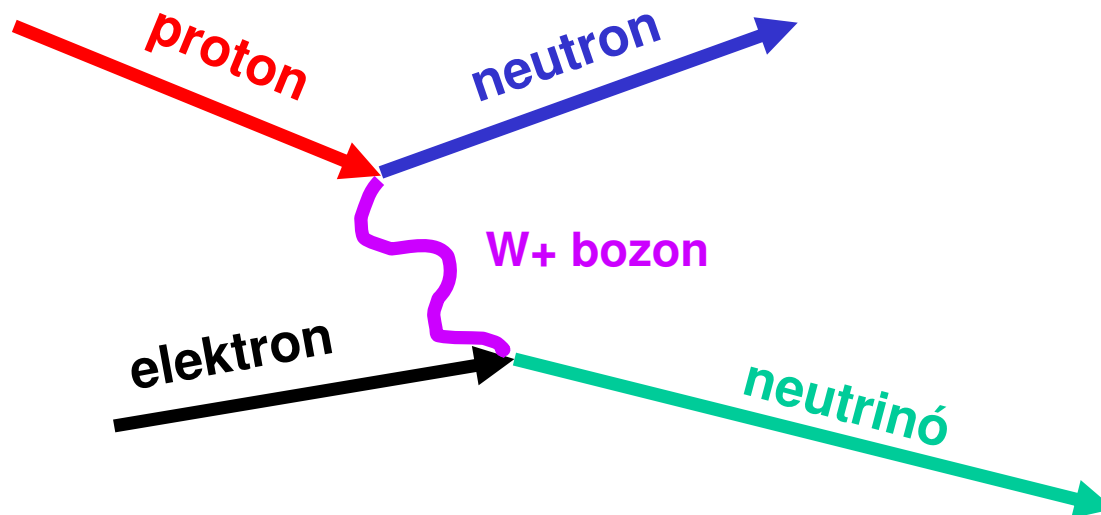
az elektronnak sok hely kell(ene)!

de az nincs...

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

$$m_e \ll m_p = m_n$$

az elektronnak sok hely kell(ene)!

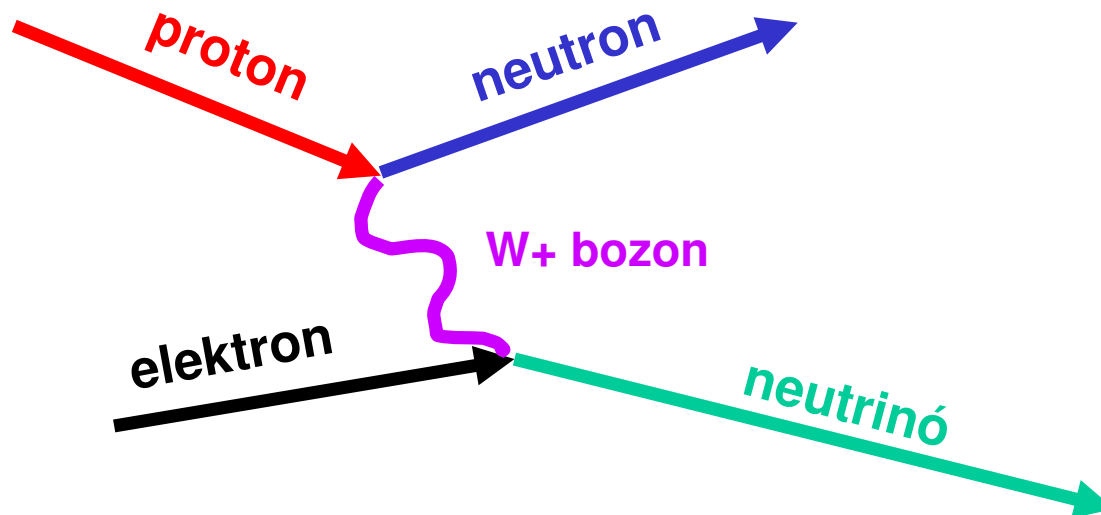
de az nincs...

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős

az óriási nyomás „bepréseli” az elektronokat a protonokba



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

$$m_e \ll m_p = m_n$$

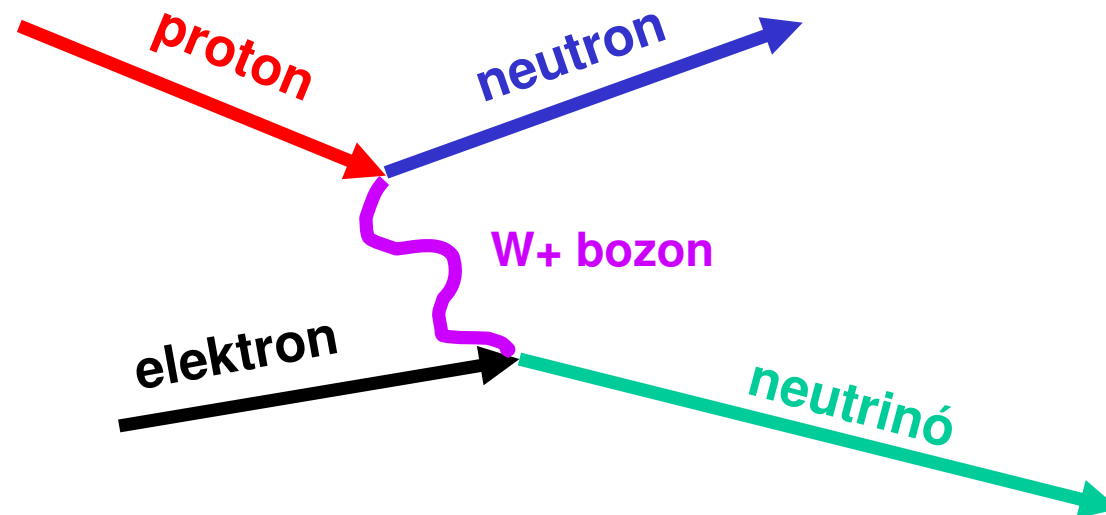
az elektronnak sok hely kell(ene)!

de az nincs...

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az óriási nyomás „bepréseli” az elektronokat a protonokba

kis Compton-hullámhosszú neutronok keletkeznek



az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

$$m_e \ll m_p = m_n$$

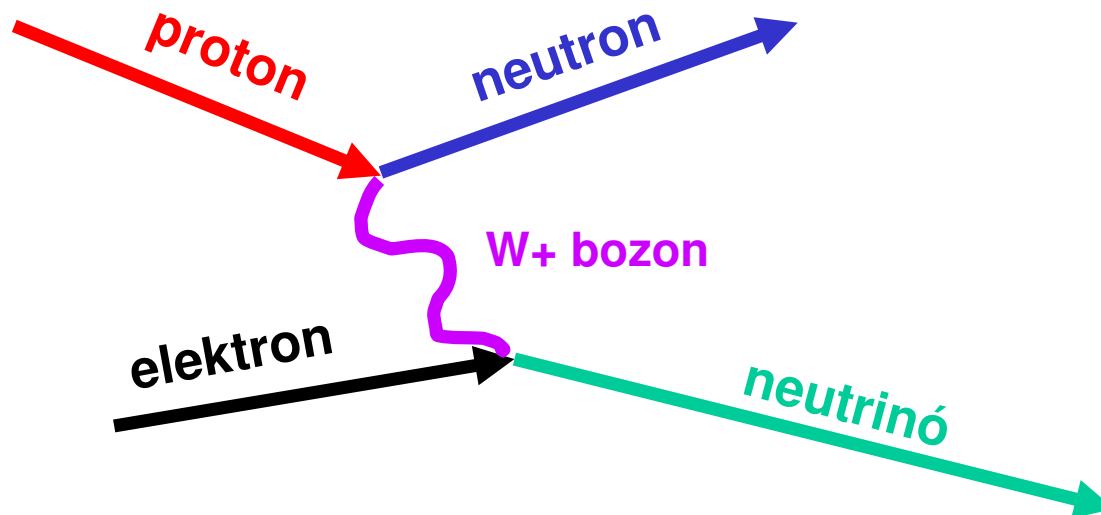
az elektronnak sok hely kell(ene)!

de az nincs...

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az óriási nyomás „bepréseli” az elektronokat a protonokba

kis Compton-hullámhosszú neutronok keletkeznek

az anyag tovább sűrűsödhet!

az eddig bekapcsolt három hűtőgép nem tudta elég hatékonyan hűteni a csillag anyagát, sőt éppen ellenkezőleg...

a hűtőgépek által elvont energia ott maradt a csillagban, magenergia formájában

az energia nem tudott kijutni a csillagból, mert a csillag anyaga nem átlátszó az (elektromágneses) hőszugárzás számára

Compton-hullámhossz:

$$\lambda = \hbar/mc$$

Pauli-elv: egy helyen csak egy részecske

$$m_e \ll m_p = m_n$$

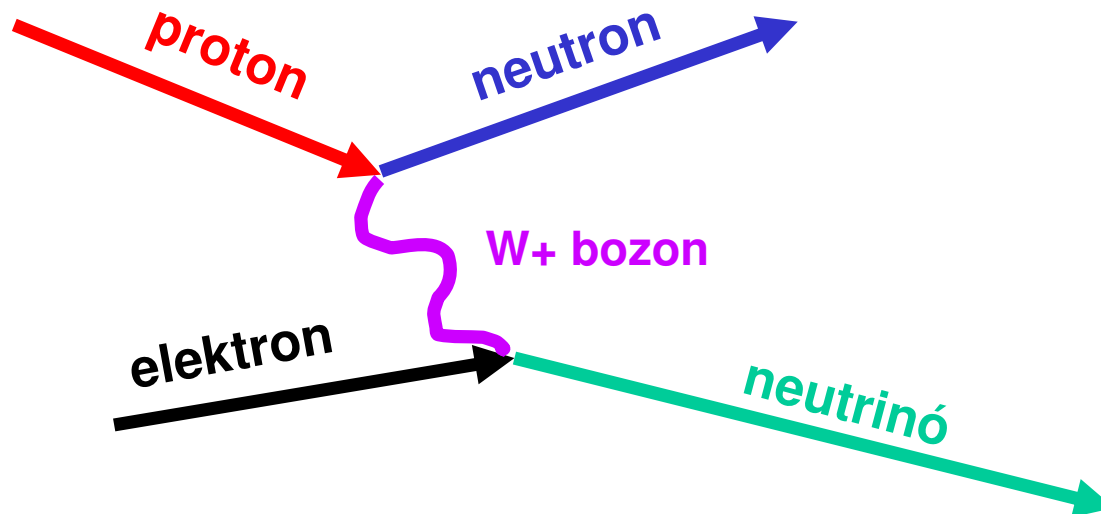
az elektronnak sok hely kell(ene)!

de az nincs...

most lép színre a leghatékonyabb hűtőgép, valóságos hőszivattyú:

a neutrínó

Ilyen nagy hőmérsékleten (energián) a **gyenge kölcsönhatás** is erős



az óriási nyomás „bepréseli” az elektronokat a protonokba

kis Compton-hullámhosszú neutronok keletkeznek

az anyag tovább sűrűsödhet!

a neutrínók pedig eltávoznak a csillagból



a neutrínók eltávoznak a csillagból...



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

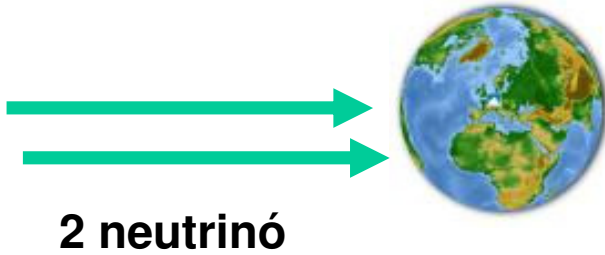
A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



2 neutrínó

a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



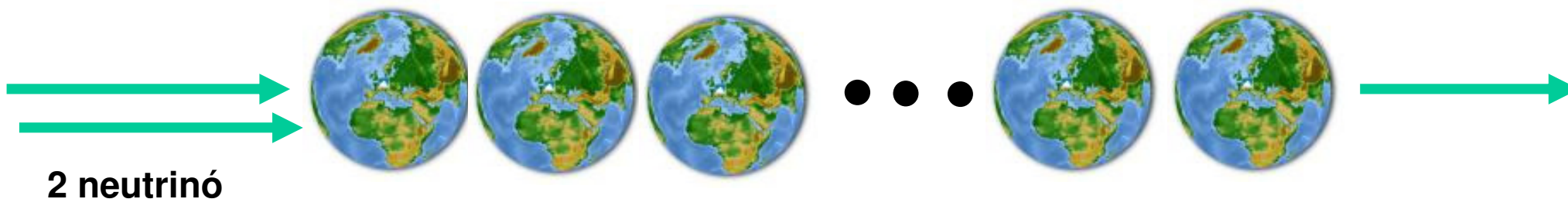
a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskével. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



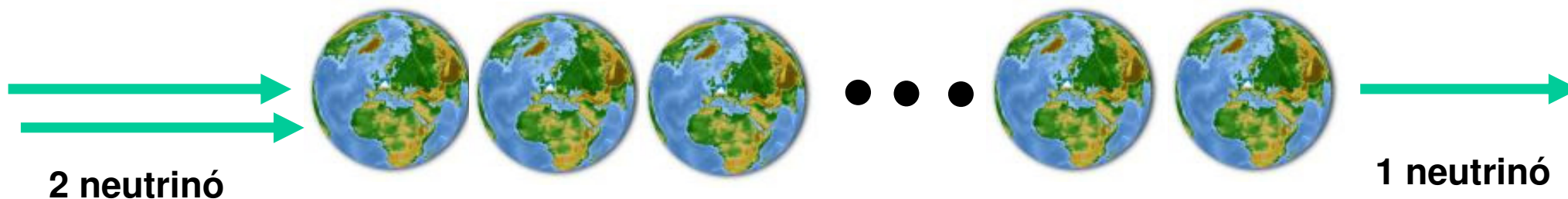
a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnnyi utazást a bolygók közetanyagában.



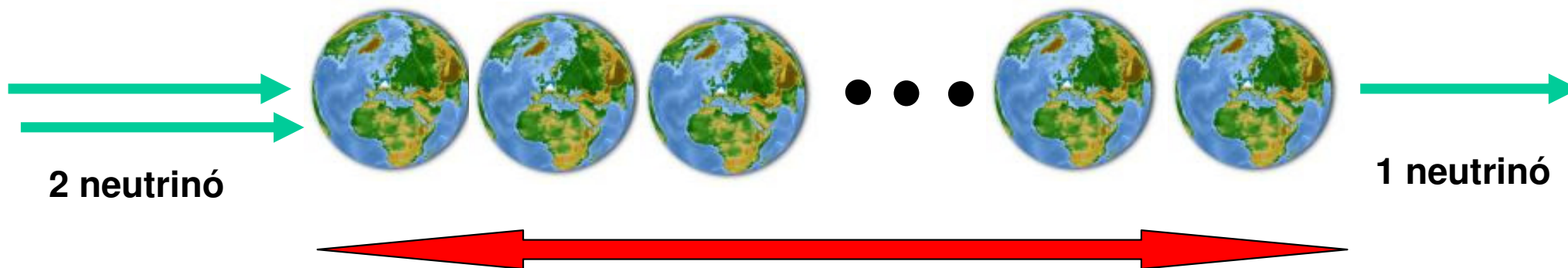
a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



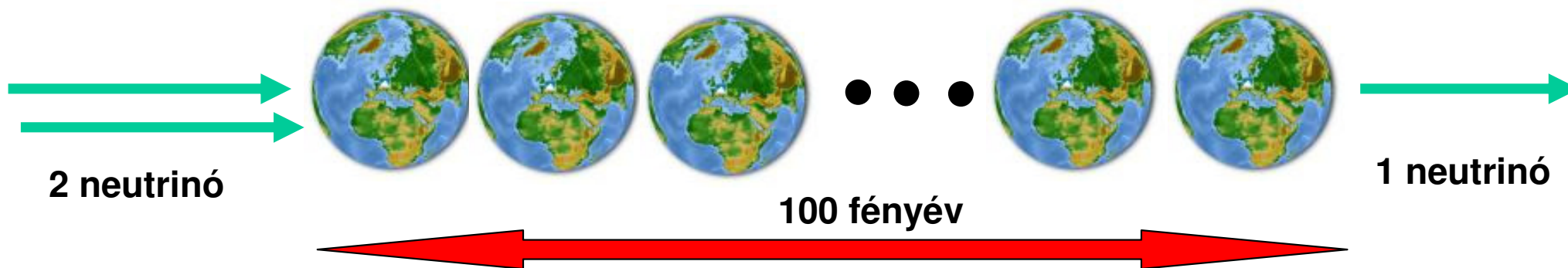
a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



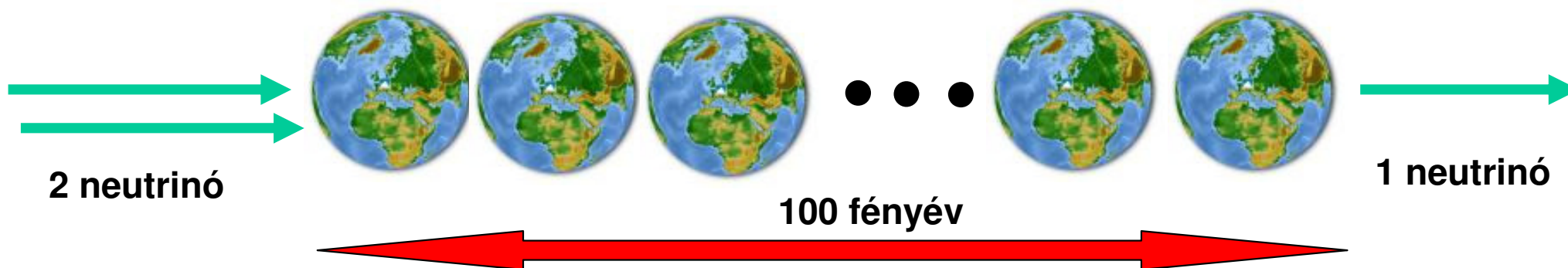
a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

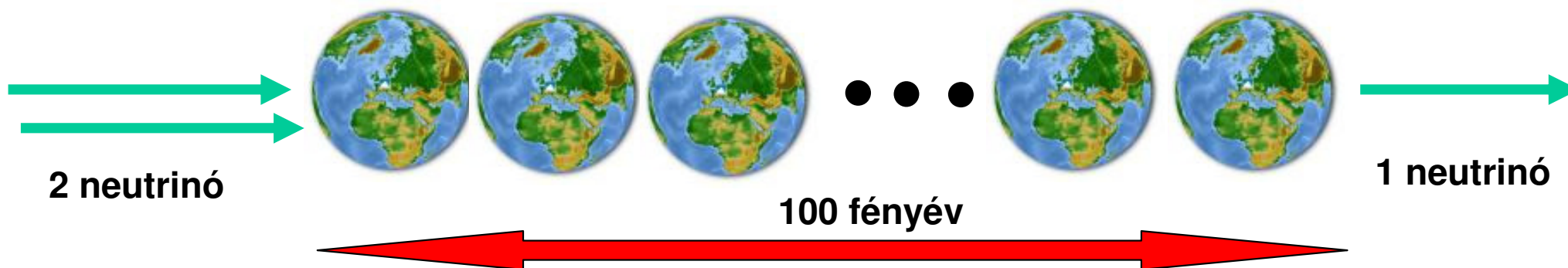
A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskével. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkal. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kiviszik a csillagból

a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkal. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kviszik a csillagból

A központban tovább nő a hőmérséklet, de a neutrínó-hűtés miatt sokkal lassabban

a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkel. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.



A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kiviszik a csillagból

A központban tovább nő a hőmérséklet, de a neutrínó-hűtés miatt sokkal lassabban

**Beindult a negyedik
NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!**

a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskével. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.

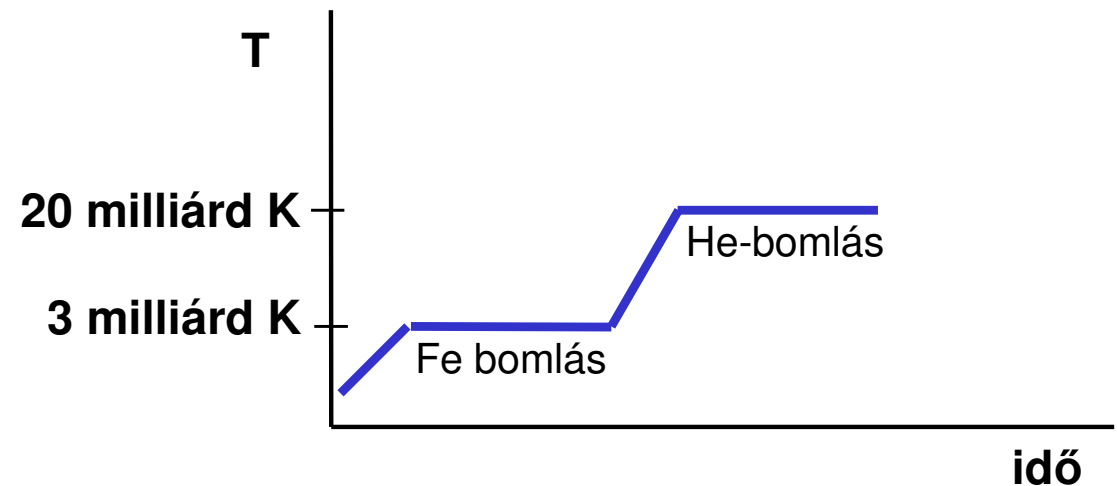


A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kiviszik a csillagból

A központban tovább nő a hőmérséklet, de a neutrínó-hűtés miatt sokkal lassabban

Beindult a negyedik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskékkal. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.

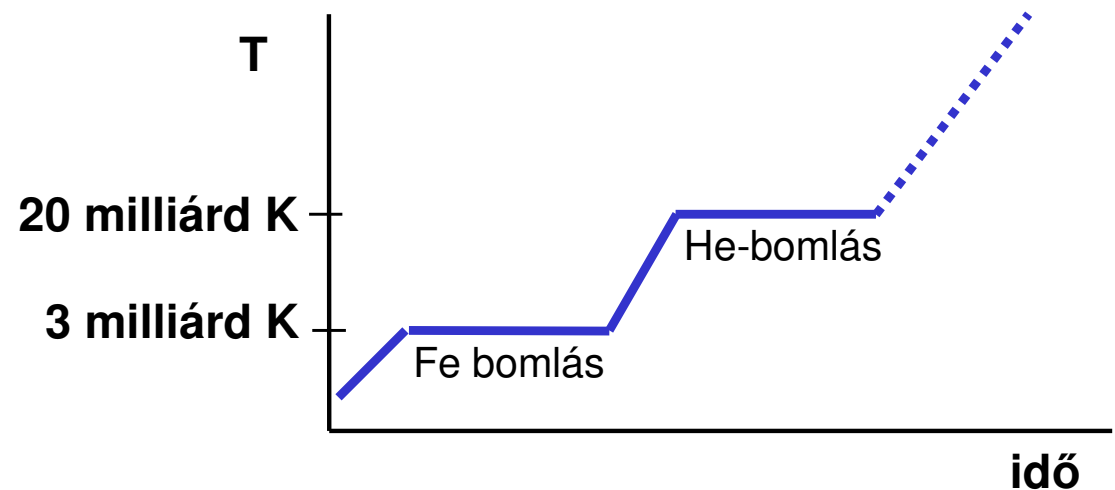


A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kiviszik a csillagból

A központban tovább nő a hőmérséklet, de a neutrínó-hűtés miatt sokkal lassabban

Beindult a negyedik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskével. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.

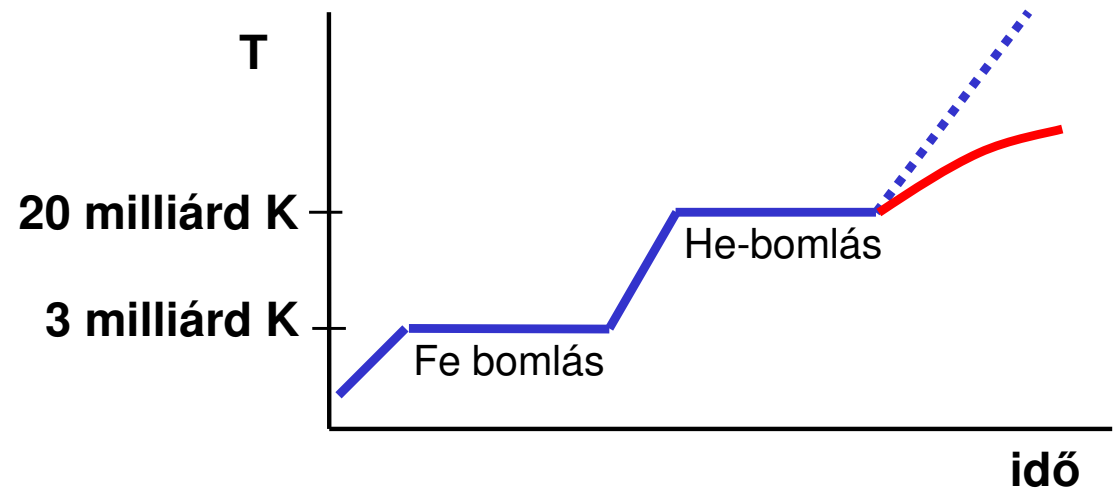


A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kiviszik a csillagból

A központban tovább nő a hőmérséklet, de a neutrínó-hűtés miatt sokkal lassabban

Beindult a negyedik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!



a neutrínók eltávoznak a csillagból...

A neutrínók csak a gyenge kölcsönhatásban vesznek részt. Ezért igen ritkán reagálnak más részecskével. Két neutrínó közül az egyik túlélne 100 fényévnyi utazást a bolygók közetanyagában.

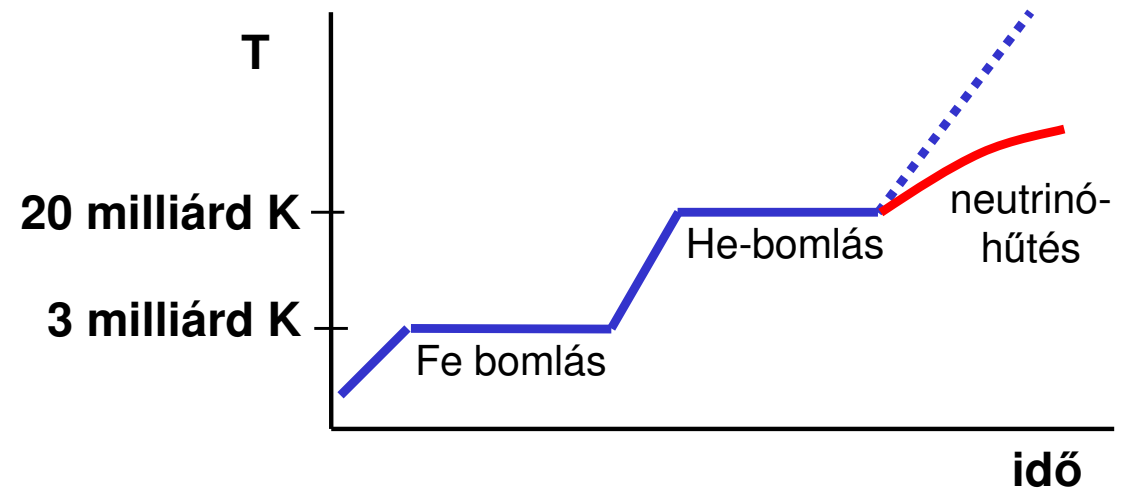


A csillagok forró és sűrű anyaga is gyakorlatilag átlátszó a neutrínók számára.

A beomló anyag gravitációs energiája által felhevített plazma hőenergiájának legnagyobb részét (99 %) a neutrínók kiviszik a csillagból

A központban tovább nő a hőmérséklet, de a neutrínó-hűtés miatt sokkal lassabban

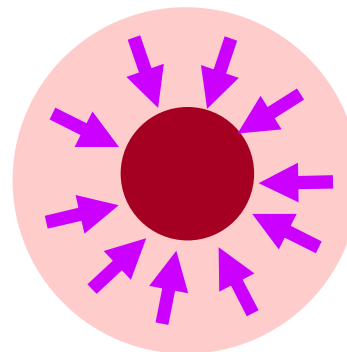
Beindult a negyedik NUKLEÁRIS HŰTŐGÉP!



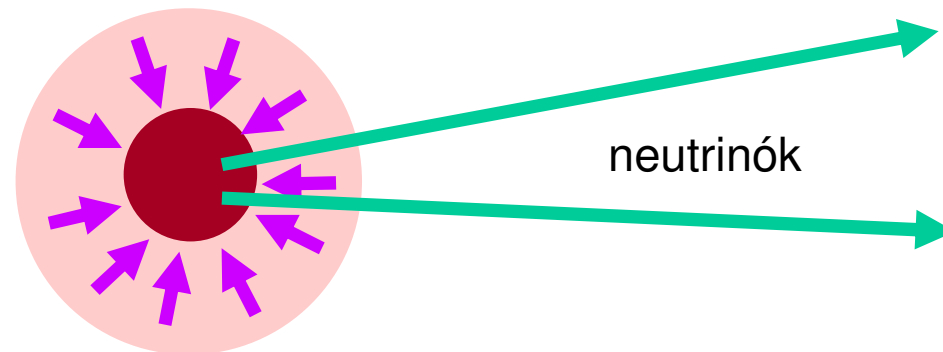
Meddig tart ez a folyamat?



Meddig tart ez a folyamat?

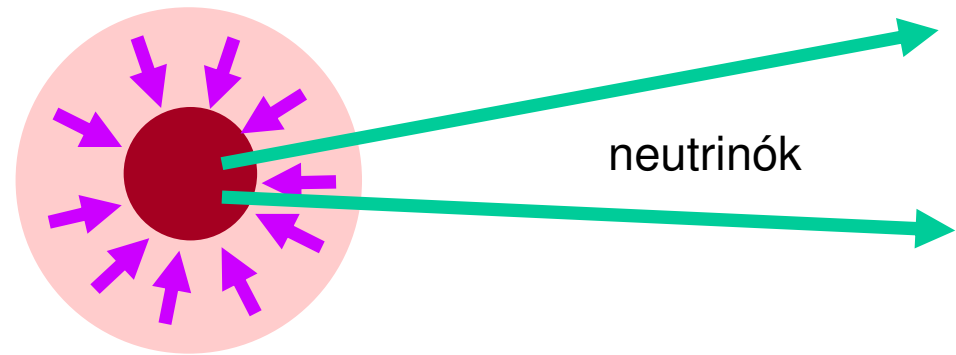


Meddig tart ez a folyamat?



Meddig tart ez a folyamat?

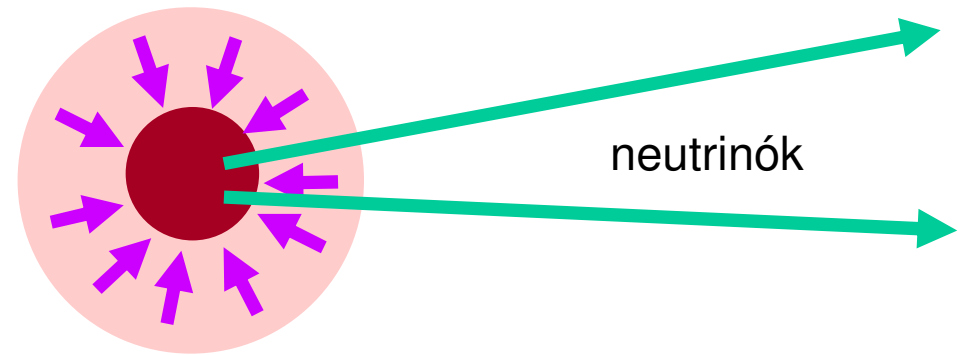
a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!



Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

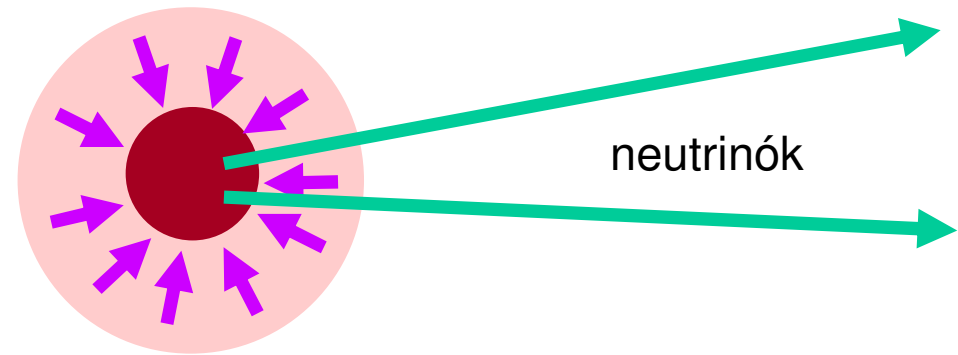
kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:



Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:
100 méter lesz



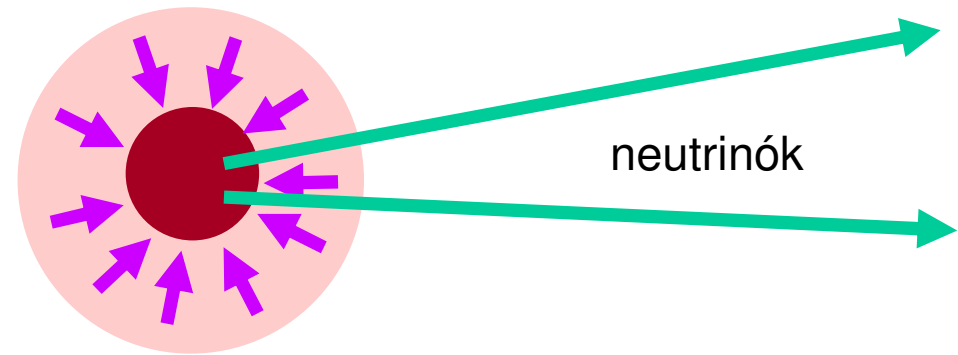
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



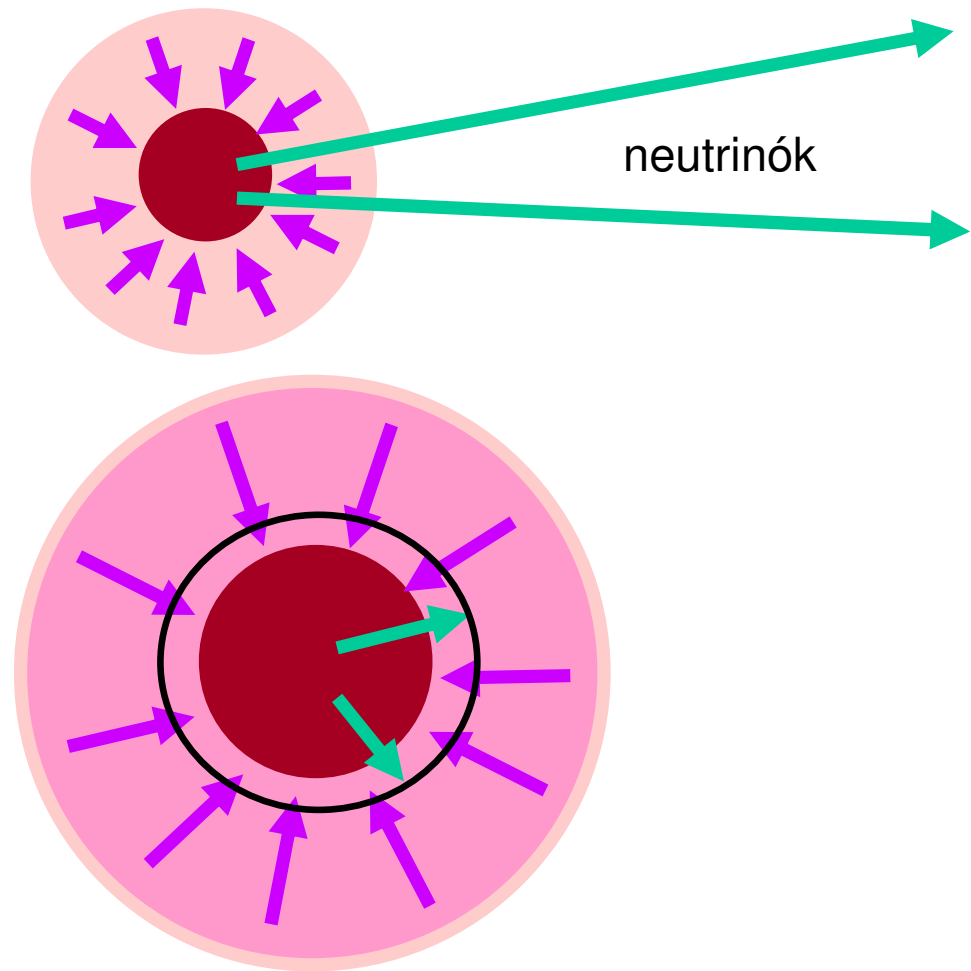
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



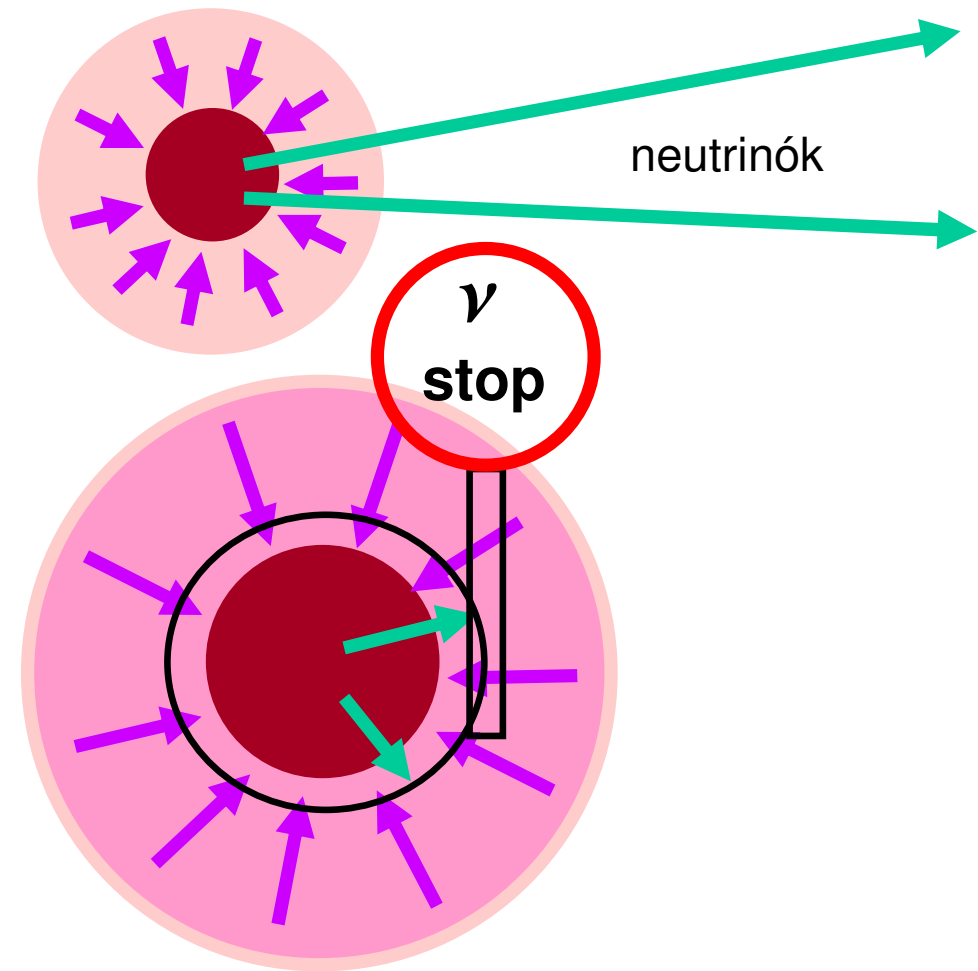
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



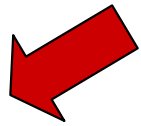
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

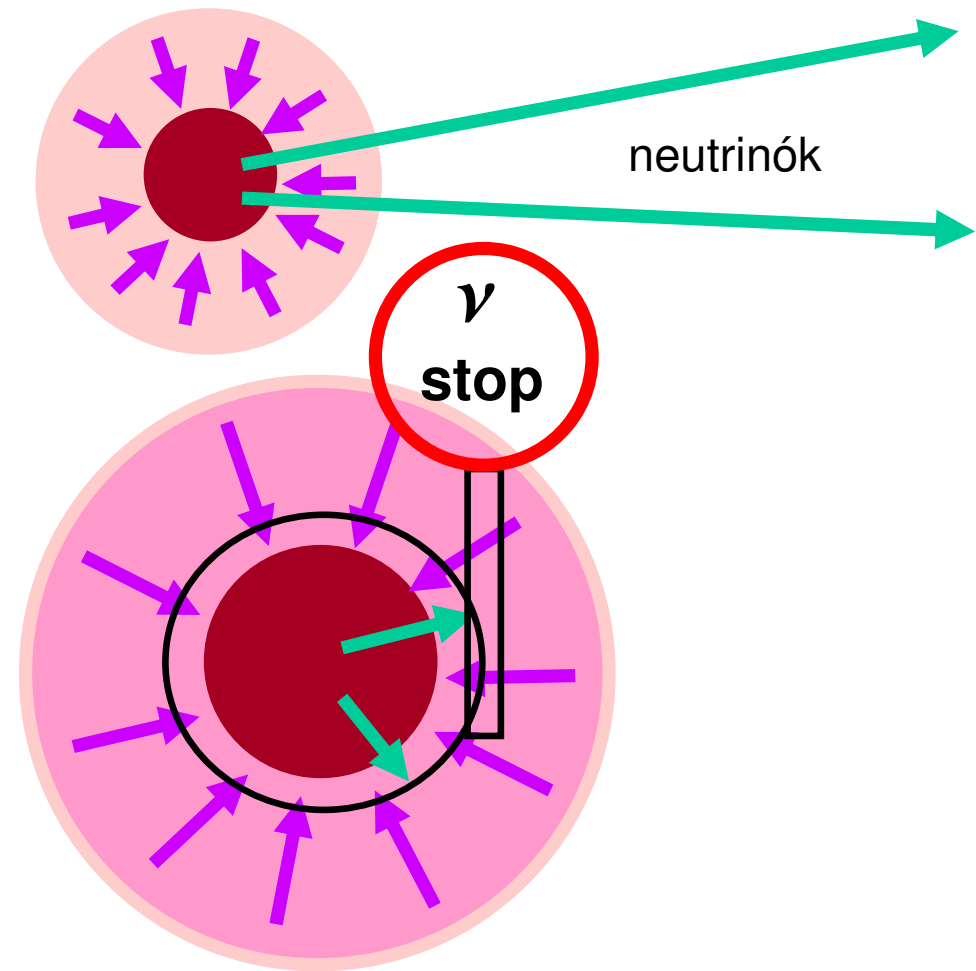
kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



ismét megnő a centrális nyomás



Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

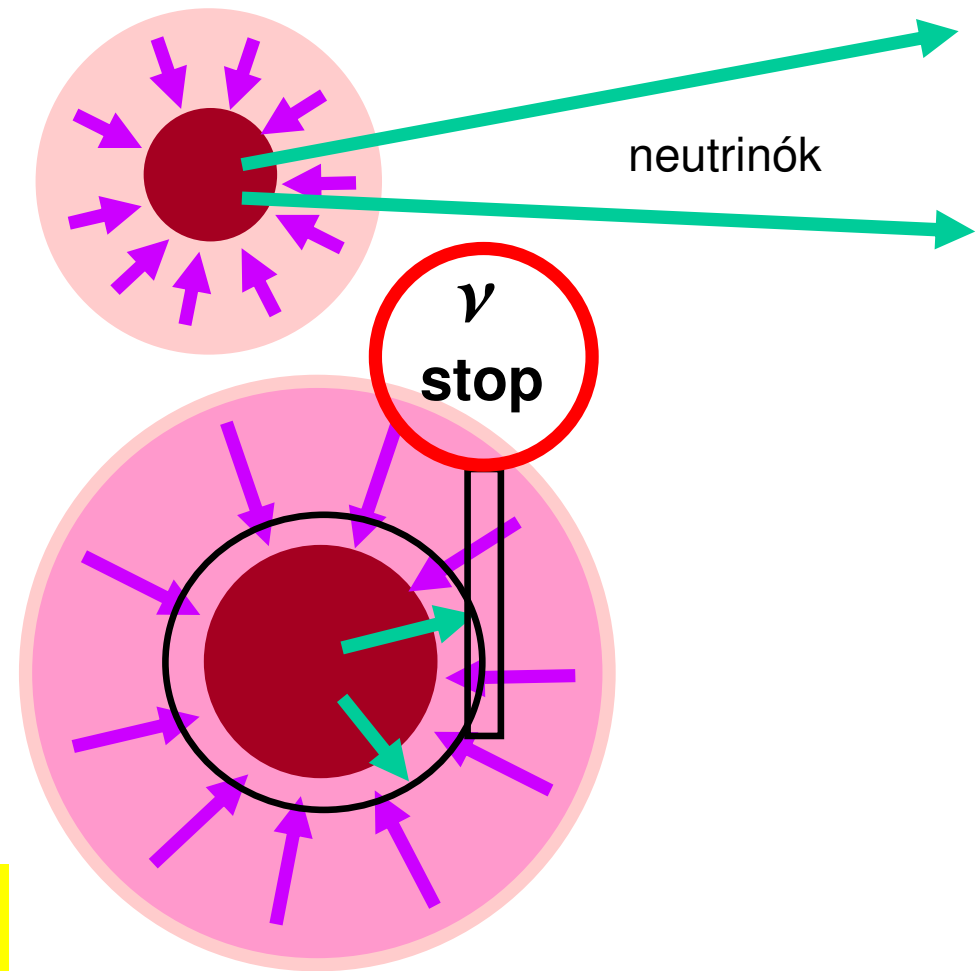
kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban

ismét megnő a centrális nyomás

a beomló anyag „falba ütközik”



Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

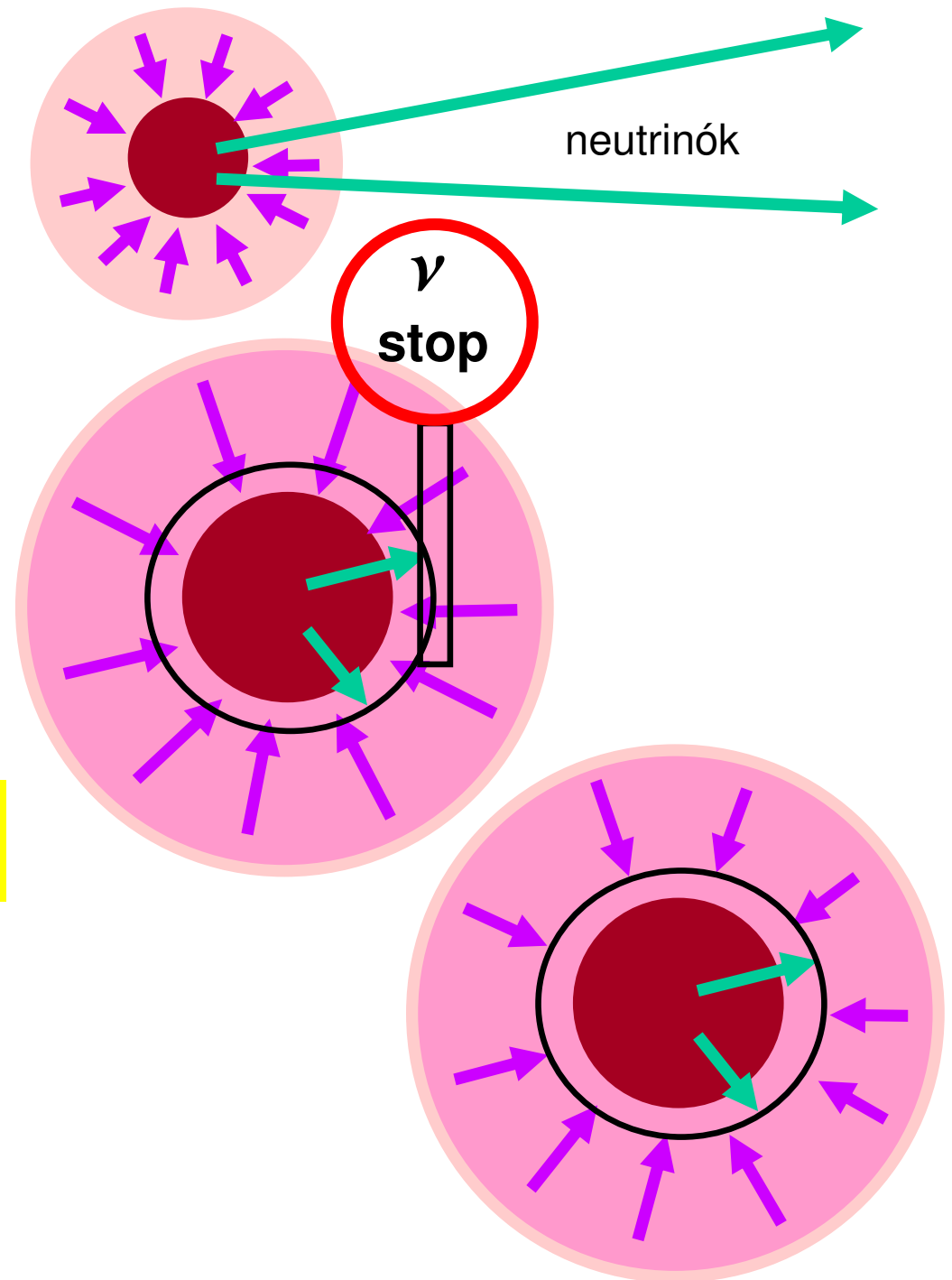
kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban

ismét megnő a centrális nyomás

a beomló anyag „falba ütközik”



Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

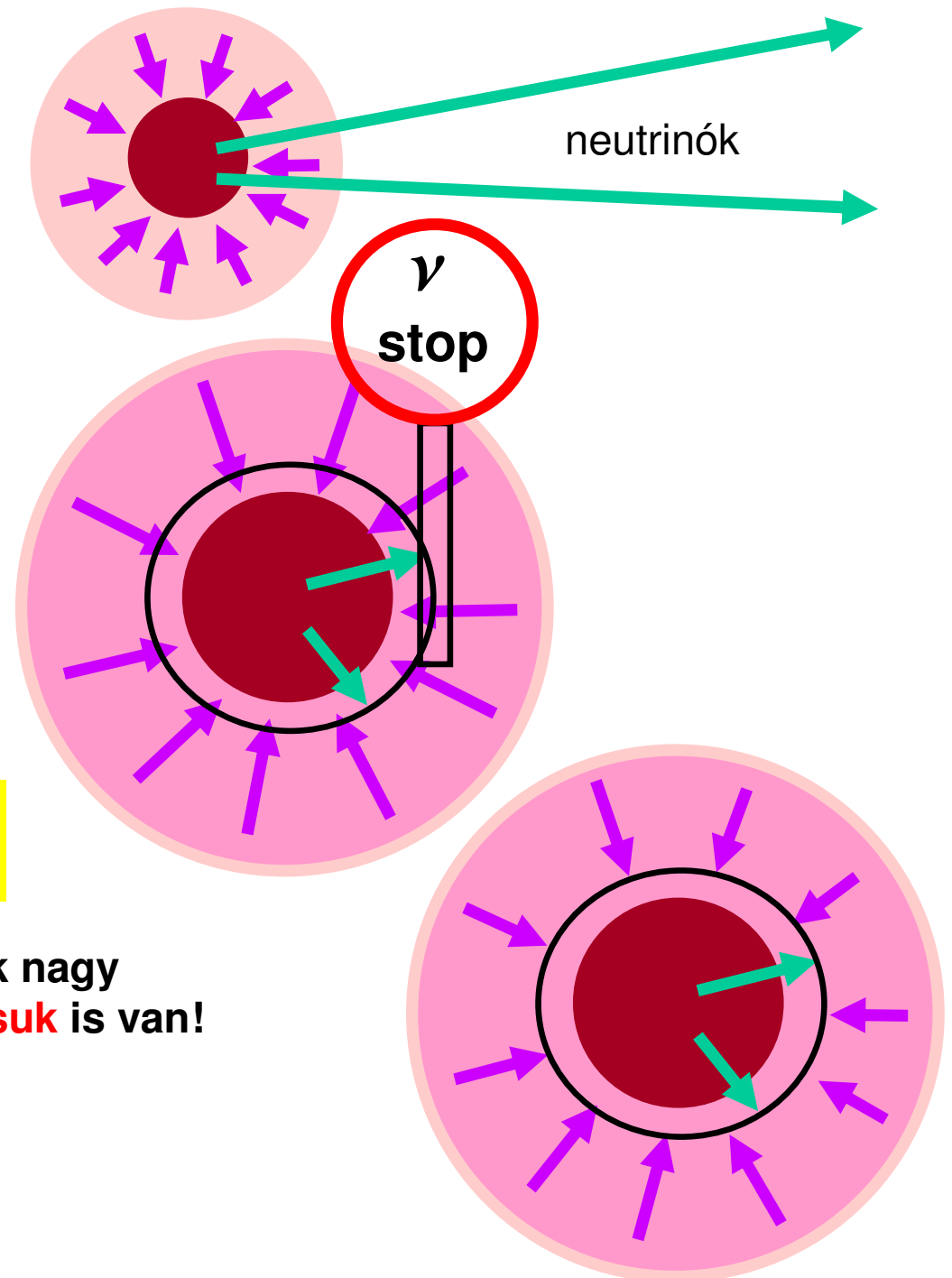
100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban

ismét megnő a centrális nyomás

a beomló anyag „falba ütközik”

a neutrínóknak nem csak nagy energiájuk, de nagy **impulzusuk** is van!



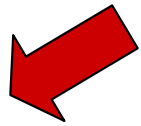
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

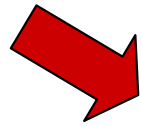
kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



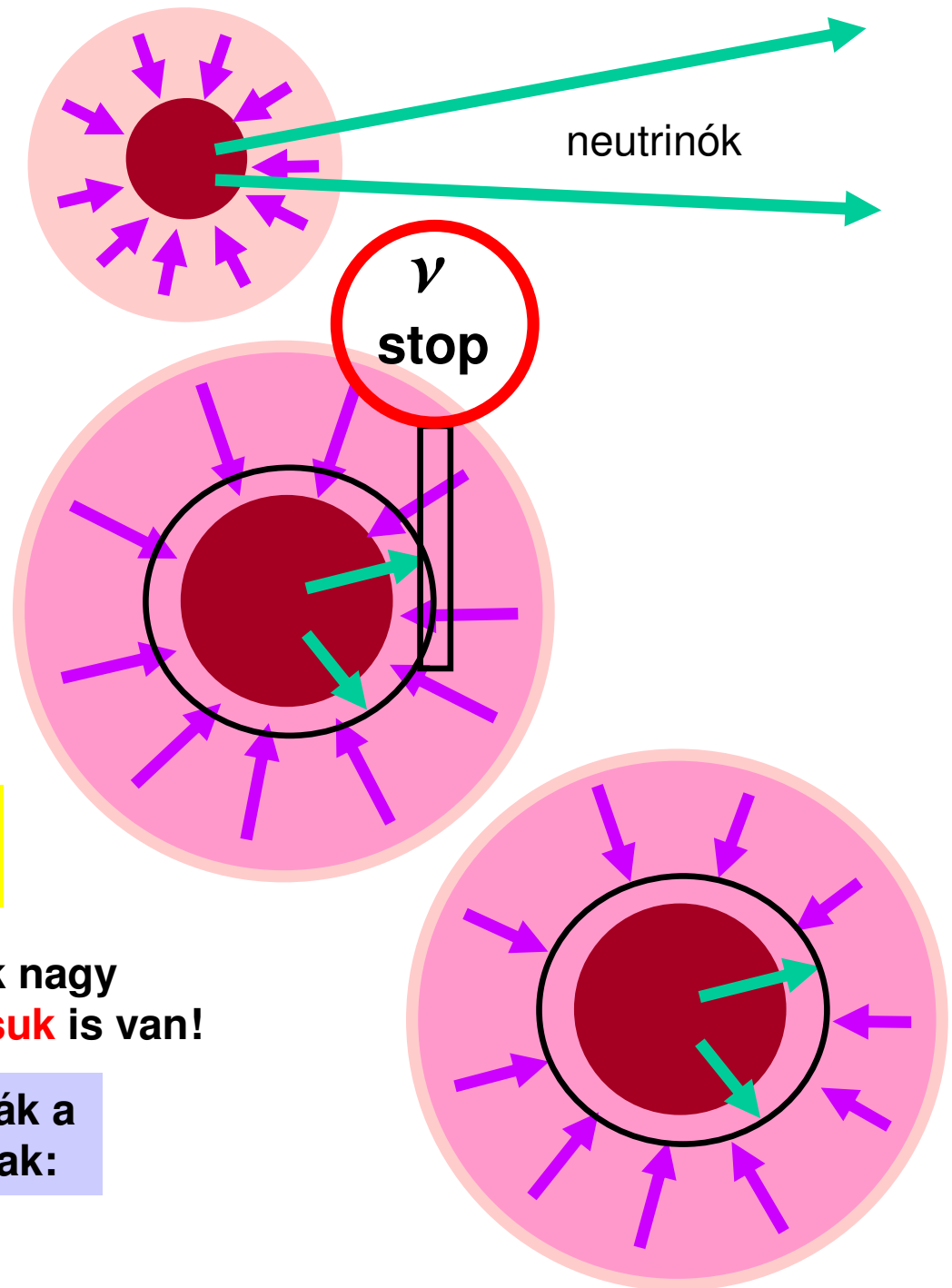
ismét megnő a centrális nyomás



a beomló anyag „falba ütközik”

a neutrínóknak nem csak nagy energiájuk, de nagy **impulzusuk** is van!

megálláskor ezt átadják a szembe jövő anyagnak:



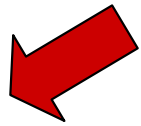
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



ismét megnő a centrális nyomás

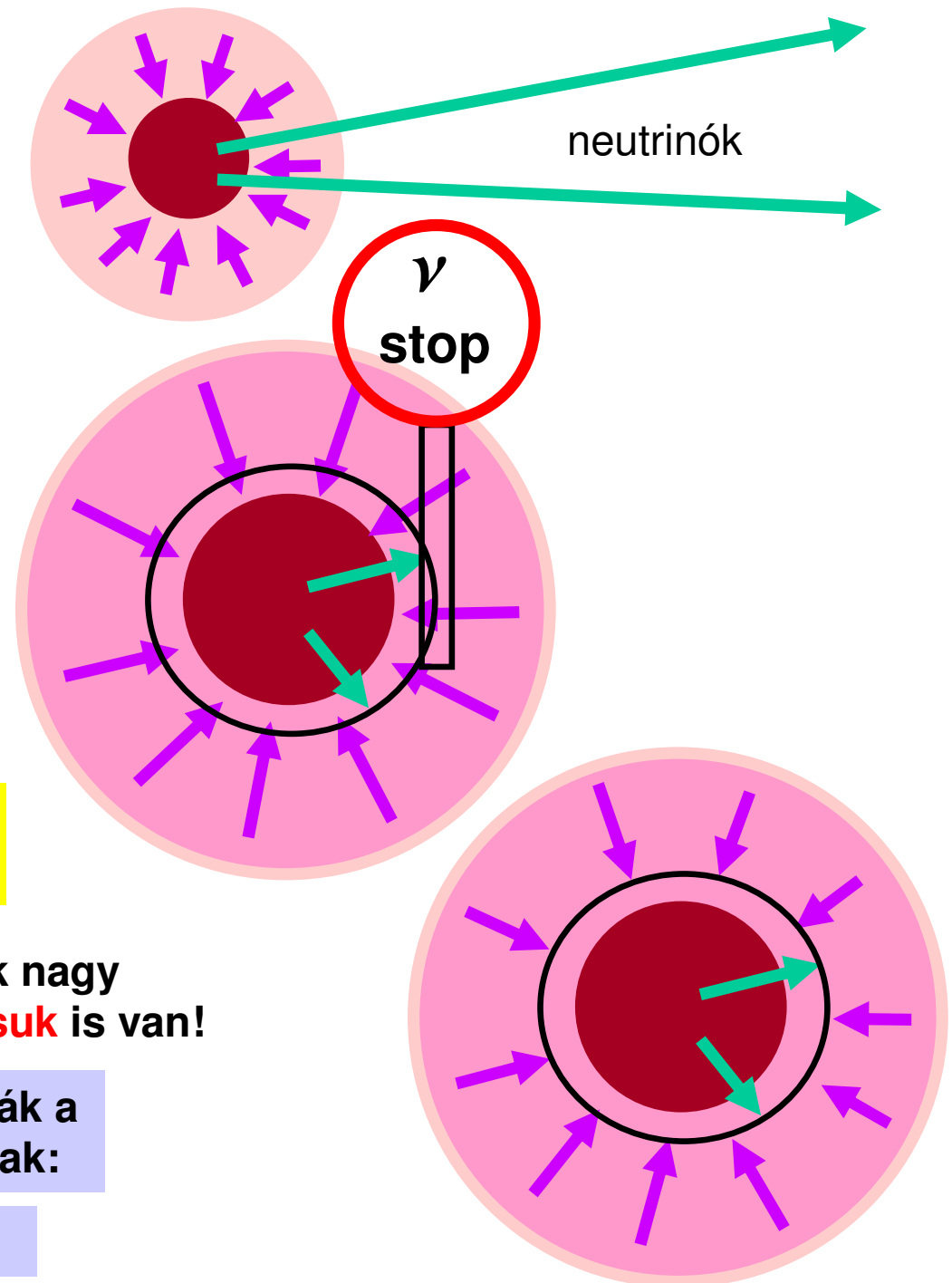


a beomló anyag „falba ütközik”

a neutrínóknak nem csak nagy energiájuk, de nagy **impulzusuk** is van!

megálláskor ezt átadják a szembe jövő anyagnak:

erőt fejtenek ki rá



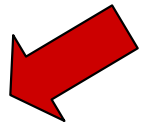
Meddig tart ez a folyamat?

a gyenge kölcsönhatás energiafüggő!

kb **40 milliárd K** hőmérsékleten a forró sűrű anyagban a neutrínók szabad úthossza drámaian lecsökken:

100 méter lesz

a csillag magjából kifelé tartó neutrínók elnyelődnek a befelé hulló anyagban



ismét megnő a centrális nyomás

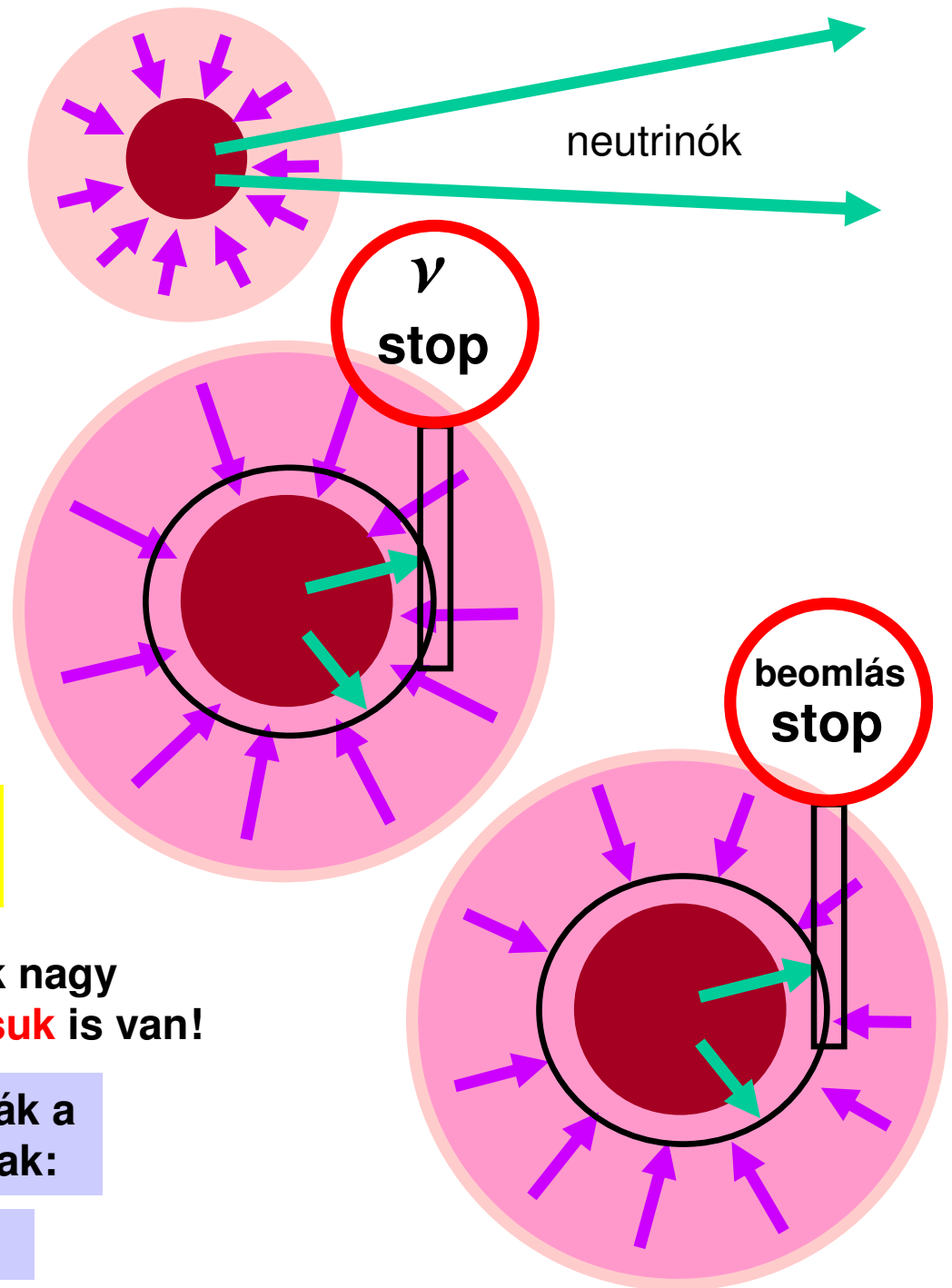


a beomló anyag „falba ütközik”

a neutrínóknak nem csak nagy energiájuk, de nagy **impulzusuk** is van!

megálláskor ezt átadják a szembe jövő anyagnak:

erőt fejtenek ki rá



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

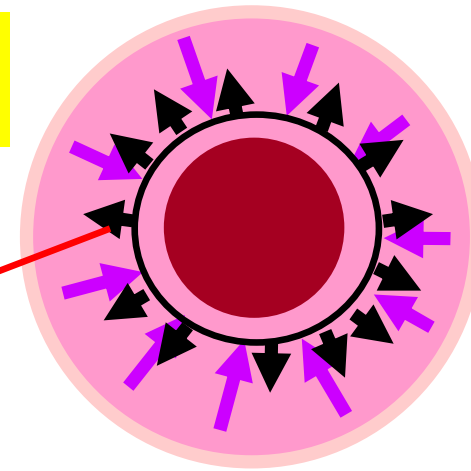


a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökéshullám



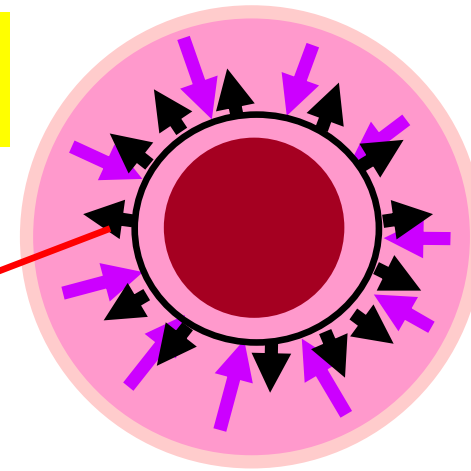
a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag



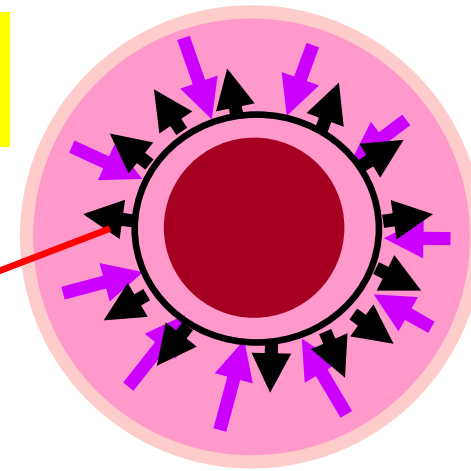
a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül



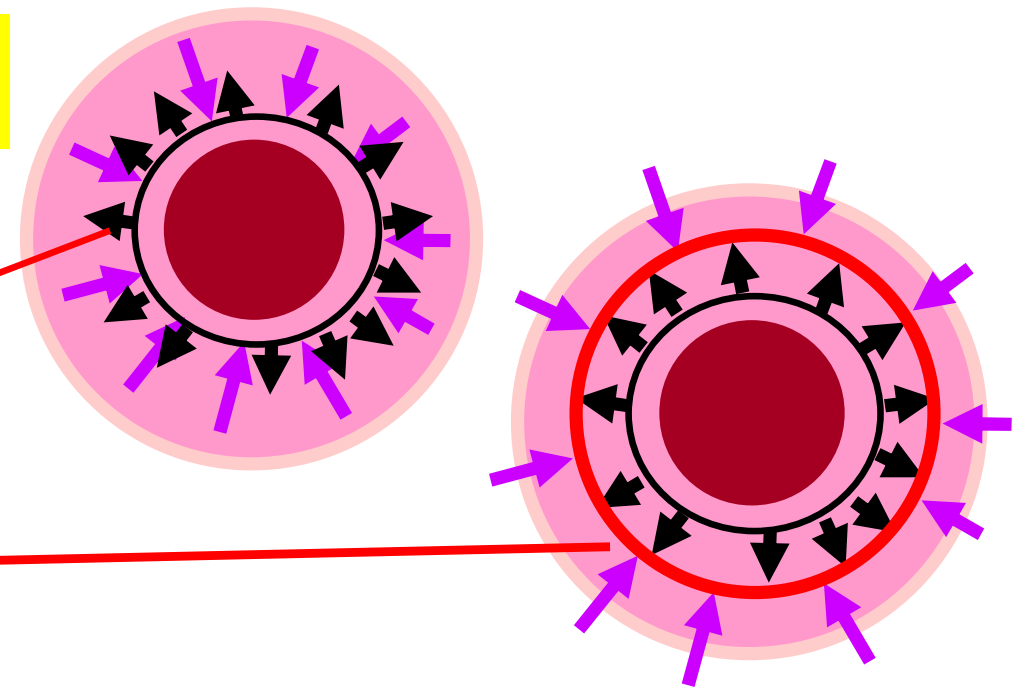
a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökéshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

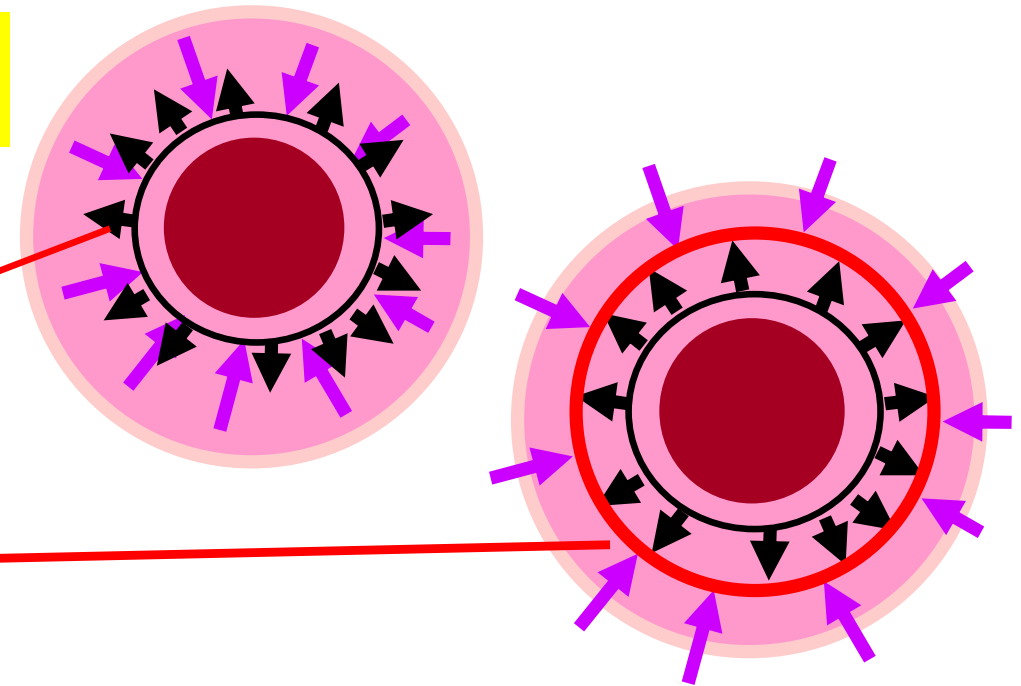
**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökéshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

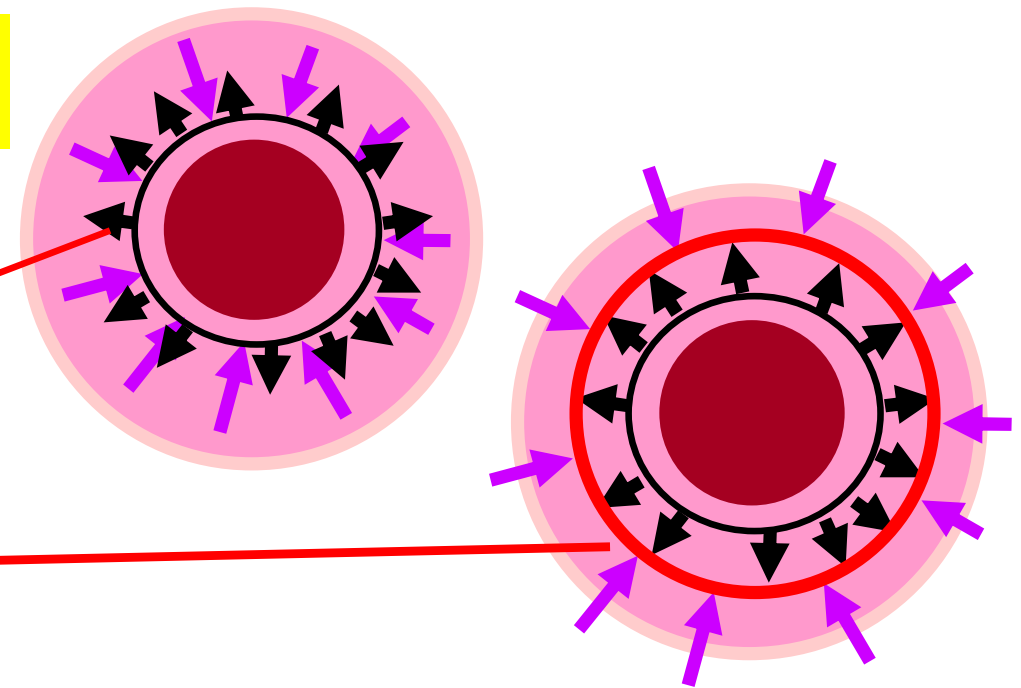
nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

a beomló anyag
„falba ütközik”

nagyot koppan, és visszapattan:

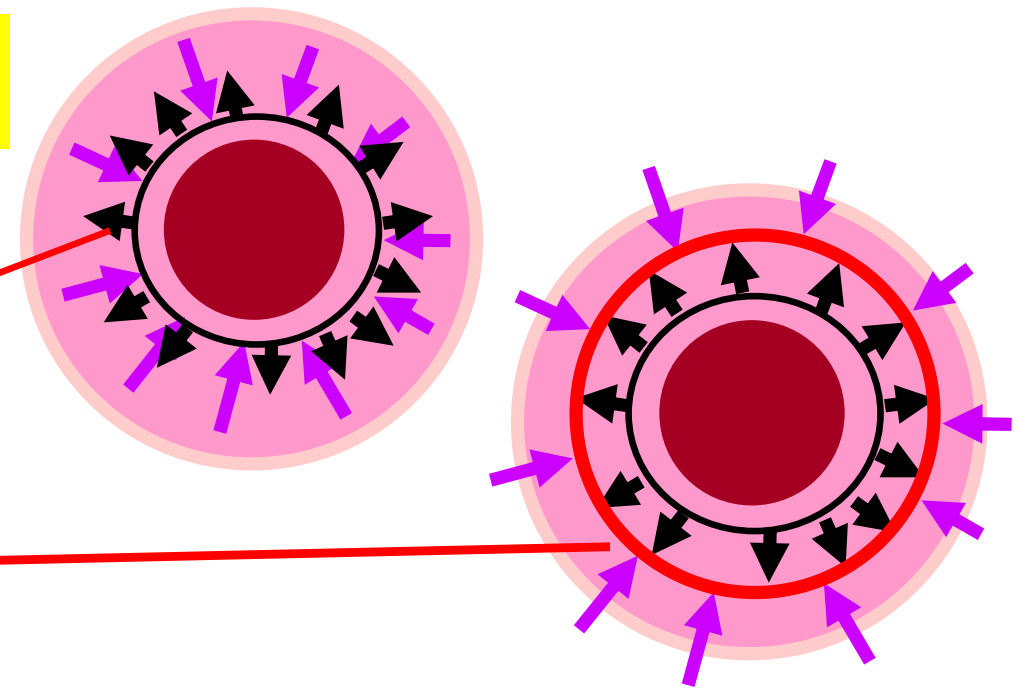
kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

újabb
lökeshullám



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

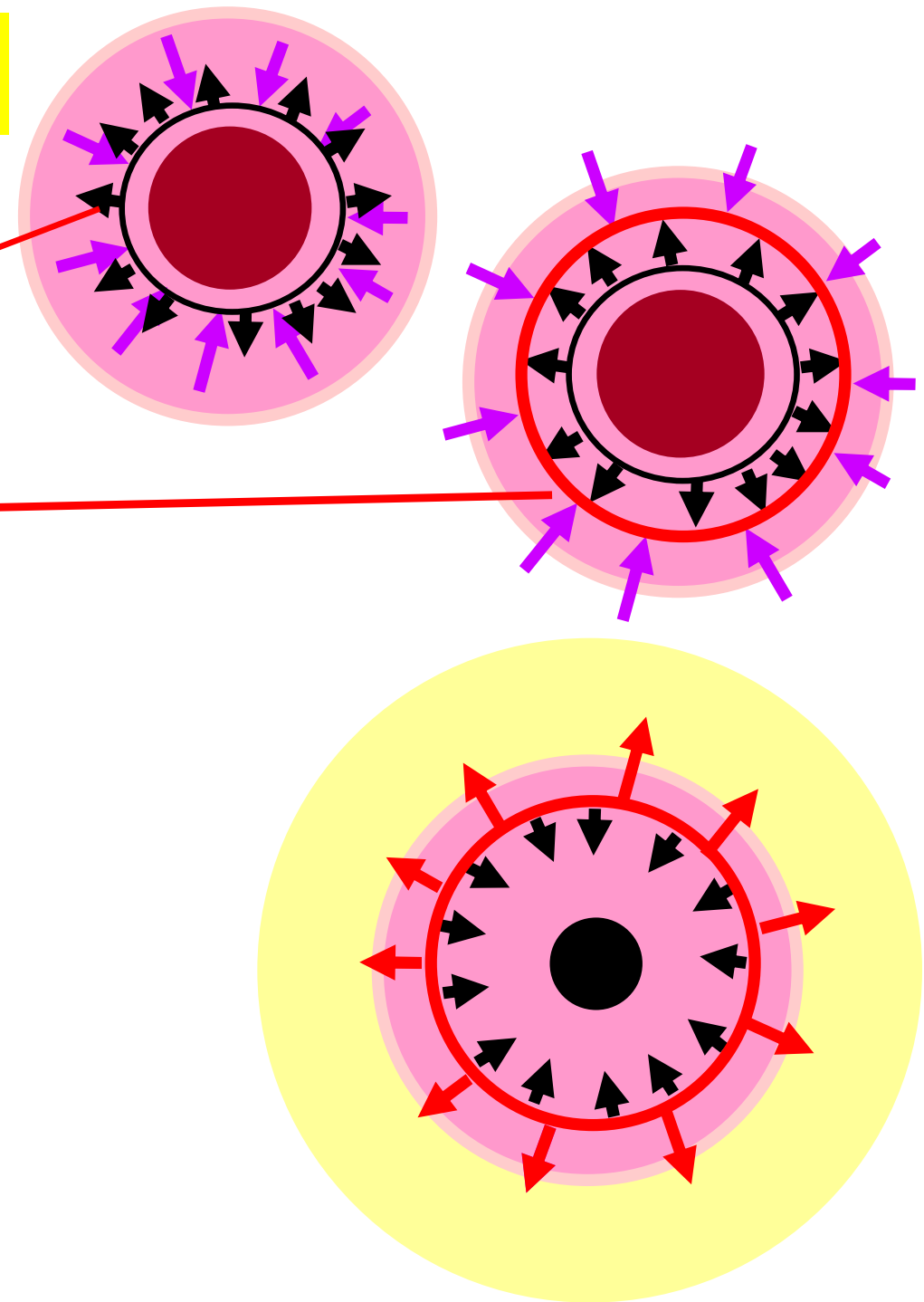
kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

**újabb
lökeshullám**



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

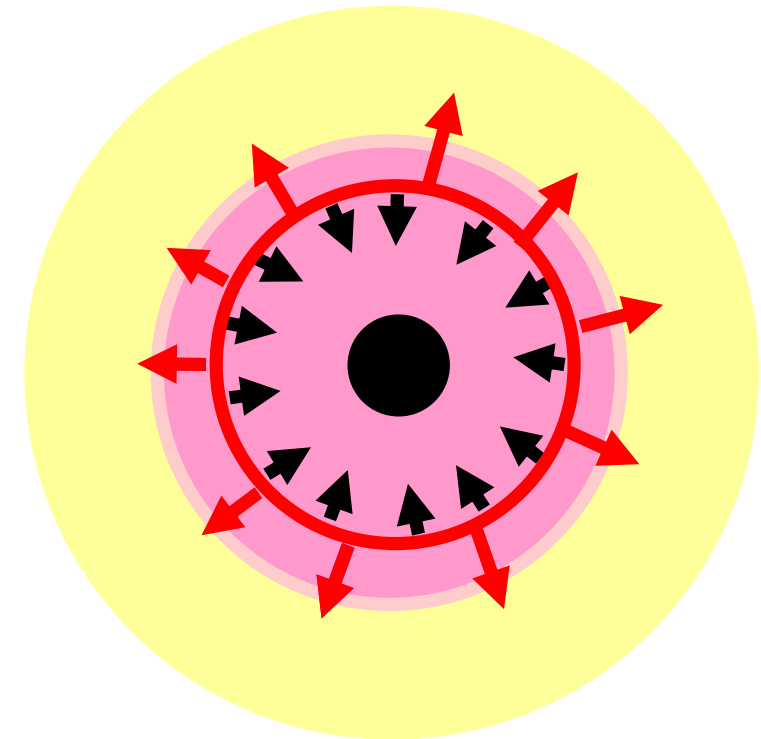
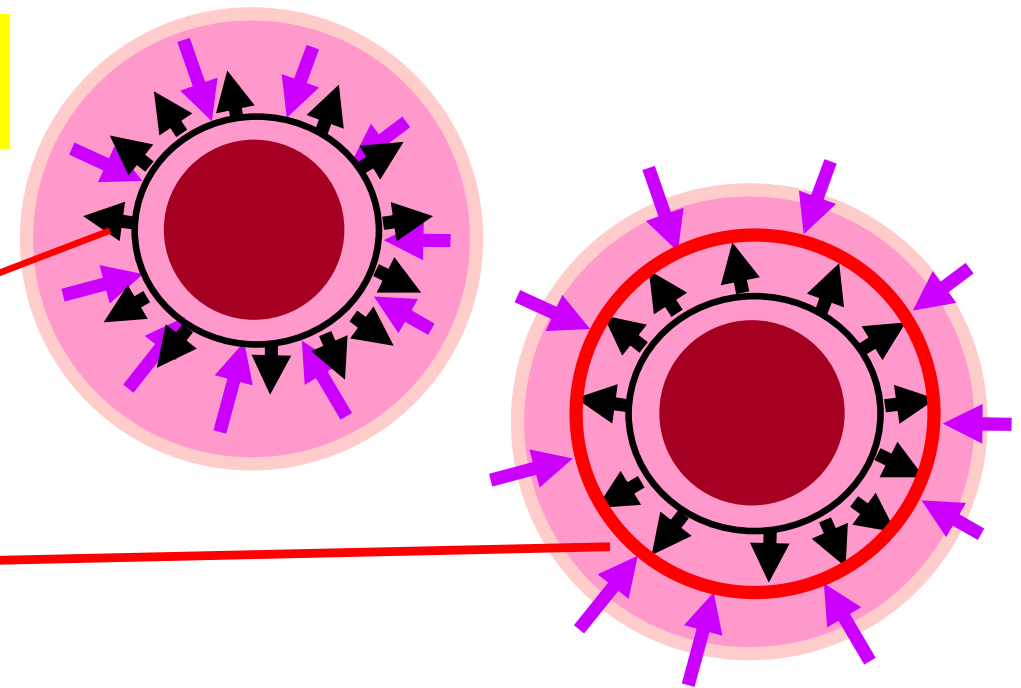
a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

**újabb
lökeshullám**

befelé



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

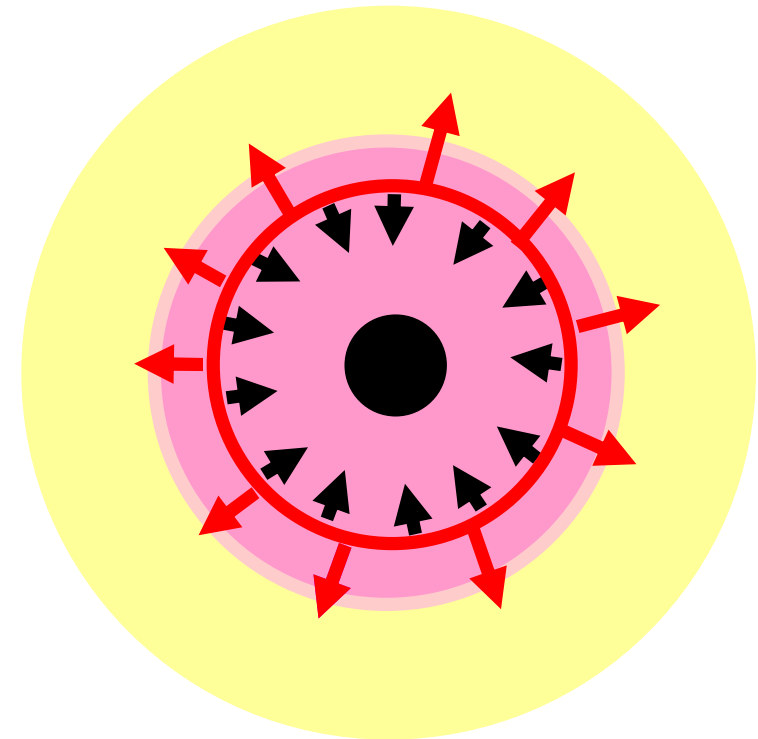
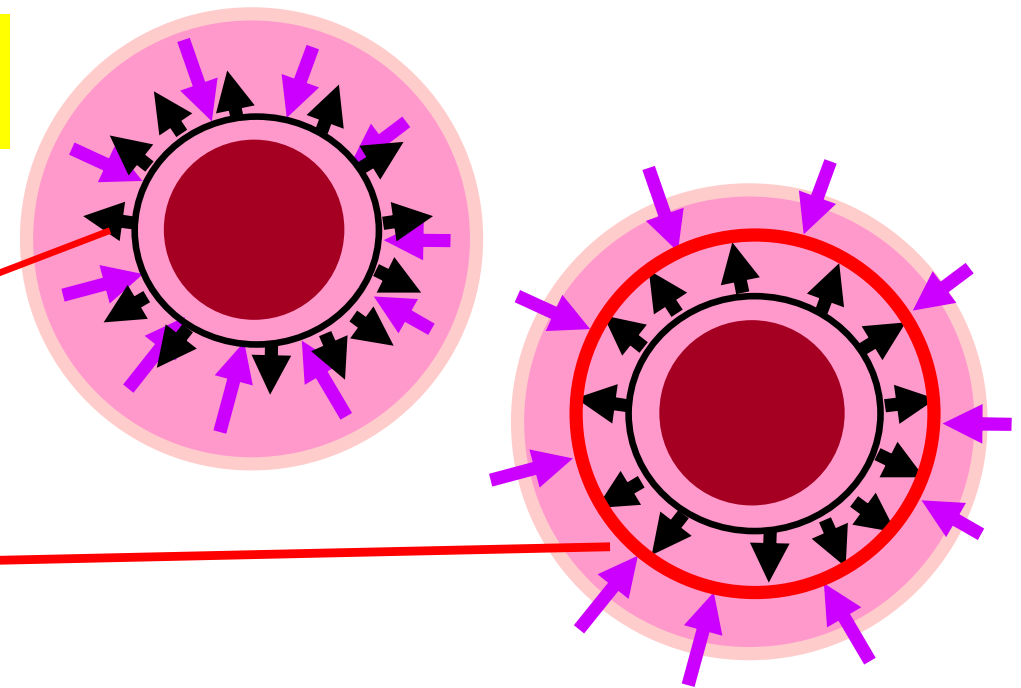
új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

**újabb
lökeshullám**

befelé

**újból összenyomja a
csillag magját**



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

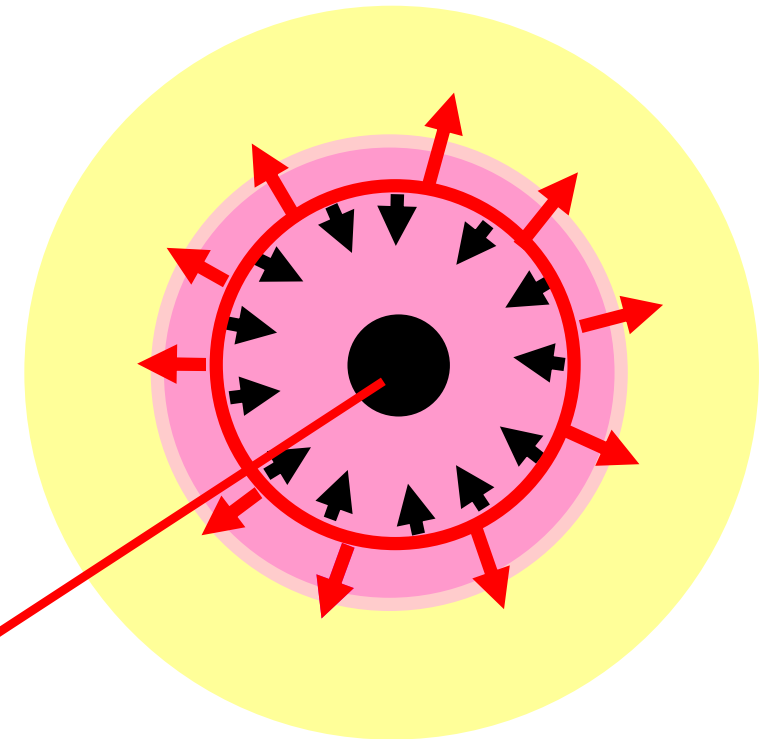
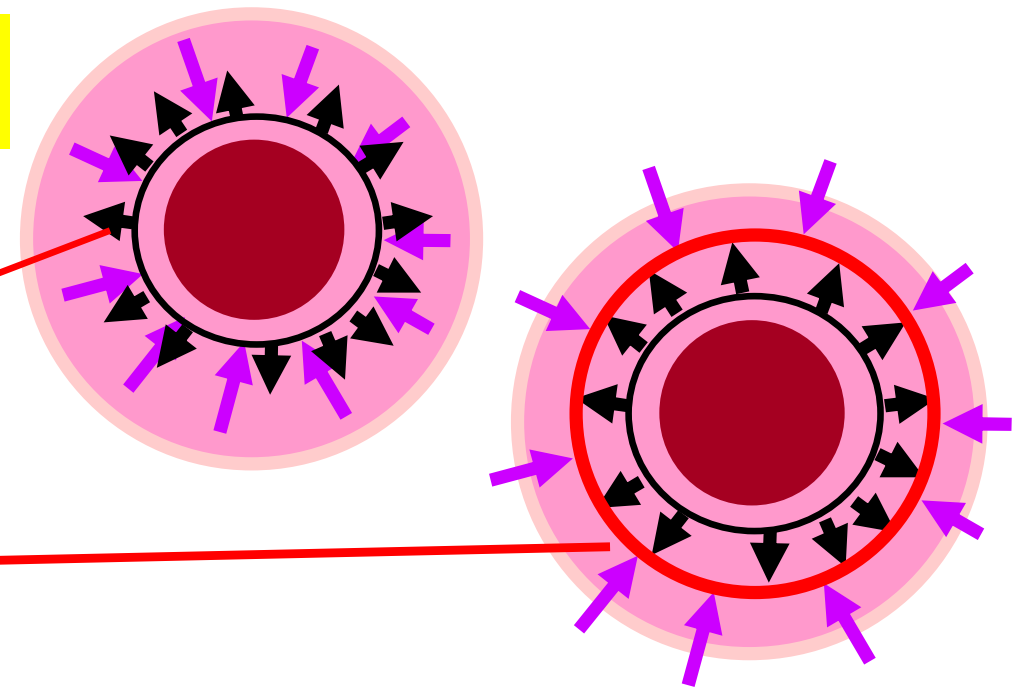
további felhevülés

**újabb
lökeshullám**

befelé

**újból összenyomja a
csillag magját**

neutroncsillag,
fekete lyuk



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag
összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

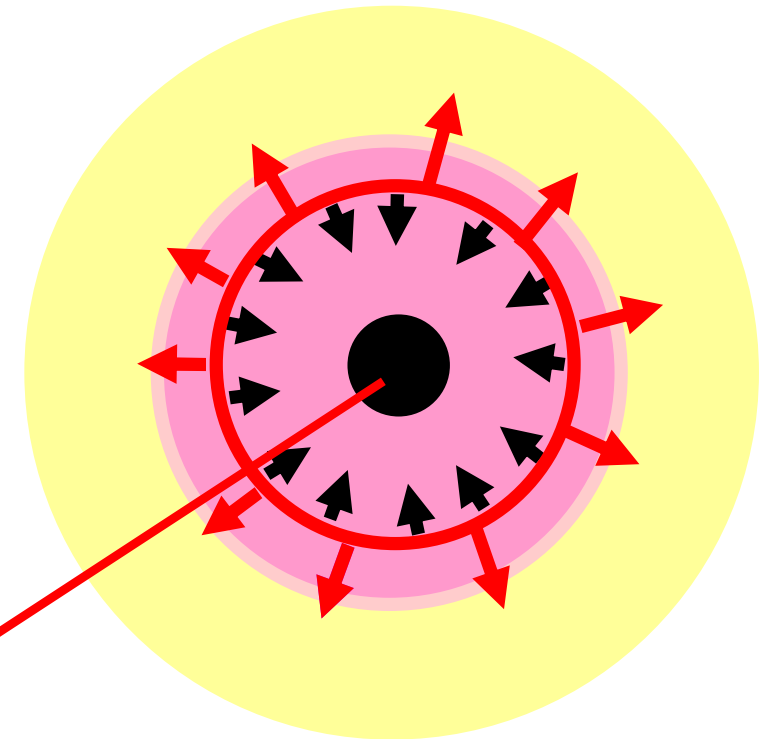
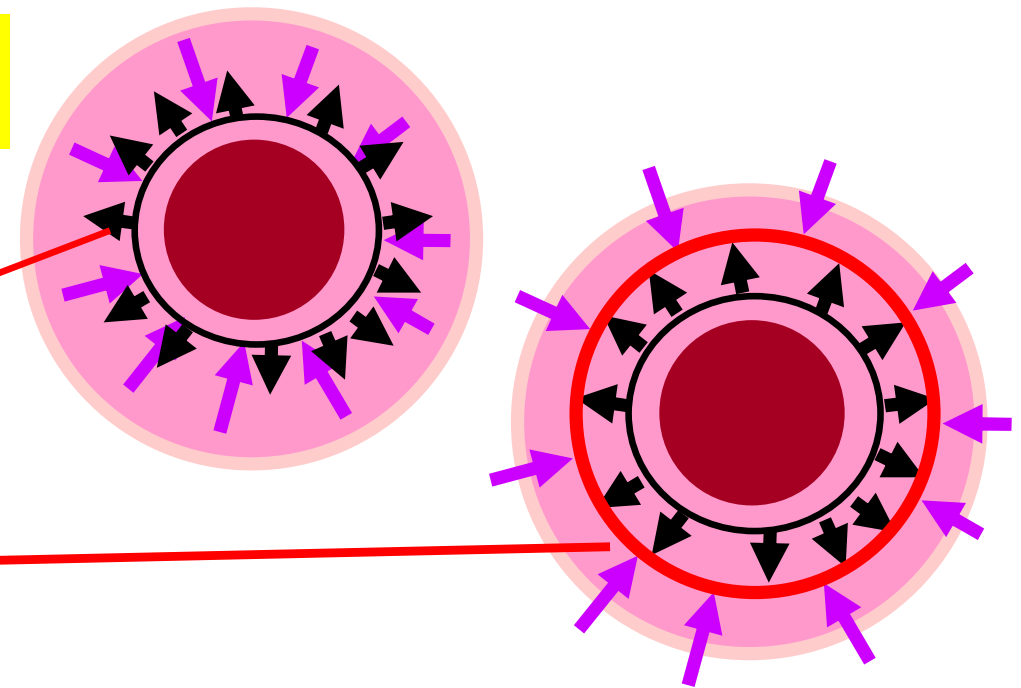
**újabb
lökeshullám**

kifelé

befelé

**újból összenyomja a
csillag magját**

neutroncsillag,
fekete lyuk



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

a beomló anyag
„falba ütközik”

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag

összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

újabb
lökeshullám

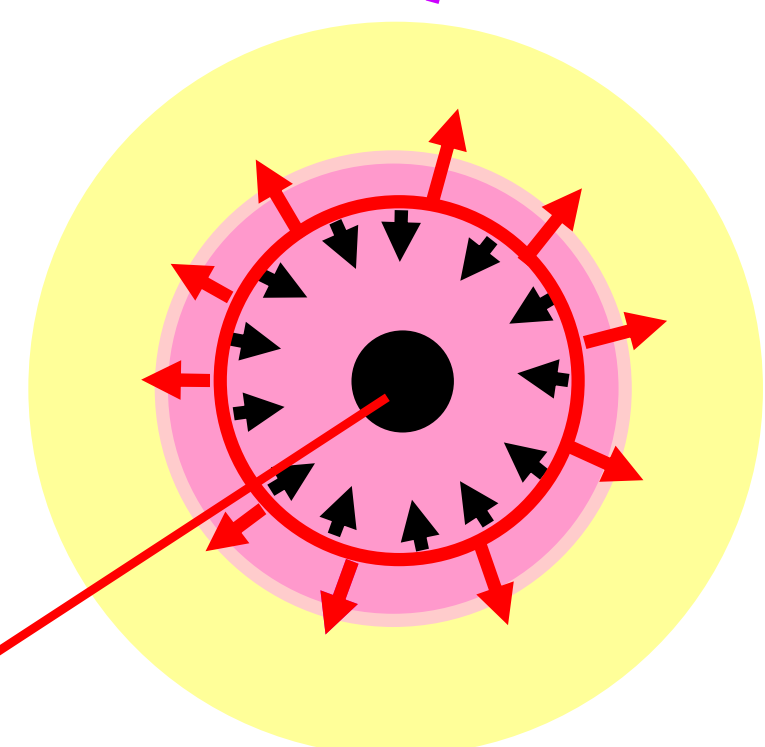
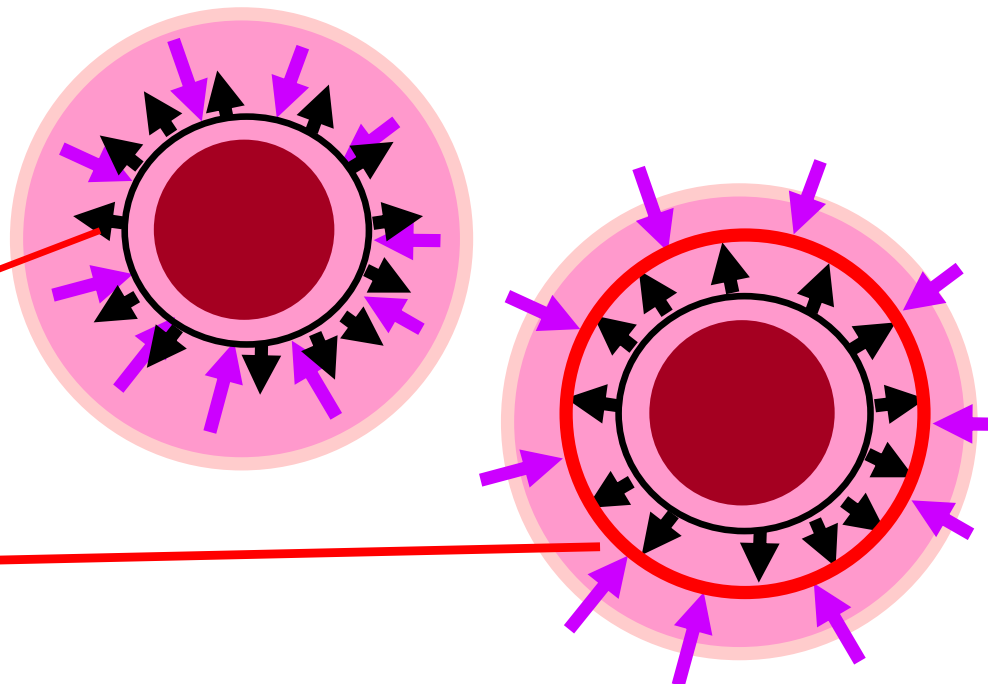
kifelé

lefújja a csillag
külső rétegeit

befelé

újból összenyomja a
csillag magját

neutroncsillag,
fekete lyuk



a dráma utolsó felvonása
(néhány másodperc)

**a beomló anyag
„falba ütközik”**

nagyot koppan, és visszapattan:

kifelé induló sűrítő lökeshullám

a csillag magja körül a befelé hulló,
könnyű elemekben (C) dús anyag

összenyomódik és felhevül

új, energiatermelő magreakciók

további felhevülés

**újabb
lökeshullám**

kifelé

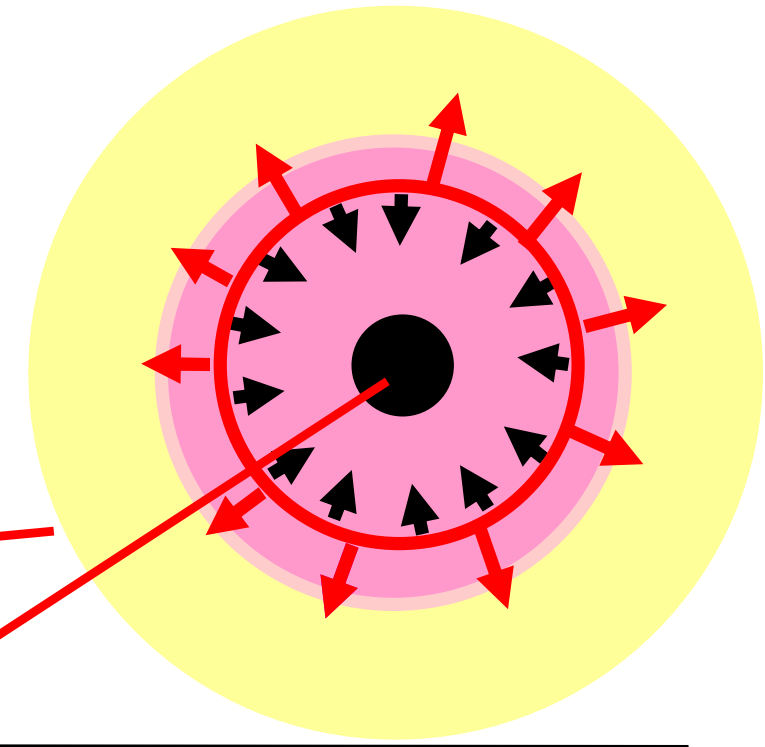
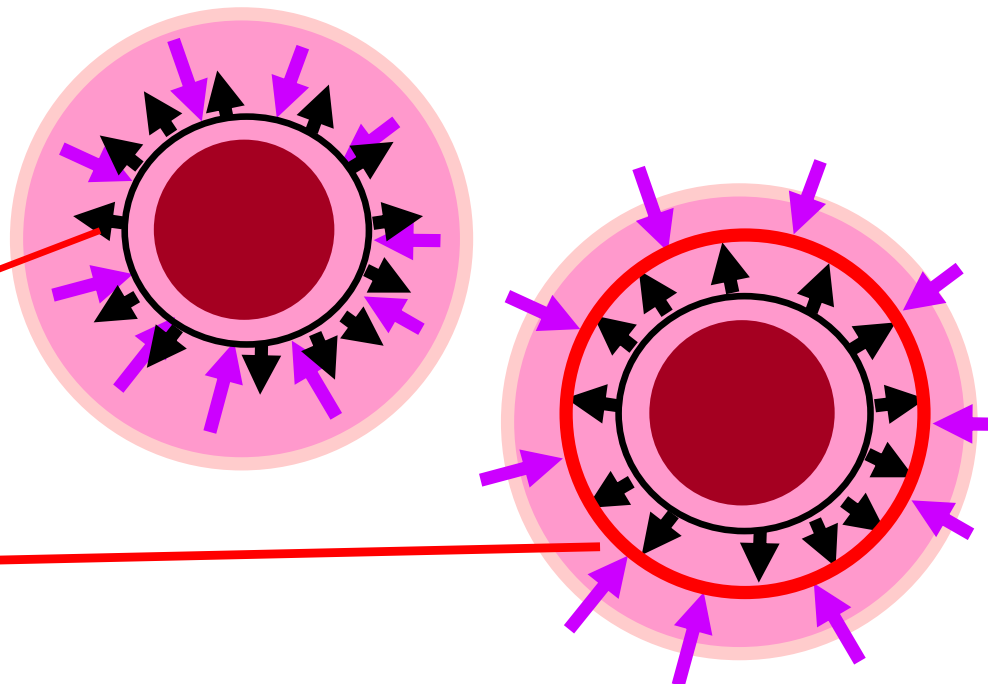
befelé

**lefújja a csillag
külső rétegeit**

**újból összenyomja a
csillag magját**

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

**neutroncsillag,
fekete lyuk**



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA



forró, fényes,
táguló gázfelhő

SZUPERNOVA

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:
a galaxisok
spirálkarjaiban

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:

a galaxisok
spirálkarjaiban

kb 10 millió éves, nagy
tömegű csillagokból
keletkezik



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

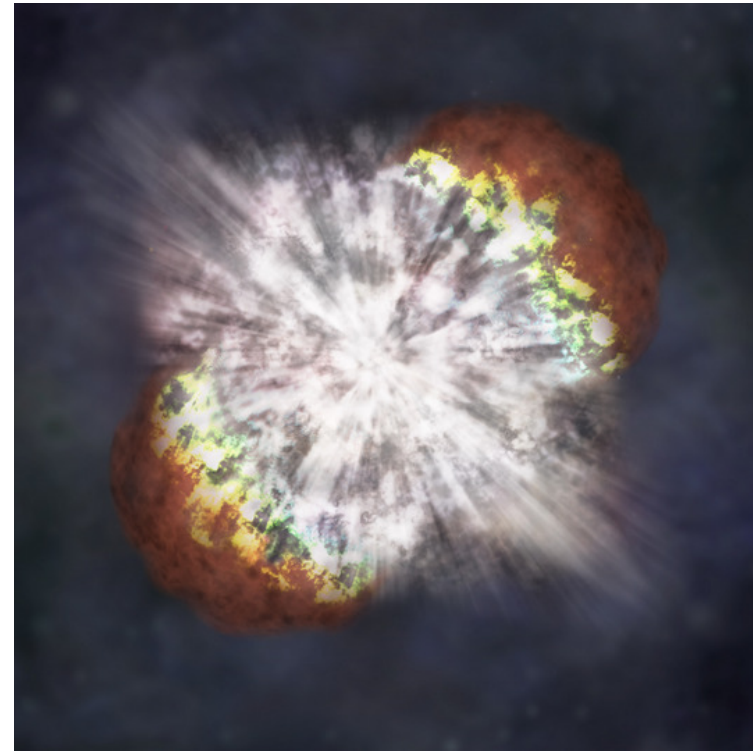
SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:
a galaxisok
spirálkarjaiban

kb 10 millió éves, nagy
tömegű csillagokból
keletkezik

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

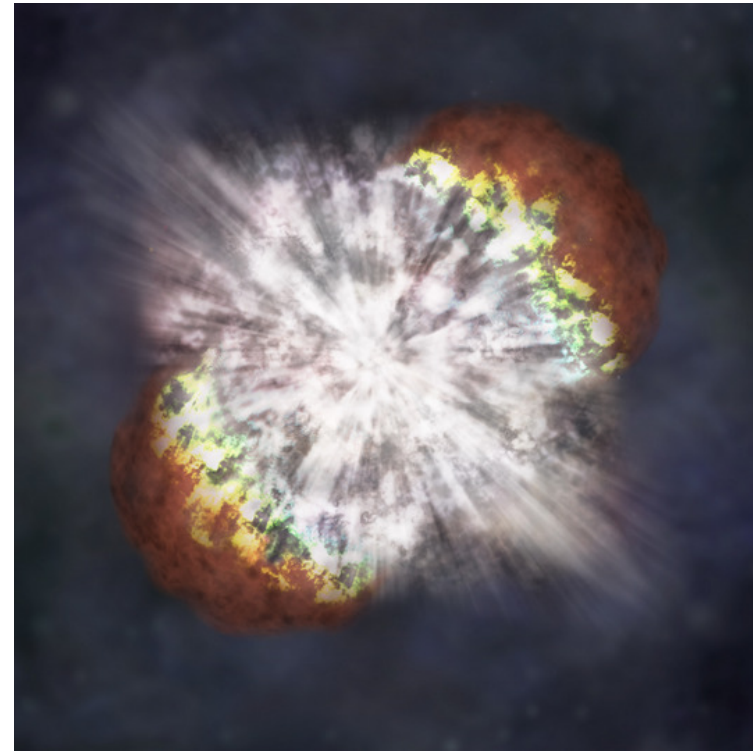
SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:
a galaxisok
spirálkarjaiban

kb 10 millió éves, nagy
tömegű csillagokból
keletkezik

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$



egy szupernova fantáziaképe

forró, fényes,
táguló gázfelhő

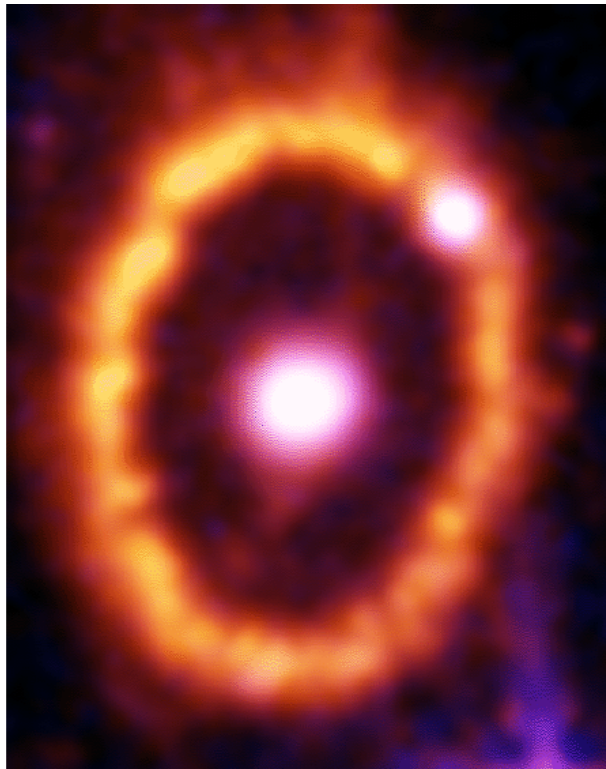
SZUPERNOVA

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

forró, fényes,
táguló gázfelhő

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

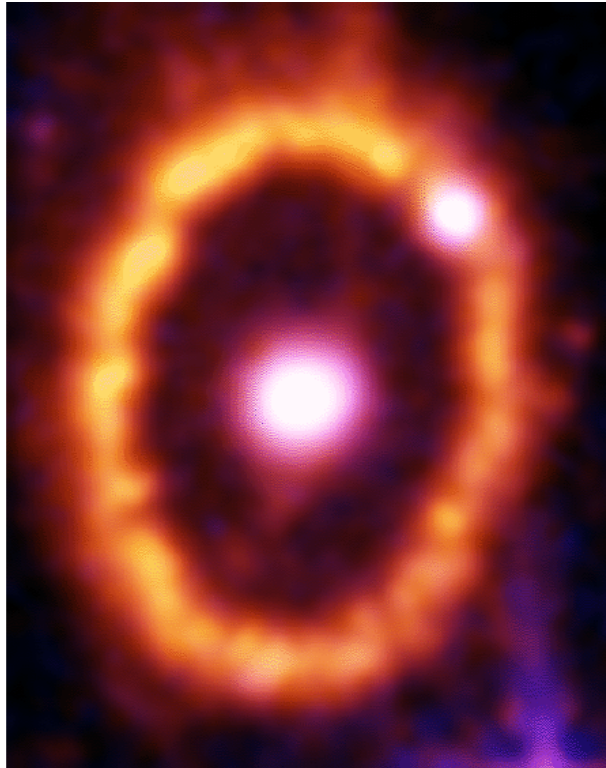
SZUPERNOVA



forró, fényes,
táguló gázfelhő

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

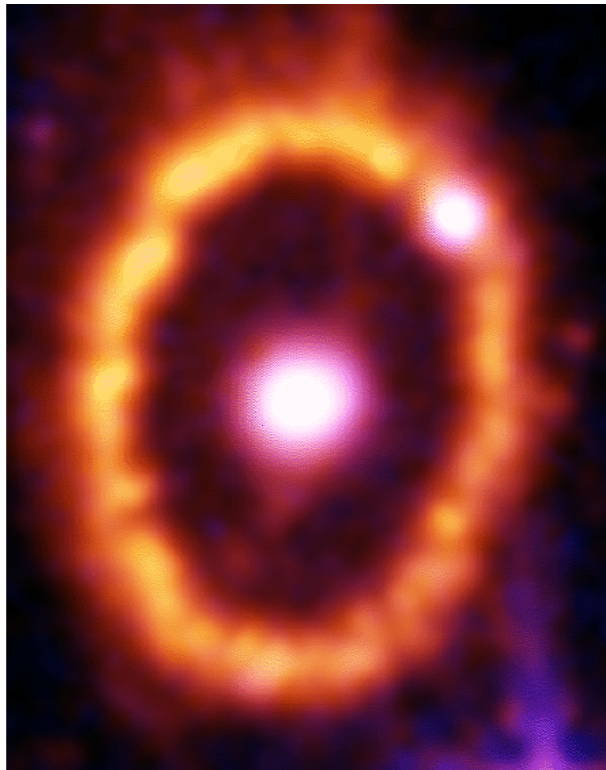
SZUPERNOVA



az 1987-es Magellán-ködbeli
szupernova 2005-ben

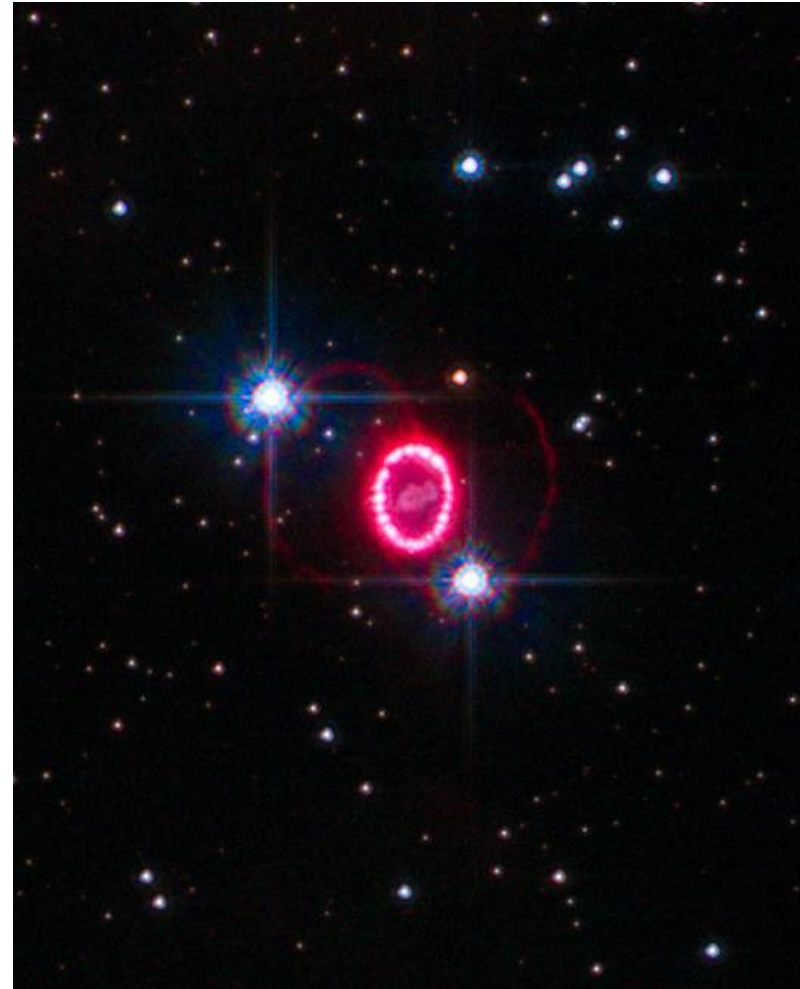
forró, fényes,
táguló gázfelhő

SZUPERNOVA



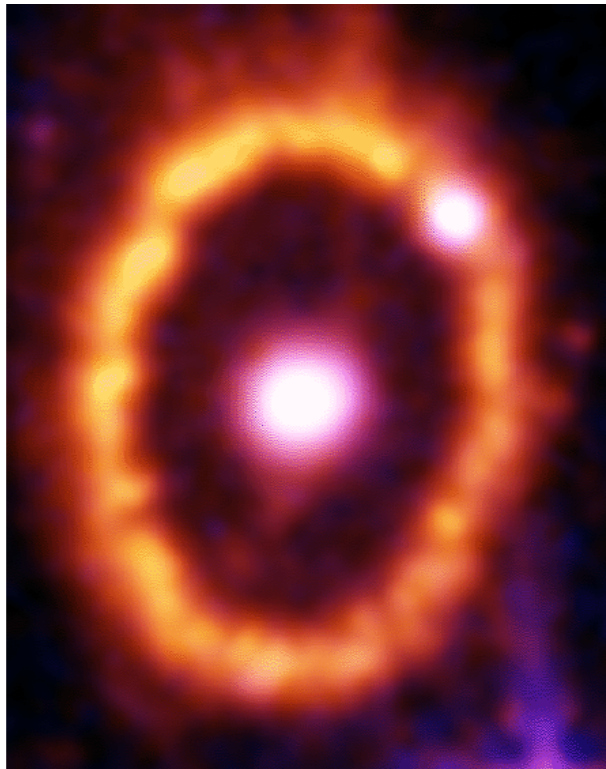
az 1987-es Magellán-ködbeli
szupernova 2005-ben

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$



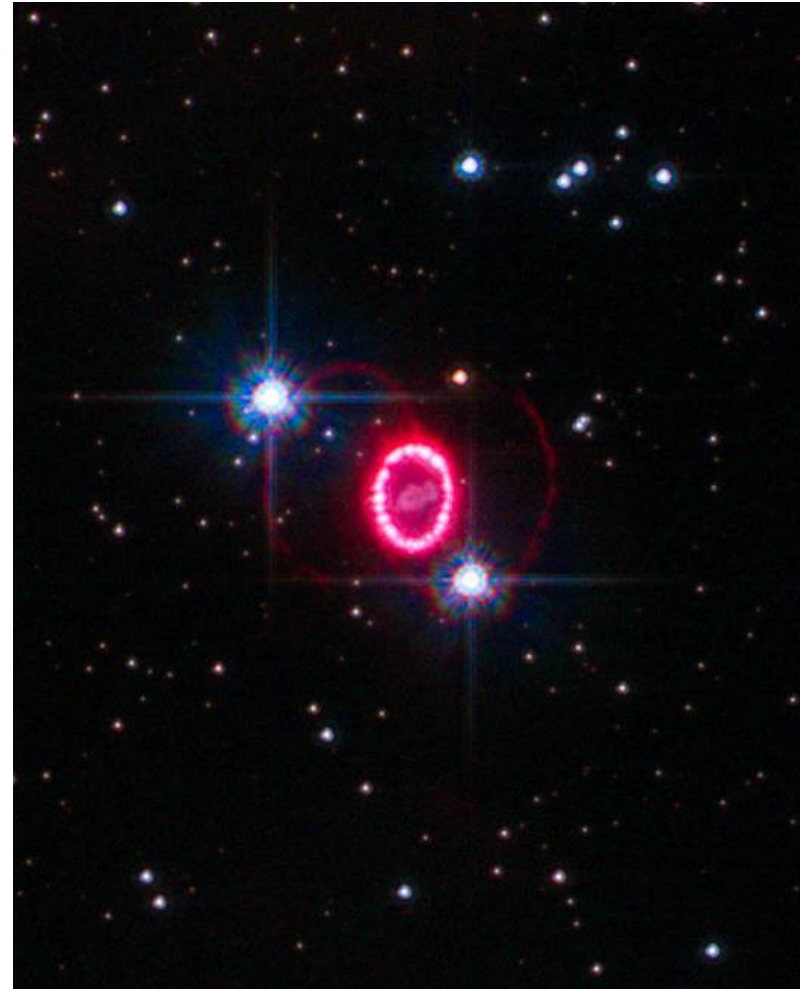
forró, fényes,
táguló gázfelhő

SZUPERNOVA



az 1987-es Magellán-ködbeli
szupernova 2005-ben

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$



az 1987-es Magellán-ködbeli
szupernova 2010-ben

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

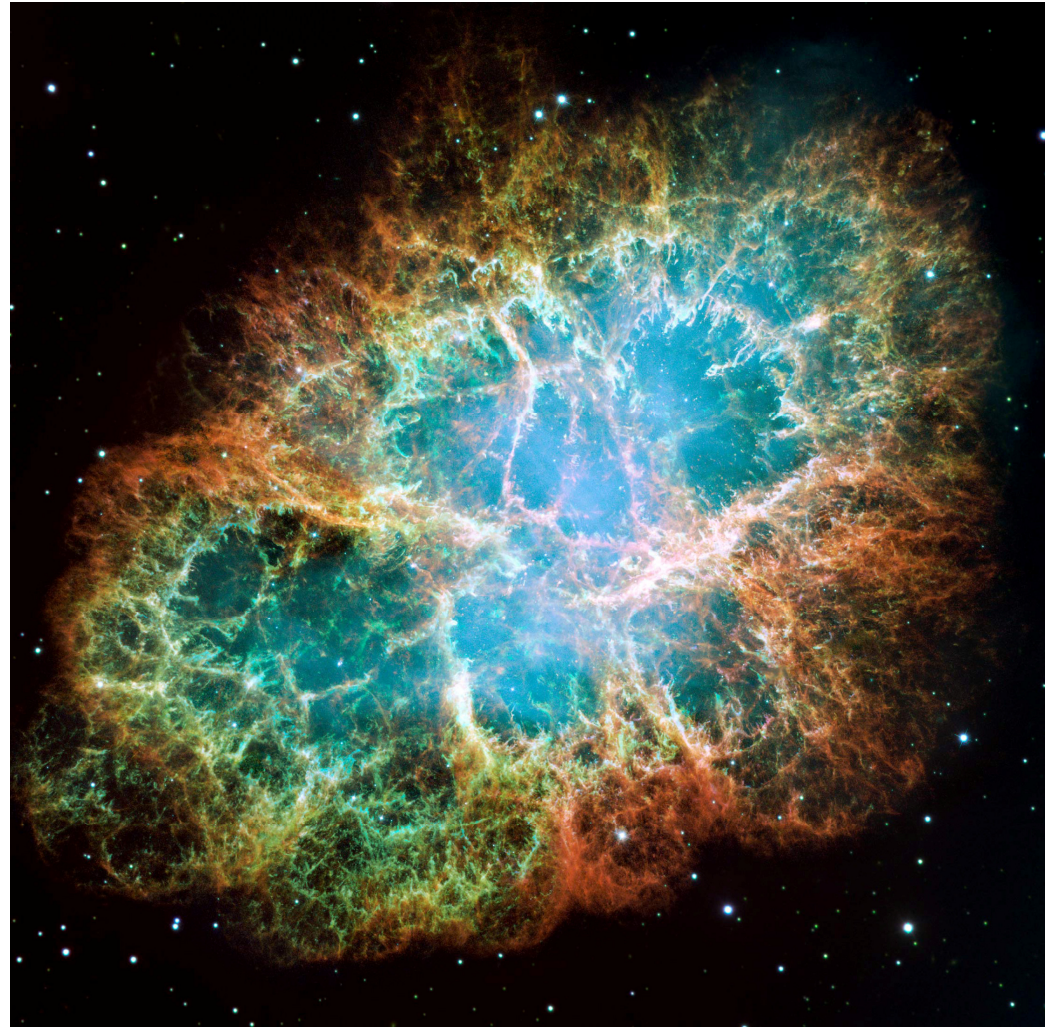
SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:
a galaxisok
spirálkarjaiban

kb 10 millió éves, nagy
tömegű csillagokból
keletkezik

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

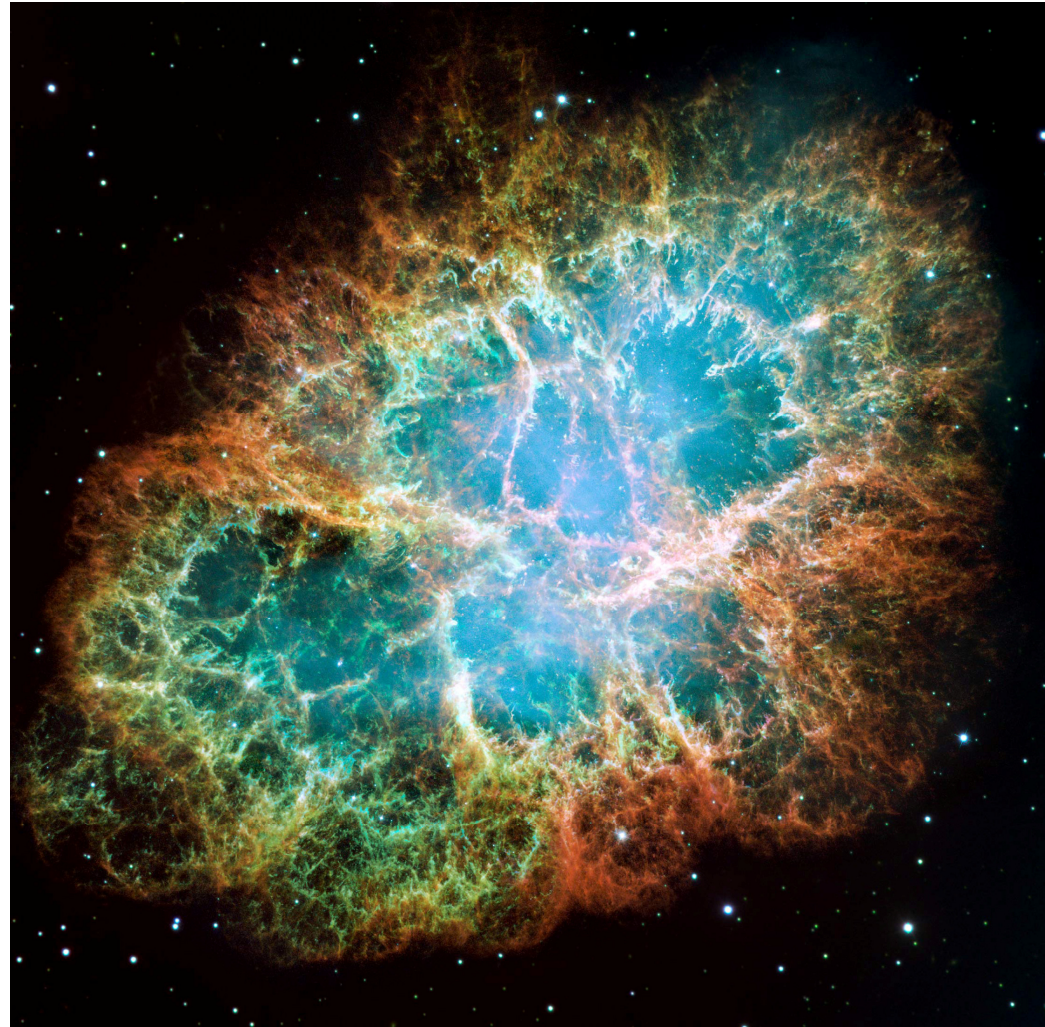
SZUPERNOVA

az itt leírt az ún. II.
típusú szupernova

lelőhelye:
a galaxisok
spirálkarjaiban

kb 10 millió éves, nagy
tömegű csillagokból
keletkezik

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$



a Rák-köd: szupernova-
maradvány 1000 év után

SZUPERNOVA



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**

urán-
bánya



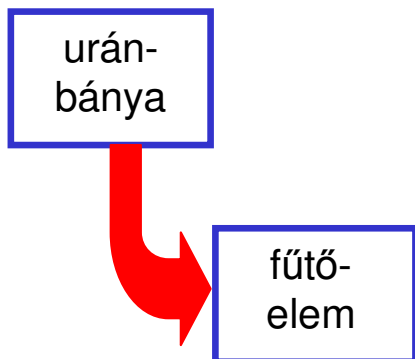
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



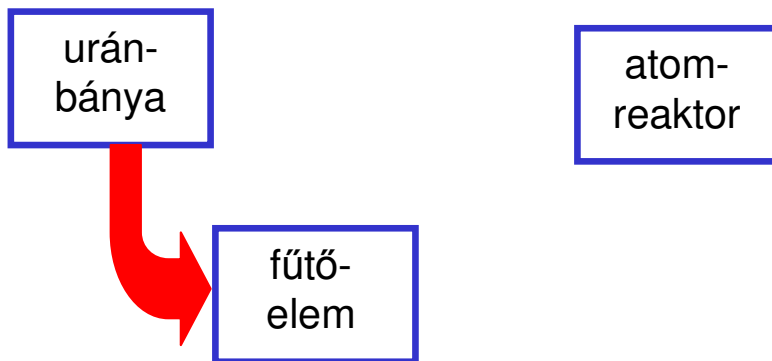
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



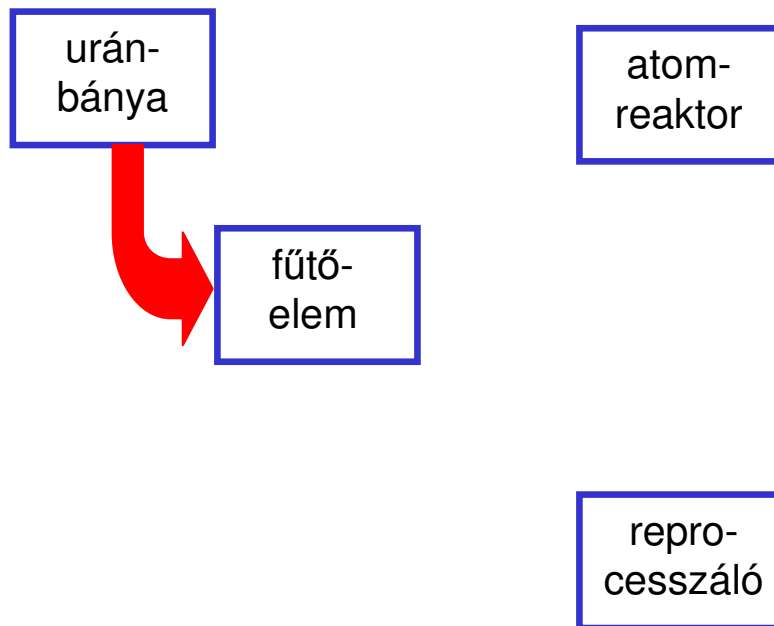
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



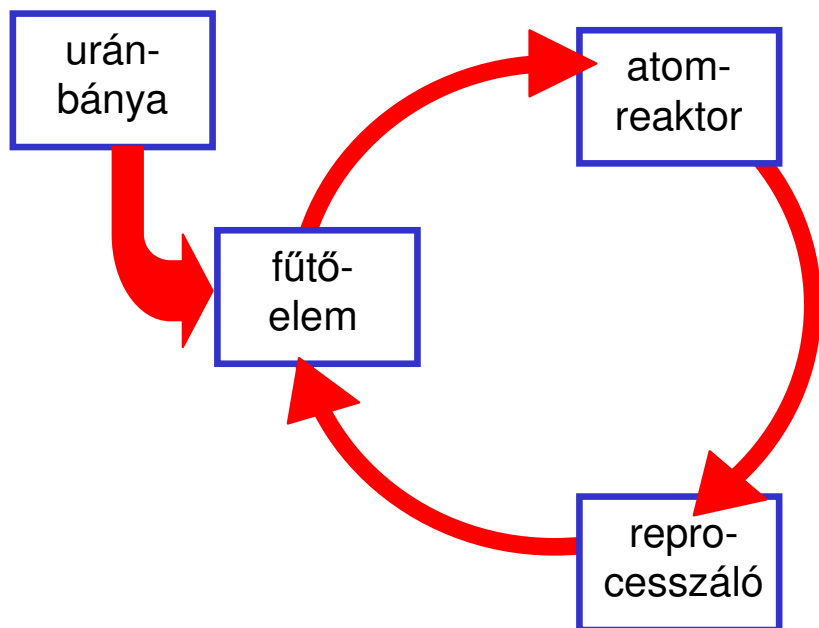
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



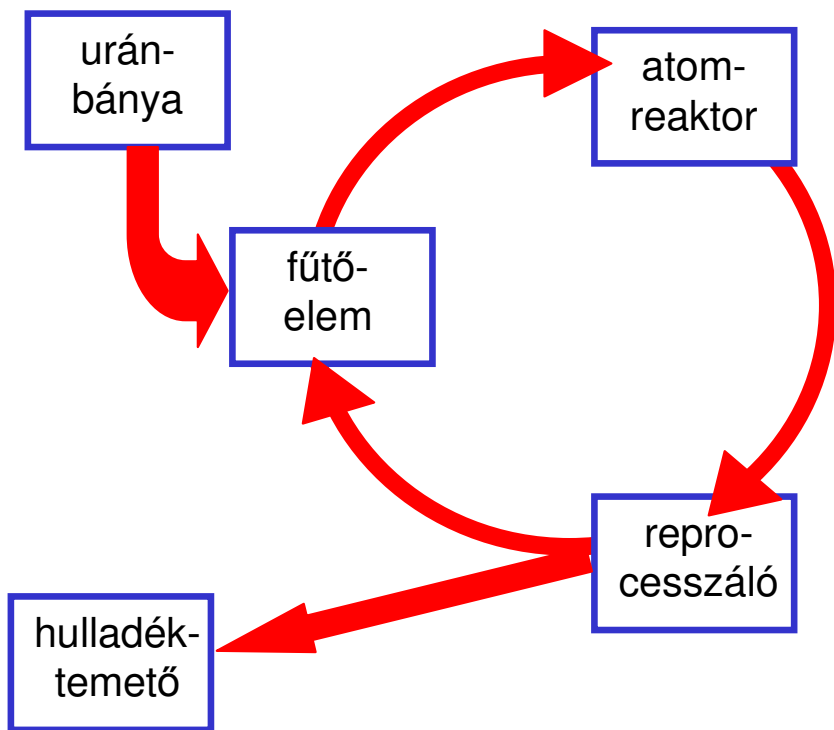
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



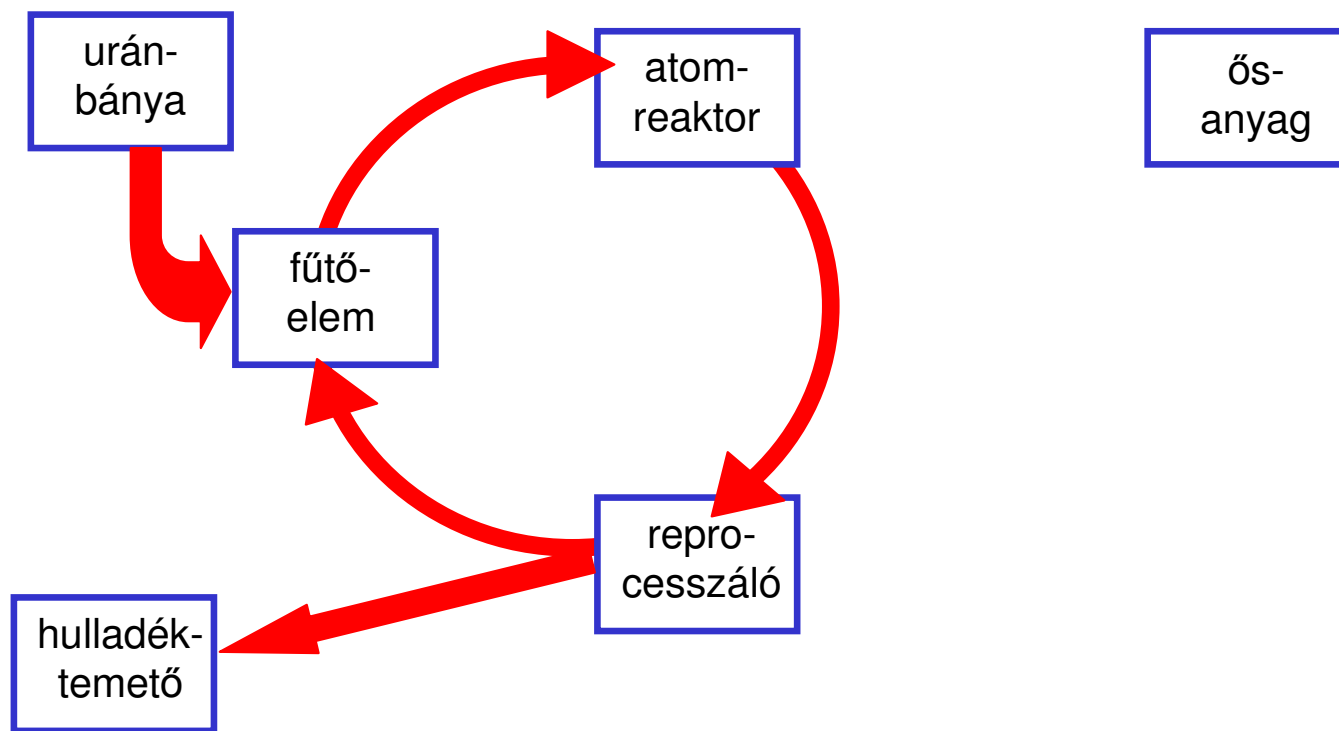
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



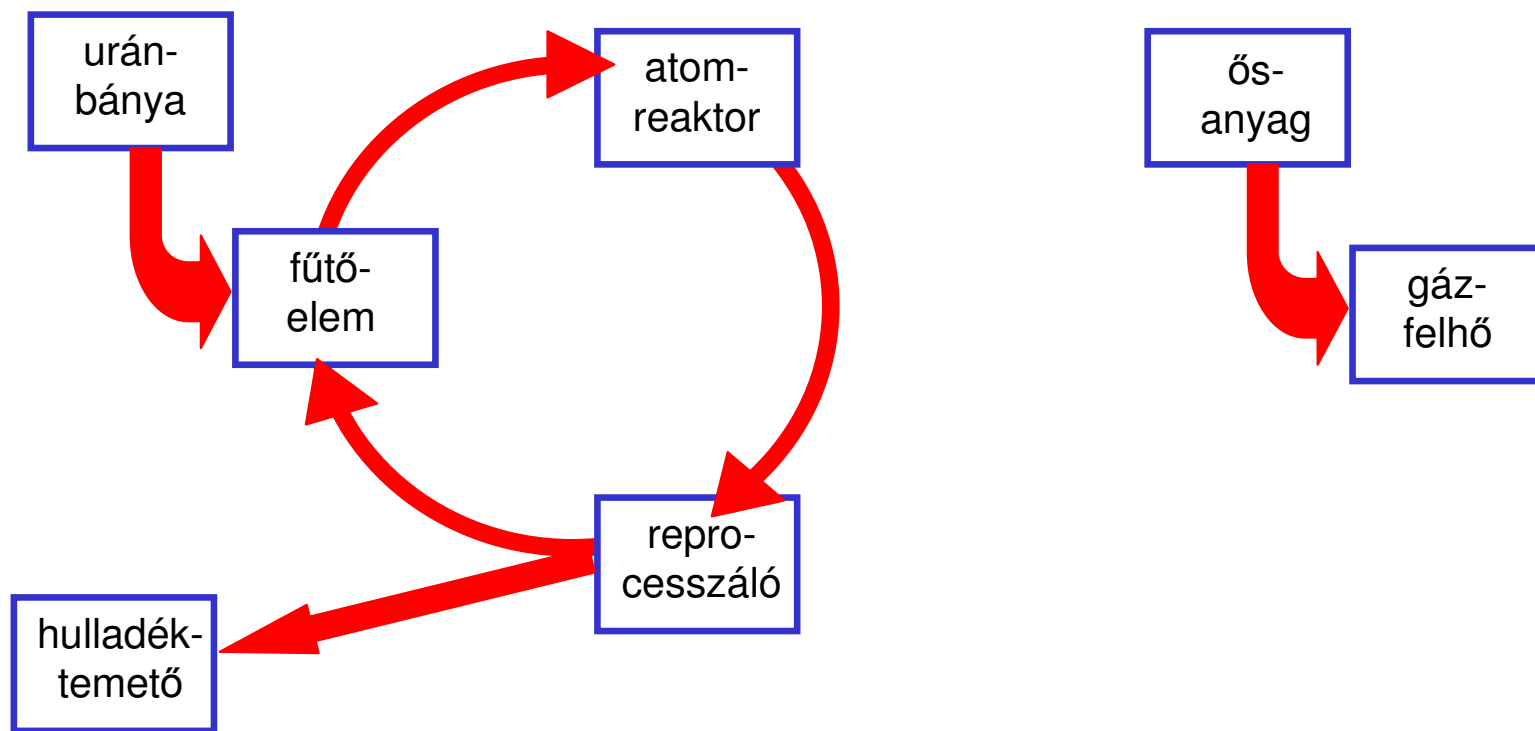
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



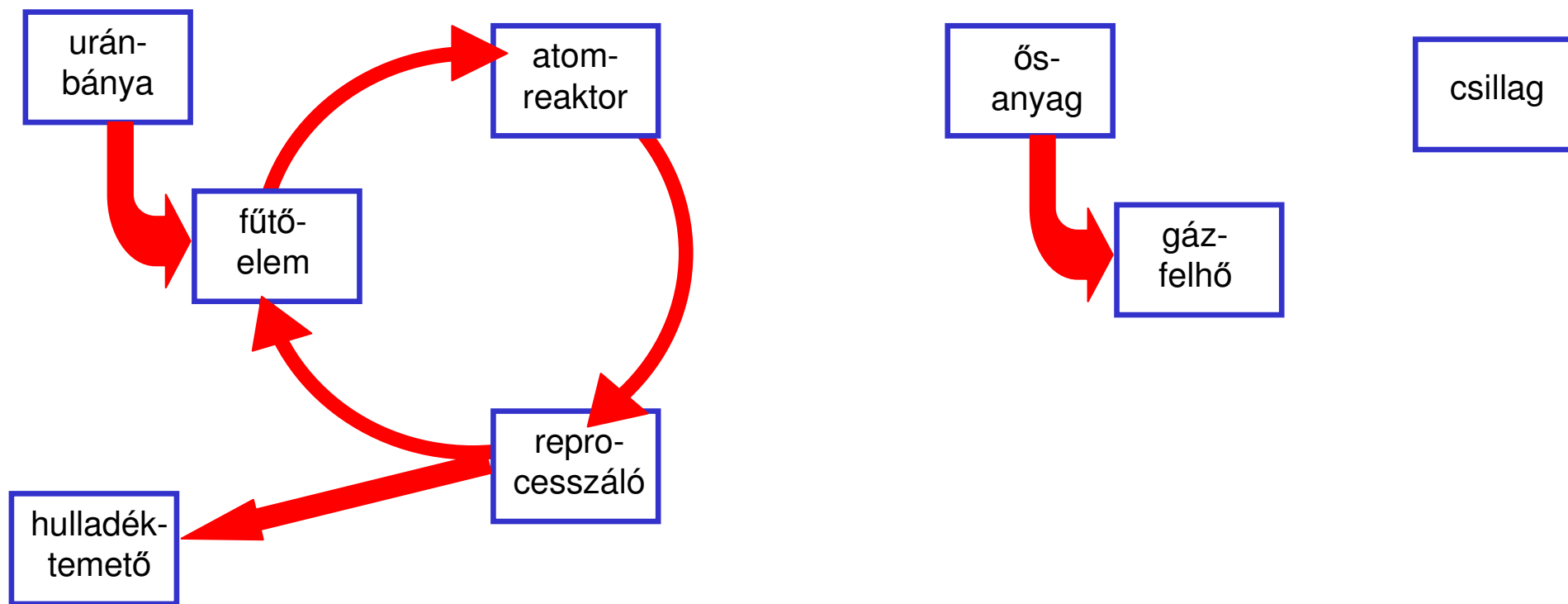
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



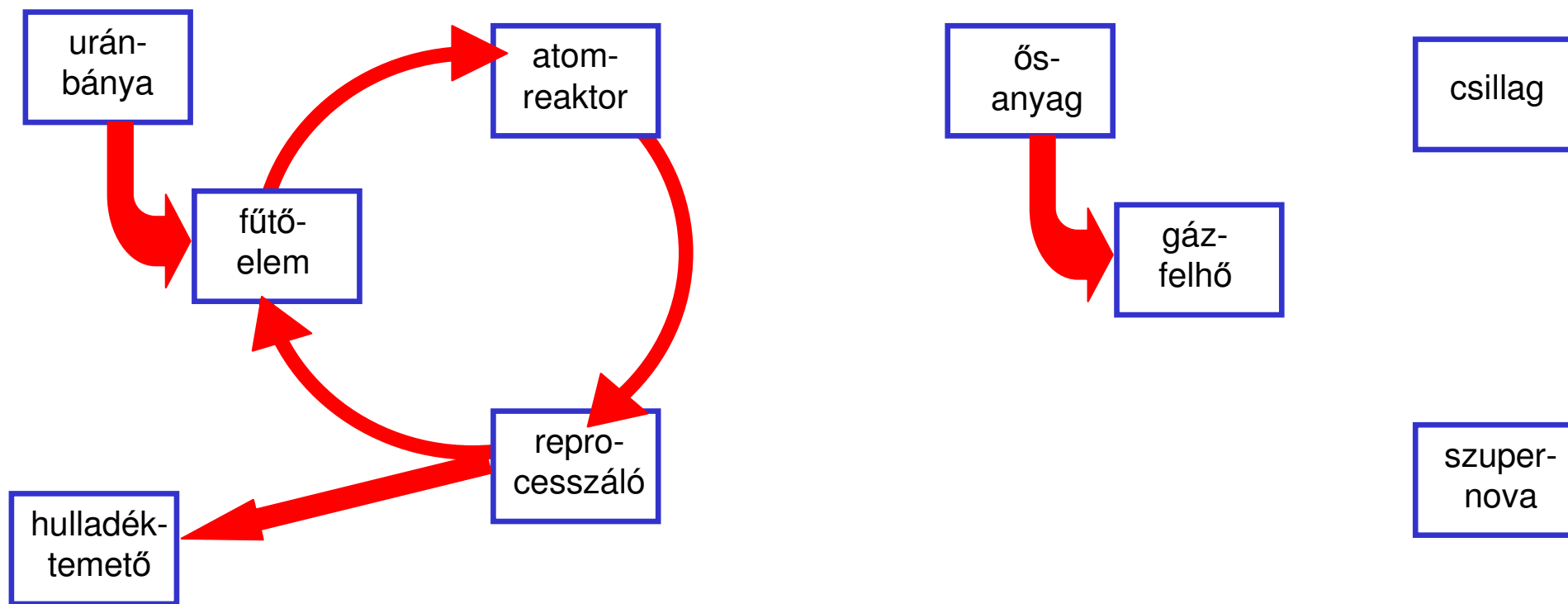
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



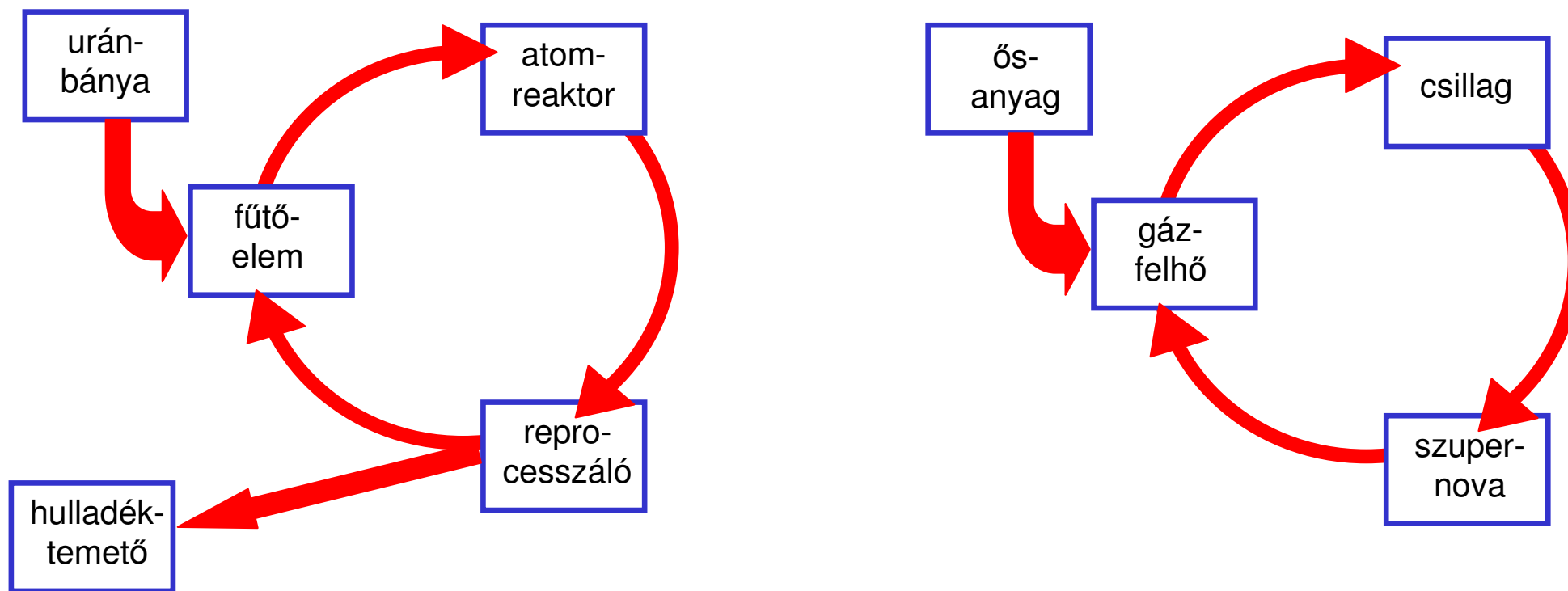
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



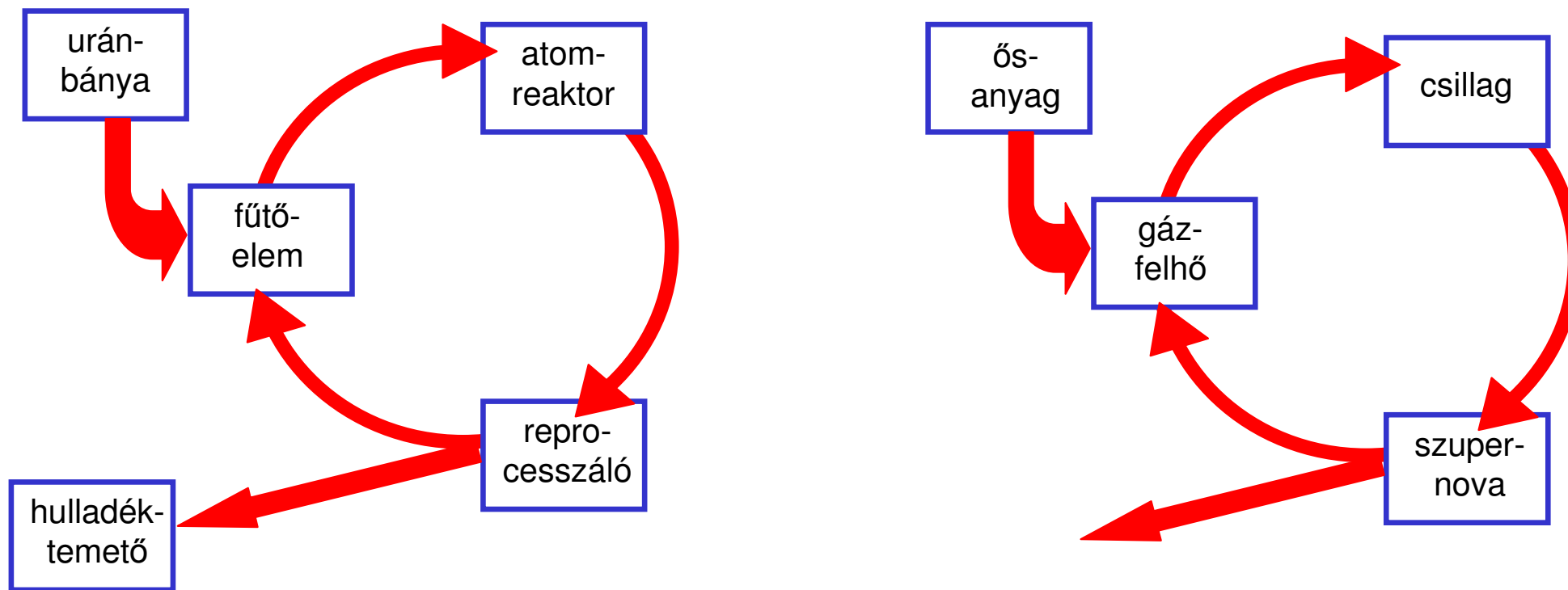
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



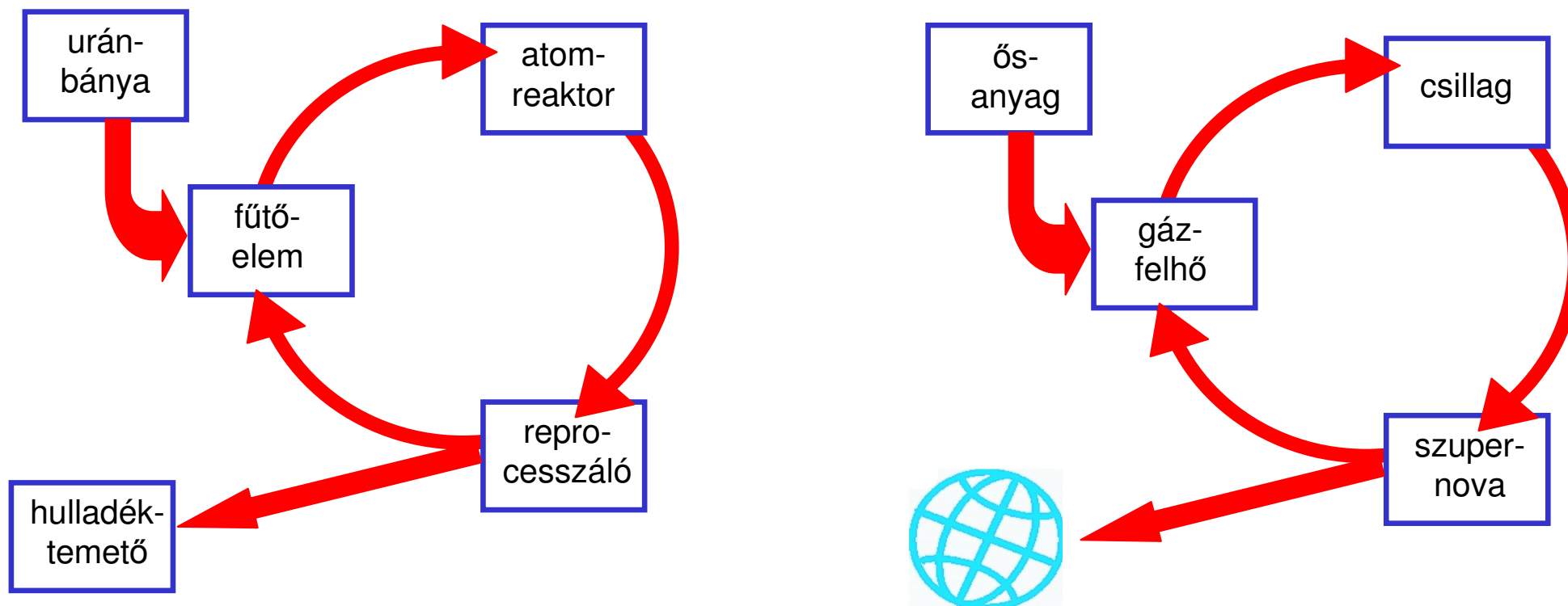
SZUPERNOVA a legnagyobb környezetszennyezés:

a felrobbanó csillag szétszórja a nehéz atommagokat az űrbe

a hűlő anyag elektronokat vesz fel:

atomokat, molekulákat, kristályokat alkot (az első szilárd anyag)

**ebből lesz a nehezebb elemekkel szennyezett gáz- és porfelhő:
a későbbi csillagok (köztük a Nap) alapanyaga**



forró, fényes,
táguló gázfelhő

SZUPERNOVA

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**A négy egymást követő
hűtési rendszer**

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

**A négy egymást követő
hűtési rendszer**

**sikeresen felhevítette a
csillag középpontját**

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer**

**sikeresen felhevítette a
csillag középpontját**

**kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra**



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer**

**sikeresen felhevítette a
csillag középpontját**

**kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra**

**– végül a rendszer
felrobbant...**



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer**

**sikeresen felhevítette a
csillag középpontját**

**kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra**

**– végül a rendszer
felrobbant...**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer
sikeresen felhevítette a
csillag középpontját
kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra
– végül a rendszer
felrobbant...**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer
sikeresen felhevítette a
csillag középpontját
kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra
– végül a rendszer
felrobbant...**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte



Mekk Elek ezermester

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer
sikeresen felhevítette a
csillag középpontját
kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra
– végül a rendszer
felrobbant...**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte



Mekk Elek ezermester



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer
sikeresen felhevítette a
csillag középpontját
kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra
– végül a rendszer
felrobbant...**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte



Mekk Elek ezermester



helyett: a gravitáció

**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer
sikeresen felhevítette a
csillag középpontját
kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra
– végül a rendszer
felrobbant...**

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte



Mekk Elek ezermester

helyett: a gravitáció



**forró, fényes,
táguló gázfelhő**

SZUPERNOVA

**A négy egymást követő
hűtési rendszer
sikeresen felhevítette a
csillag középpontját
kb 100 millió fokról kb
100 milliárd fokra
– végül a rendszer
felrobbant...**

Köszönöm a figyelmet!

$$L_{\text{SN}} \sim L_{\text{galaxis}} \sim 10^6 L_{\star}$$

E remek szerkezetet tervezte



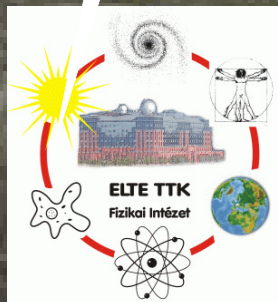
Mekk Elek ezermester

helyett: a gravitáció



Szupernova avagy a felrobbanó hűtőgép

(a csillagok
termodinamikája 3.)



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula
2013. 09. 19.

Szupernova

**avagy a
felrobbanó
hűtőgép**

**(a csillagok
termodinamikája 3.)**



Az atomoktól a csillagokig

Dávid Gyula

2013. 09. 19.

