

Asztrofizika

Fizika 11.

Csillagászat

2020. január 28.

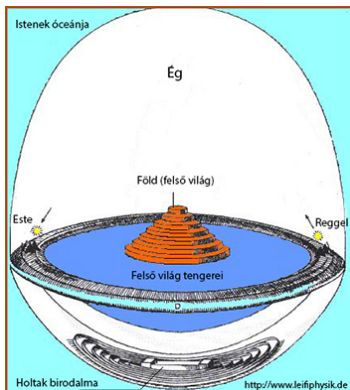
Tartalomjegyzék

- 1 A csillagászat története
 - Babilónia
 - Kína és Közép-Amerika
 - Ókori görögök
 - Kopernikusz
 - Tycho Brahe
 - Johannes Kepler
- 2 Helyünk a Világegyetemben
 - A Föld jellemzői
 - Égitestek a Naprendszerben
 - Tejútrendszer
 - Galaxiscsoportok
 - Szuperhalmazok
- 3 Az Univerzum élete
 - A csillagok élete
 - A Világegyetem múltja
 - Az Ősrobbanás
- 4 Irodalomjegyzék

A csillagászat története: Ókor

1. Babilónia

- Anu ősatya és Ki földistennő egységes létezését Enlil fiuk rézkéssel választotta szét, ez az égbolt pereme. A bolygók istenek, tüzes szekéren.
- Az égboltot 12 függőleges sávra osztották, bevezették az állatövi jegy fogalmát.
- A 24 órás nap és a 60 perces óra is tőlük származik.
- Ismerték a nap- és holdfogyatkozásokat.



1. ábra. Az eget egy sáturnak tekintették, melyen lámpások világítanak, ezek a csillagok.

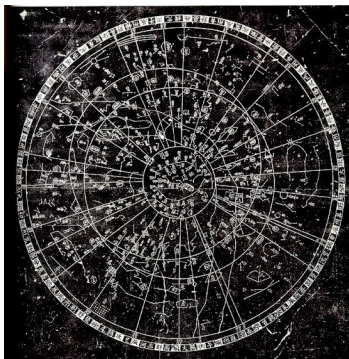
A csillagászat története: Ókor

2. Kína:

- Ki tudták számítani a fogyatkozások időpontját.
- A Földet gömbölyűnek és a Világmindenséget végtelennek tekintették.

3. Közép-Amerika:

- Naptárkészítésről nevezetesek.
- Kin – 1 nap
- Tun – 1 maja év (360 nap)
- Baktun – 400 tun
- Pictun – 20 baktun



2. ábra. Ókori ábrázolás a kínai csillagképekről. A csillagászok a császár szolgálatában álltak.

A csillagászat története: Ókor

4. Ókori görögök:

- Arisztarkhosz **meghatározta** a Hold és a Nap relatív méreteit és a tőlük mért távolságot.
- Eratoszthenész **meghatározta** a Föld területét.
- Ptolemaiosz a II. században megalkotta a geocentrikus világképet, melyben a Föld középen van és mozdulatlan, körülötte a kristályszférákban a bolygók, melyek egymáson gördülő körökön mozognak.

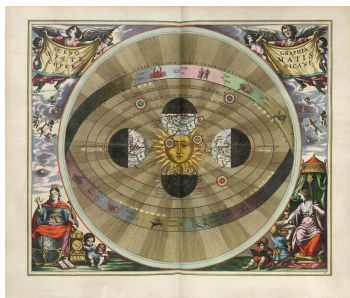


3. ábra. A geocentrikus világképben a bolygók epiciklusokon mozognak (összesen 40 db), a csillagok mozdulatlanok, mert látszólagos méretük és fényességük változatlan.

A csillagászat története: Újkor

5. Kopernikusz (1473 - 1543)

- Arisztarkhosz munkáját megismerve úgy gondolta, hogy a Nap sokkal nagyobb, mint a Föld, valamint a Nap körül mozognak az égitestek.
- Tökéletes köröket és 48 epiciklust használt.
- Andreas Osiander lutheránus papot bízta meg Nürnbergben irásának kiadásával, aki az előszóban az egészet egy hipotézisnek állította be.



4. ábra. Kopernikusz által megalkotott heliocentrikus világkép. Pontatlanabb volt a geocentrikusnál, de matematikailag egyszerűbbé tette a mozgások leírását a Napot középre helyezve.

A csillagászat története: Újkor

6. Tycho Brahe (1546-1601)

- Dániában született, 20 éven át pontos méréseket végzett a bolygók állásáról.
- Szerinte a Föld áll, ez a mindenség középpontja, körülötte kering a Hold és a Nap, utóbbi körül mozog minden más.
- 1597-ben Rudolf császár udvari csillagásza lett, asszisztense volt Kepler.



5. ábra. Tycho Brahe szupernóva és üstökös észleléseiből következtetett, hogy a bolygók között nincsen héjak és a külső világ is változhat.

A csillagászat története: Újkor

7. Kepler (1571-1630)

- Naptárakat, jóslatokat készített, 1600-ban Brahe asszisztense lett.
- Brahe halála után az adatokat újraszámolta a Nap körüli rendszerben.
- 1609-ben megtalálta a jó pályagörbét. Igazolta azt is, hogy napközelen a bolygók gyorsabbak. (I. és II. törvény)
- 1615-ben felírta a III. törvényt:

$$\frac{a^3}{T^2} = \text{állandó}$$



6. ábra. Johannes Kepler jött rá, hogy a bolygók nem kör, hanem ellipszis alakú pályákon mozognak.

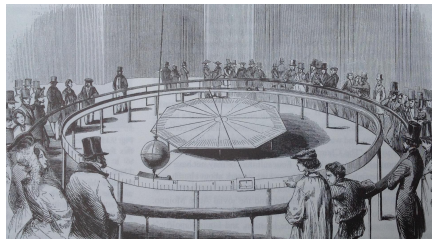
A Föld jellemzői

1. A Föld alakja és mérete

- Jó közelítés a gömb
- Forgási ellipszoid
- **Geoid**: elméleti földalak
- Egyenlítői sugár: 6378,1370 km
- Sarki sugár: 6356,7523 km

2. A Föld forgása:

- A Föld forog, vagy az égbolt?
- Kinematikailag mindegy, de dinamikailag nem.

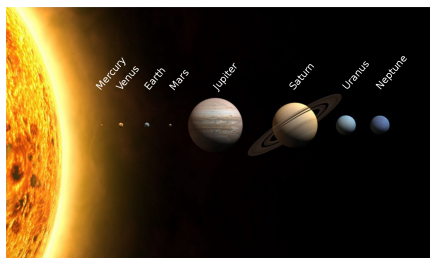


7. ábra. Léon Foucault francia fizikus fejlesztett ki, az ingát, mely a Földön maradvá bizonyítja a forgást. Úgy is tekinthető, hogy a Föld fordul el a lengő inga alatt.

Égitestek a Naprendszerben

3. Égitestek osztályozása

- Csillag: nukleáris folyamatban energiát termel, van saját fénye.
- Fő planetáris test: csillag körül keringenek, tömegük kisebb $13 M_J$ -nél. Nincs saját fényük.
 - ▶ Bolygó: közel gömb alakú, kitakarította a pályája környezetét. $D > 800$ km
 - ▶ Törpebolygó: közel gömb alakú és nem takarította ki környezetét. $D < 800$ km
- Hold: Más planetáris test körül kering, közös TKP a másikkban.



8. ábra. A Naprendszer relatív méretei. A teljes impulzusmomentum 99,5%-a a teljes tömeg 0,2%-át kitevő bolygókban van. A valós relatív **távolságok** a fenti képen nem valósak. A Naphoz közelebb vannak a kőzetbolygók, távolabb a gázbolygók.

A Naprendszer

- Kisbolygó: $D > 1$ km.
 - ▶ Aszteroida: kőzetből áll.
 - ▶ Űstökös: jégből áll, megközelíti a Napot.

Főleg két övben helyezkednek el:

- ▶ Aszteroida-öv: $a \sim 2-4$ AU. Ceres és 10^5 aszteroida.
 - ▶ Kuiper-öv: $a \sim 40-100$ AU. Pluto–Charon kettős törpebolygó, 10^3 kisbolygó.
- Meteoroid: 0,1 mm–1 km átmérőjű naprendszerbeli test; légkörben meteor, lent meteorit.
 - Kozmikus bolygóközi por.

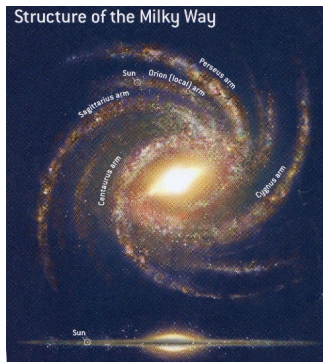


9. ábra. A Naprendszerben emberi szemmel nézve ritkán helyezkednek el a kisbolygók az aszteroidaövekben. Évtizedeket kellene várni, hogy meglássunk egy kisbolygót a másiktól.

Tejútrendszer

4. A Naprendszer helye

- Immanuel Kant (1724-1804) és William Herschel (1738-1822) vetette fel, hogy a Tejút halvány csillagokból áll, 2-3 kps méretű korong, a közepén lehetünk.
- Shapley 1916-ban igazolta, hogy kb. 30 kps átmérőjű és kifelé vagyunk félúton.
- A korábbi téves kép oka a csillagközi por fényelnyelése.



10. ábra. Kb. 100-400 milliárd csillag van a **Tejútrendszerben**. A Nap az ún. Orion karon található.

Galaxiscsoportok

5. A Tejútrendszeren kívül

- 1920-ban a Shapley-Curtis vitában az a kérdés léteznek-e a Tejúton (görögül Galaxis) kívül további galaxisok.
- 1923-ban Hubble az Androméda-ködben észlelt egy csillagot 750 kpc-re.
- A galaxisok általában is csoportokba rendeződnek, gravitációsan kötöttek.

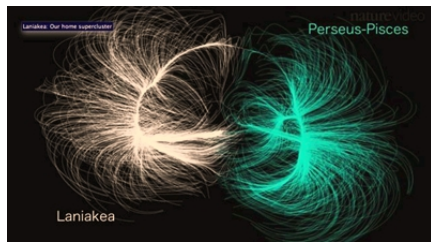


11. ábra. A Tejút, az Androméda-galaxis és a szomszédos kb. 30 galaxis alkotja a Lokális csoportot.

Szuperhalmazok

6. A szuperhalmazok

- Három vagy több galaxiscsoportból áll össze, kb. 10 millió létezik belőle.
- Ez az elméletileg lehetséges, és az eddigi megfigyelések szerint is legnagyobb struktúra az Univerzumban.
- A Lokális csoport része az 520 millió fényév átmérőjű Laniakea¹ szuperhalmaznak.



12. ábra. A Laniakea és a vele szomszédos Perseus–Pisces-szuperhalmaz. További közeli szuperhalmazok: a Shapley-, a Hercules- és a Coma-szuperhalmaz.

¹A *Laniakea* hawaii nyelven azt jelenti: „mérhetetlenül hatalmas égbolt”.

A csillagok élete

1. A csillagok keletkezése

- A csillagközi por- és gázfelhőiből² keletkeznek, annak gravitációs összehúzódása révén.
- A gravitációs erő pozitív előjelű munkát végez, a részecskék mozgási energiáját növeli az összehúzódás.
- Ez nagyobb hőmérsékletet jelent, az anyag felforrósodik.



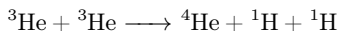
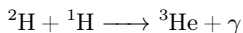
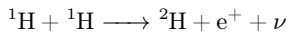
13. ábra. Kis kezdeti tömeg esetén lehet csak egy gázbolygó keletkezni, de megfelelő tömegnél annyira felmelegedhet, hogy beindul a fúzió.

²Általában 75% hidrogén és 25% hélium.

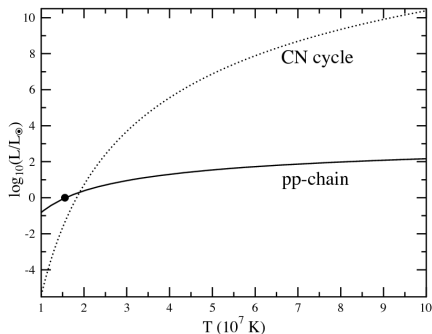
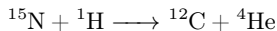
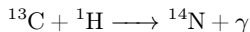
A csillagok élete

2. Energiatermelés

- Proton-proton ciklus:



- CNO ciklus

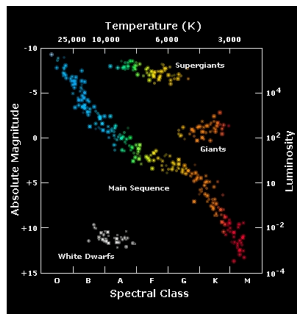


14. ábra. A csillagok belsejében a hidrogén héliummá fúzionál, közben energia szabadul fel. A reakciók hatékonysága függ a hőmérséklettől.

A csillagok élete

3. A csillagok osztályozása

- A csillagok változatosak, de nem akármilyenek.
- Születés után a fősorozatra kerülnek, bennük a hidrogén héliummá fuzionál.
- Nem mozognak először a diagramon, de a kezdeti tömegtől függően több irányba is elindulhatnak.

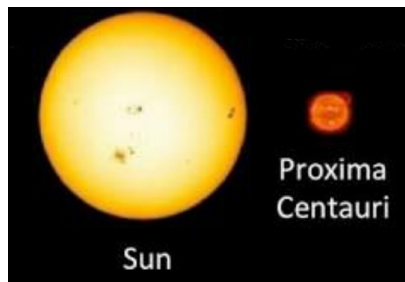


15. ábra. A Hertzsprung–Russell-diagramon balra a hőmérséklet, míg felfelé a fényintenzitás nő. A jobb felső sarok felé a méret, a bal felső sarok felé a tömeg nő.

3. A csillagok osztályozása: Vörös törpék

a.) Vörös törpék

- A főszorozat legkisebb tömegű csillagai: $7,5 - 50\% M_{\odot}$
- $T_{\text{felszín}} = 2500 - 4000 \text{ K}$
- $T_{\text{mag}} = 3 - 5$ millió K
- Lassan égeti az üzemanyagát, $10^{10} - 10^{12}$ évig él. A gravitációt a sugárnyomás ellensúlyozza.
- A hidrogén a külső részről beáramlik a magba, a hélium kívülre kerül, szinte az összes hidrogént elfogyasztja.



16. ábra. A két hozzánk legközelebbi csillag: a Nap³ és a Proxima Centauri, ez utóbbi egy vörös törpe. A HRD jobb alsó részén található.

³A Nap 5800 K felszíni hőmérsékletű, míg a magja 15,7 millió K.

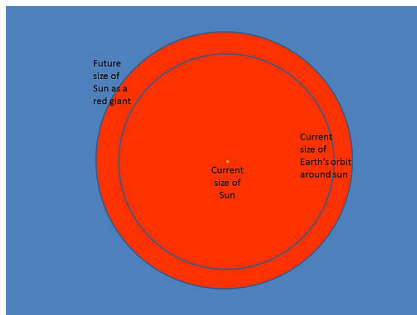
3. A csillagok osztályozása: Nap-típusú csillagok

b.) Nap-típusú csillagok

- A főszorozat közepe: $0,5 - 8 M_{\odot}$
- A magban sok lesz a hélium, a reakciók lassulnak, a csillag összehúzódik. Ismét felmelegszik és beindul a tripla- α folyamat:

$${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \longleftrightarrow {}^8\text{Be}$$

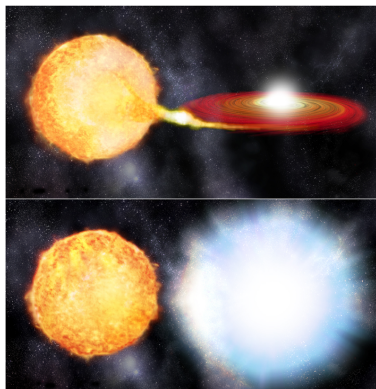
$${}^8\text{Be} + {}^4\text{He} \longrightarrow {}^{12}\text{C} + \gamma$$
- Akár 100-szorosra növekszik és vörös óriás lesz. Ekkor ellökheti magától anyaga egy részét.



17. ábra. A Napból 7,59 milliárd év múlva vörös óriás lesz és a Vénuszt, vagy akár a Földet is bekebelezheti.

3. A csillagok osztályozása: Nap-típusú csillagok

- Egy vörös óriás nagy széntartalmú magja fehér törpeként él tovább.
- Nincs fúzió, a sugárnyomás helyett a Pauli-taszítás ellensúlyozza a gravitációt.
- Ha elegendő a tömeg, vagy tömeget szerez, akkor felrobban és vas (vagy hasonló rendszámú) elemek keletkeznek.
- Ez a szupernóva mindig azonos fényességű → standard gyertya

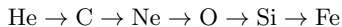


18. ábra. Ha a fehér törpe anyagot szív magába, akkor $1,44 M_{\odot}$ -nél Ia típusú szupernóvaként felrobban.

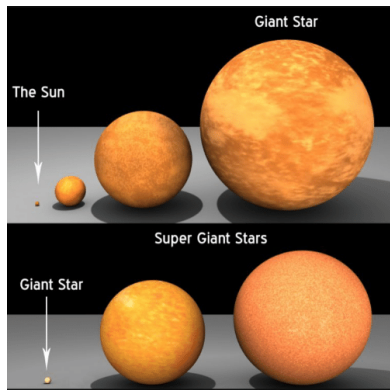
3. A csillagok osztályozása: Szuperóriás csillagok

c.) Szuperóriás csillagok

- HRD főág bal felső része
- Főleg fehéres-kékes színűek.
- Réteges mag, ahol egyre nehezebb elemek születnek:



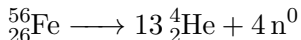
- A vas fúziója már energiabefektetést igényelne.



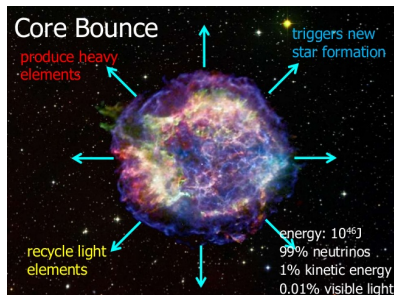
19. ábra. A szuperóriások a vörös óriásokhoz képest is óriásiak.

3. A csillagok osztályozása: Szuperóriás csillagok

- A szuperóriás magjában lévő vas elkezd a nagy hőmérsékleten szétesni:

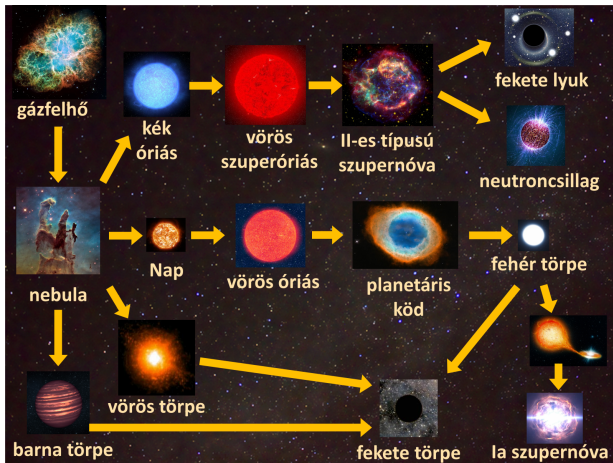


- A neutronok a külső rétegekbe kerülnek, és a nagy tömeg a vasmagnak zúdul és visszapattan, közben az óriási felszabaduló hő miatt egyéb reakciók is lezajlanak.



20. ábra. A II-es típusú szupernovák következményei. A periódusos rendszer vasnál nehezebb ($Z > 26$) elemei mind szupernóvarobbanásban jöttek létre.

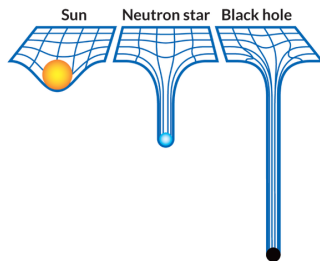
A csillagok életútja: Összefoglalás



21. ábra. A csillagok lehetséges életútja. A tömeg határozza meg a sorsukat.

Neutroncsillagok, fekete lyukak

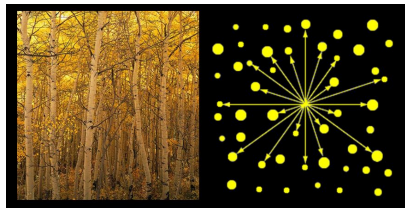
- II-es típusú szupernóva robbanás után visszamaradt anyag összenyomódhat.
- A neutronokra is érvényes a Pauli-elv, ez ellentart a gravitációnak, kb. atommag sűrűségű gömb jön létre $1,44$ és $3 M_{\odot}$ között
- Ennél nagyobb tömeg esetén már a Pauli-taszítást is legyőzi a gravitáció, és a felszínén a szökési sebesség eléri a fénysebességet.



22. ábra. A neutroncsillagot tévesen egy óriási atommagnak is mondják. A fekete lyuk körül a téridő görbülete olyan nagy, hogy sem az anyag, sem a fény nem tud kijönni.

Az Olbers-paradoxon

- A csillagok nem zuhannak egymásba, mert végtelen sok van körülöttünk, minden irányba húzzák egymást.
- Végtelen csillag esetén éjszaka is világos lenne.
- A csillagközi por az elnyeléstől felmelegedne és szintén sugározna.
- Ha nincs végtelen csillag, miért nem zuhannak össze?

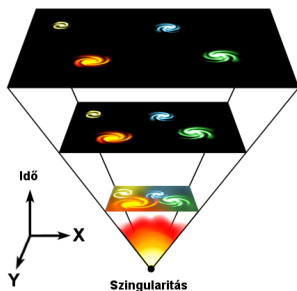


23. ábra. A végtelen és statikus Univerzum fénye éjszaka is nagyon fényessé kellene hogy tegye az égboltot. Így végesnek kell lennie és folyamatosan tágulnia kell.

Az Ősrobbanás

- Georges Lemaître (1894–1966) belga pap dolgozta ki 1931-ben.
- A galaxisok színeképvonalai elvannak tolódva a vörös felé, mert távolodnak.
- Nincs kitüntetett hely az Univerzumban, mindenki ugyanazt a tágulást érzékeli a Hubble-törvény szerint:

$$v = H \cdot d \quad H = 72 \frac{\text{km}}{\text{s Mpc}}$$



24. ábra. Az anyag sűrűsége csökken, de a számítások szerint 13,8 milliárd éve minden pontban végtelen volt a sűrűség, ez az Ősrobbanás. Nem az anyag repül szét, hanem a tér tágul.

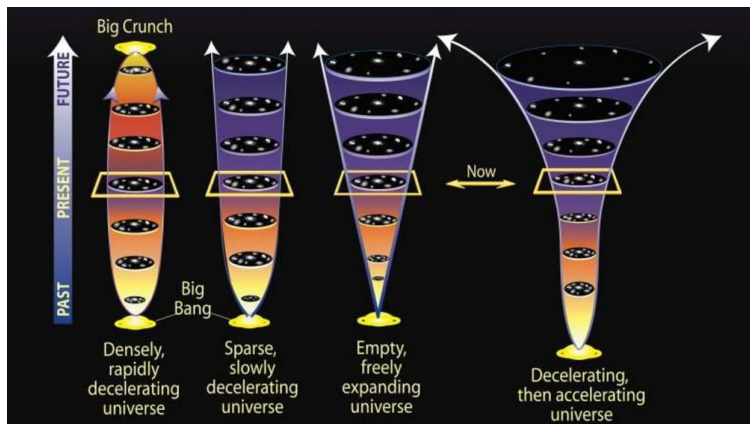
Kozmikus mikrohullámú háttérsugárzás

- Radarok az ég felé fordítva egy folyamatos zajt mértek.
- 1948-ban Gamow és társai az Ősrobbanás miatt egy háttérsugárzást jósoltak.
- 1963-ban Arno Penzias és Robert Woodrow Wilson rádiócsillagászok kimérték a háttérsugárzást.
- 2,725 K hőmérsékletű feketetest-sugárzás.



25. ábra. Az Ősrobbanásból származó mikrohullámú háttérsugárzás térbeli hőmérséklet-ingadozásai.

Az Univerzum jövője



26. ábra. Konstans táguló, összeroppanó, gyorsulva táguló is lehet az Univerzum, jelenleg az állandó méretet a megfigyelések cáfolják.

Irodalomjegyzék

- Prof. Kristóf Petrovay: [Bevezetés a csillagászatba](#)
- Csizmadia Szilárd: [Az Univerzum szerkezete](#)
- E.G. Adelberger, A.B. Balantekin, D. Bemmerer, C.A. Bertulani, J.-W. Chen, H. Costantini, M. Couder, R. Cyburt, B. Davids, S.J. Freedman: [Solar fusion cross sections II: the pp chain and CNO cycles](#)
- Vass Miklós: [Netfizika: Csillagok, csillagfejlődés](#)