

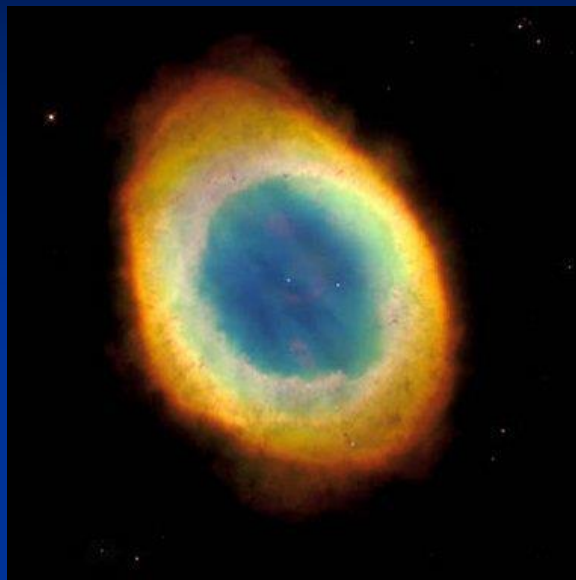
Свездена еволуција: Раѓање, живот и смрт на СВЕЗДИТЕ

John R. Percy

*International Astronomical Union
University of Toronto, Canada*



Еволуција на ѕвездите



- Кога зборуваме за ѕвездена еволуција, мислиме на промените што се случуваат кај ѕвездите додека трошат „гориво“, од нивното раѓање, низ нивниот долг живот, па сè до нивната смрт.
- Разбирањето на еволуцијата на ѕвездите им помага на астрономите да ја разберат:

Прстенеста маглина, ѕвезда што умира

Извор : NASA

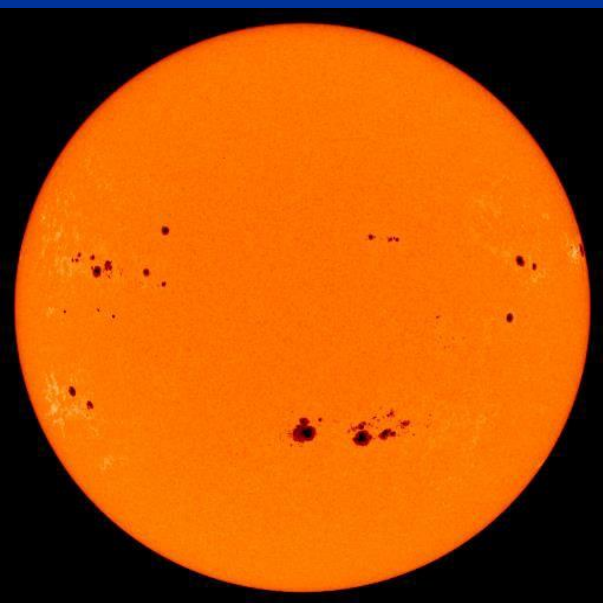
- Природата и идната судбина на нашето Сонце.
- Потеклото на нашиот Сончев систем.
- Како да го споредуваме нашиот Сончев систем со другите планетарни системи.
- Дали може да има живот на друго место во универзумот.



Својства на Сонцето: најблиската ѕвезда

и како астрономите ги мерат – важно!

- Растојание: $1,5 \times 10^{11}$ m, рефлектирајќи радарски бранови од Меркур и Венера
- Маса: 2×10^{30} kg, мерење на движењето на планетите што ротираат околу Сонцето



- Дијаметар: $1,4 \times 10^9$ m, од аголний дијаметар на Сонцето и неговото растојание.
- Моќност: 4×10^{26} W, од растојанието и измерената моќност од Земјата
- Хемиски состав: 98% водород и хелиум, проучувајќи го неговиот спектар.

Сонцето.

Извор: NASA SOHO Satellite



Својства на ѕвездите - далечни сонца и како астрономите ги мерат – важно!

- **Растојание:** од паралаксата или од привидниот сјај ако е позната моќноста.
- **Моќност:** од растојанието и привидниот сјај.
- **Површинска температура:** од бојата или спектарот.
- **Радиус:** од моќноста и површинската температура.
- **Маса:** користејќи ги набљудувањата на бинарни ѕвезди.
- **Хемиски состав:** од ѕвездени спектри

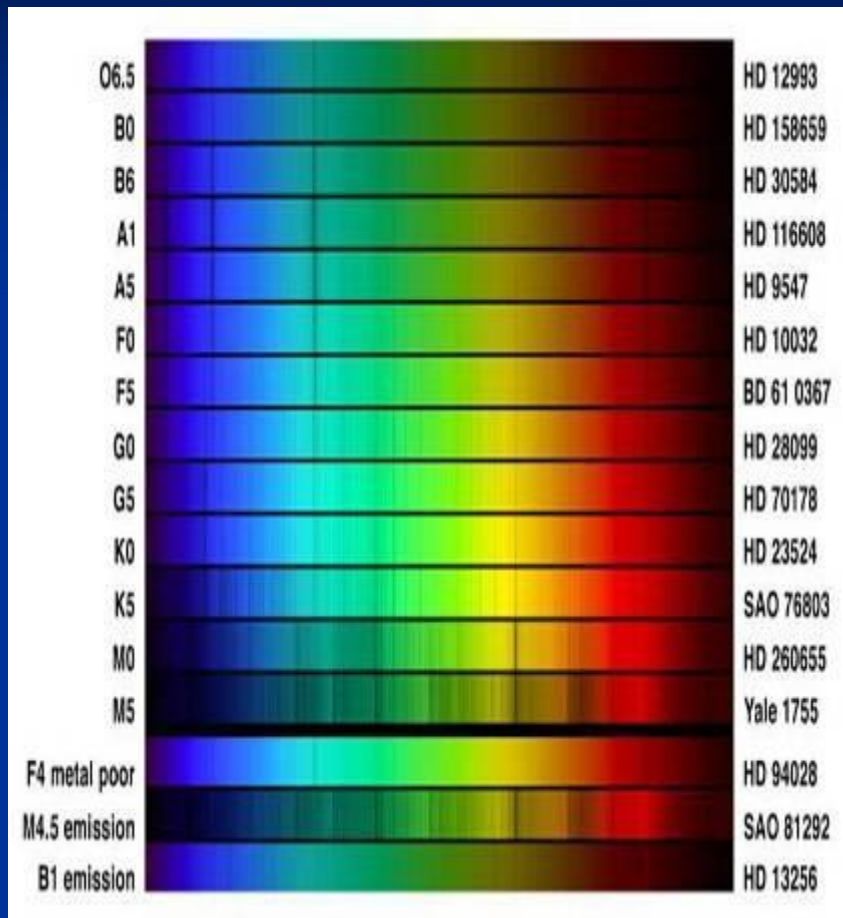


Созвездие Орион.
Извор: Hubble, ESA, Akira Fujii



Спектрите на ѕвездите:

ѕвездена светлина, разделена по бои



- Астрономите учат за астрономските извори проучувајќи ја светлината што тие ја емитуваат
- Спектарот дава информации за составот, температурата и другите својства на ѕвездите.

Лево: првите 13 спектри на ѕвезди со различни површински температури (највисоката на врвот); последните три спектри се земени од ѕвезди со посебни својства.

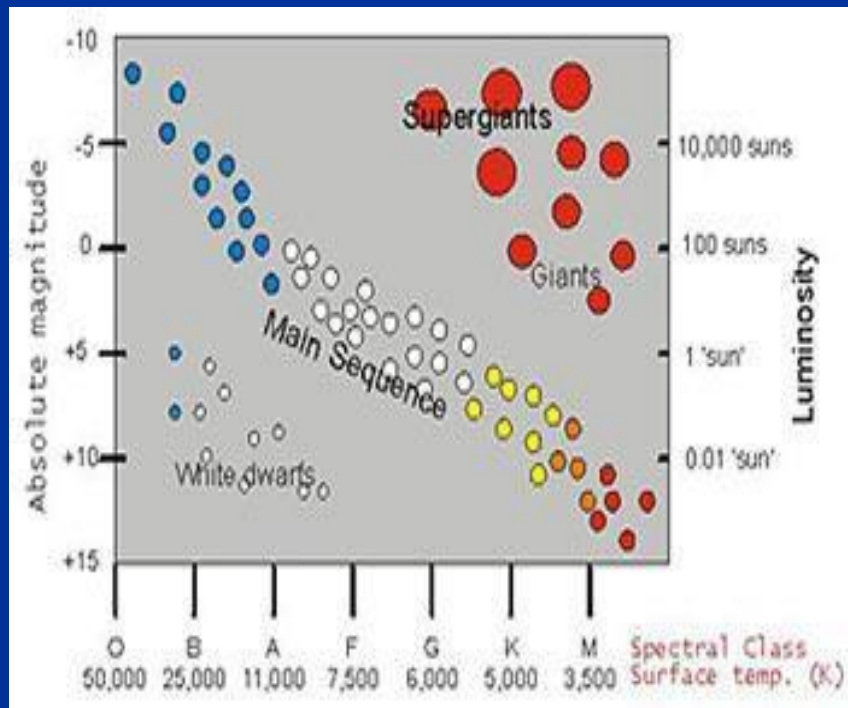
Ѕвездени спектри
Извор: US National Optical Astronomy
Observatory



Херцшпруг-Раселов дијаграм

Постои ред во својствата на ѕвездите!

- Херцшпруг-Раселовиот (HR) дијаграм ја покажува моќноста (осветленоста) како функција од температурата (спектралната класа); ординатата „апсолутна магнитуда“ е логаритамска мерка на моќност.

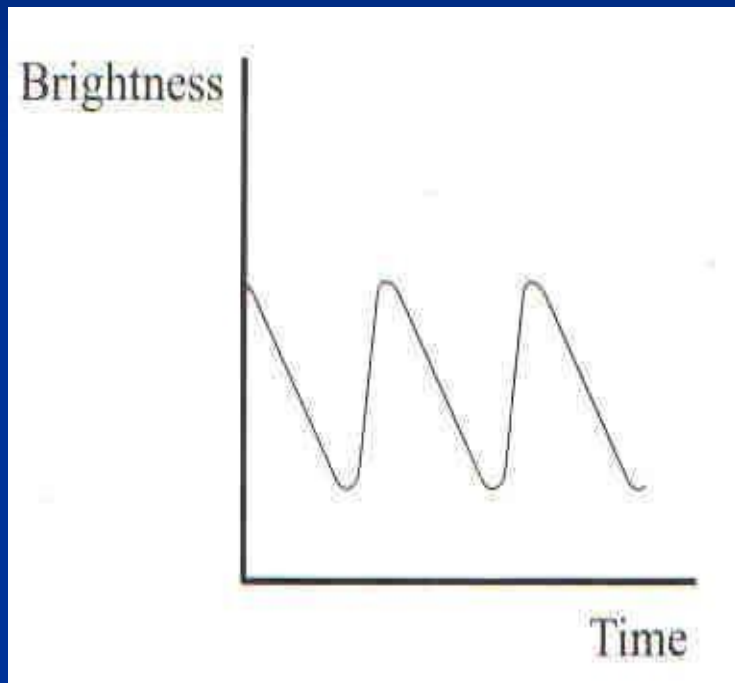


HR дијаграм Извор: NASA

- Повеќето од ѕвездите лежат во „главната низа“: масивните ѕвезди се топли и имаат голема моќност (горе лево), додека малите ѕвезди имаат помали маси, се ладни и имаат мала моќност (долу десно)
- Џиновските ѕвезди се наоѓаат во горниот десен дел од дијаграмот, додека белите џуџиња се наоѓаат во долниот лев дел



Промениливи ѕвезди

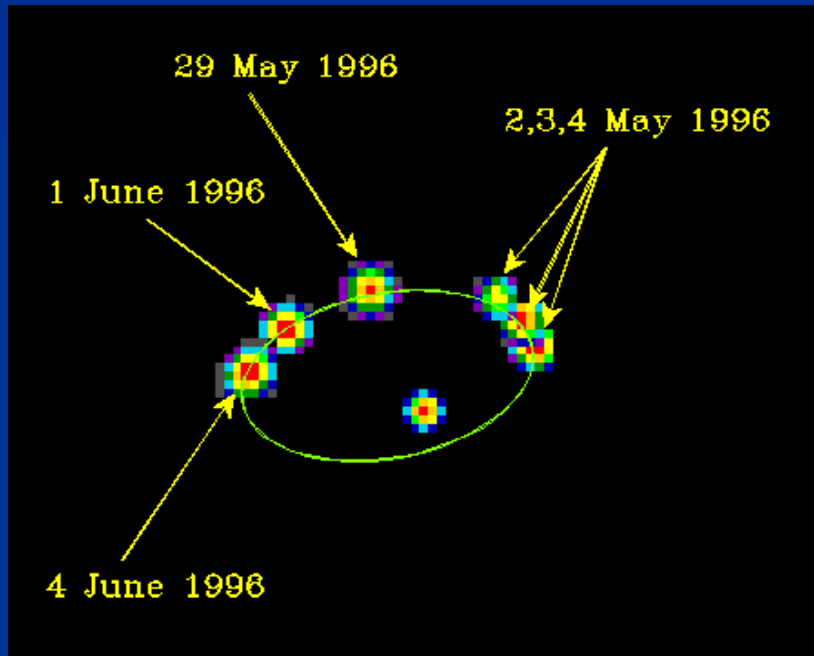


Крива на сјај: график на сјајот во однос на времето

- Промениливите ѕвезди се ѕвезди кои со текот на времето го менуваат својот сјај
- Повеќето ѕвезди се промениливи; можат да го менуваат сјајот бидејќи осцилираат, светат силно, еруптираат или експлодираат или се затемнети од ѕвезда или планета придружник
- Промениливите ѕвезди даваат важни информации за ѕвездената природа и еволуција



Бинарни ѕвезди (двојни) и мултиполни



Орбитално движење на Мизар, во Ursa Major.

Извор: NPOI Group, USNO, NRL

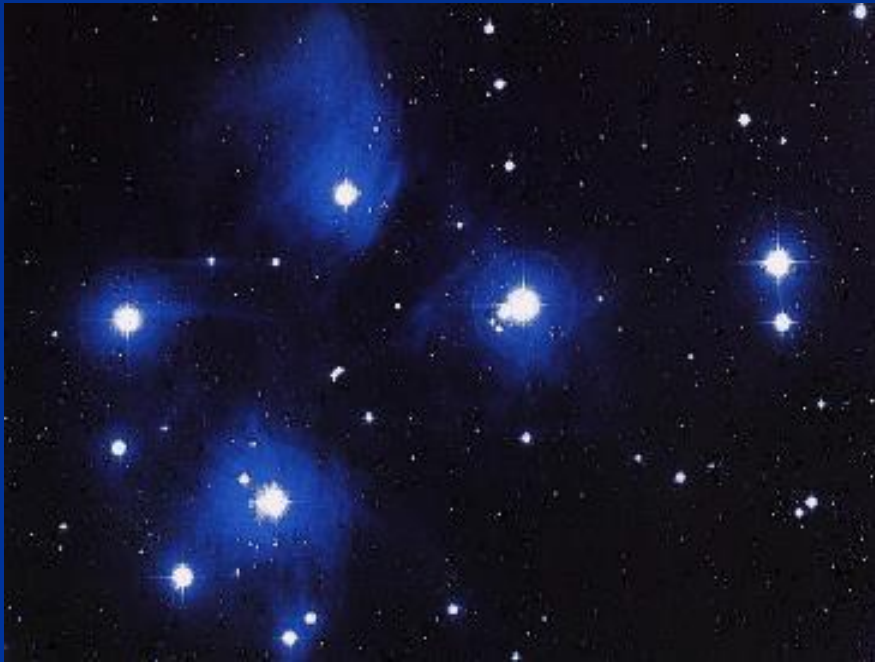
- Бинарните ѕвезди се парови од ѕвезди кои се блиску една до друга поради гравитационо дејство и орбитираат меѓусебно. Тие можат да бидат видливи директно (како на сликата лево), откриени преку нивните спектри, или преку затемнување помеѓу ѕвездите.

- Тие се најважната алатка за мерење на масата на ѕвездите.
- Мултиполни ѕвезди се системи со три или повеќе ѕвезди кои се гравитациски сврзани.



Свездени јата

„Експерименти на природата“



Отворено јато Плејади.

Извор: Mount Wilson Observatory

- Свездените јата се групи од ѕвезди кои поради гравитационото дејство се блиску една до друга и се движат заедно низ вселената.
- Тие се формирани во исто време и на исто место, од ист материјал и се на исто растојание од нас, се разликуваат само по масата.
- Јатата се примероци од ѕвезди со различни маси но со иста старост



Од што се направени Сонцето и свездите?



Изобилство на хемиски
елементи во Космосот: H
(90%), He (8%), C, N, O и
малку од сите други елементи
(2%).

- Користејќи спектроскопија и други техники, астрономите можат да ги идентификуваат „примарните материјали“ од кои се направени свездите
- Водородот (H) и хелиумот (He) се најзастапените елементи и се формирале со формирањето на универзумот
- Потешките елементи се милион или милијарди пати помалку застапени. Тие се формирале во внатрешноста на свездите преку термонуклеарни реакции.



1 H																	2 He		
3 Li	4 Be													5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg													13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr		
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe		
55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn		
87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 UUp	116 Lv	117 Uus	118 Uuo		
			57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu		
			89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr		

Elements created at the Big Bang

Elements produced by nucleosynthesis, in the core of the stars

Elements produced by supernovas



Elements created at the Big Bang



Elements produced by nucleosynthesis,
in the core of the stars



Elements produced by supernovas



Законите на структурата на ѕвездите

- Внатре во ѕвездата, како што одиме подлабоко, притисокот се зголемува поради тежината на горните слоеви.
- Според гасните закони, температурата и густината се зголемуваат со зголемување на притисокот.
- Енергијата ќе тече од внатрешниот потопол дел кон надворешниот поладен дел преку зрачење и конвекција
- Ако енергијата тече надвор од ѕвездата, таа ќе се лади - освен ако не се создава повеќе енергија во внатрешноста.
- Ѕвездите се регулирани од овие едноставни и универзални закони на физиката.



Пример: Зошто Сонцето не колапсира или не се собира?



- Надувајте балон како што е прикажано лево
- Атмосферскиот притисок го „турка“ балонот навнатре. Тој не се собира бидејќи притисокот на гасот го „турка“ балонот нанадвор.
- Внатре во Сонцето, гравитацијата, која ја турка материјата навнатре, е урамнотежена со притисокот на гасот.



Извор на енергија на Сонцето и СВЕЗДИТЕ

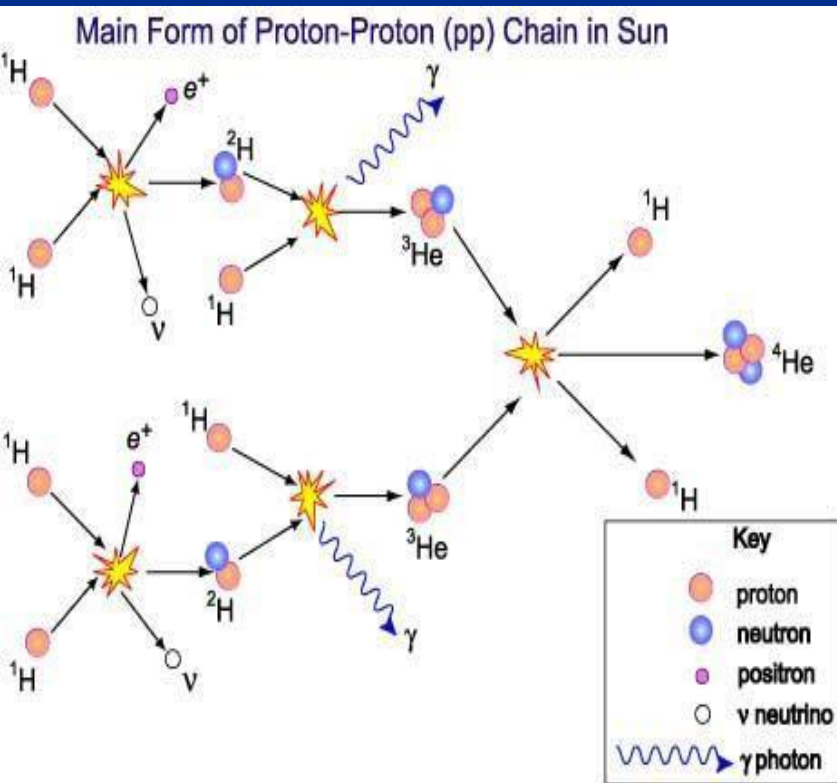
- Хемиско согорување на гас, нафта или јаглерод?
Овој процес е толку неефикасен што го снабдува Сонцето со енергија само за неколку илјади години.
- Бавна гравитациска контракција?
Ова би можело да донесе енергија до Сонцето во текот на милиони години, но Сонцето е старо милијарди години.
- Радиоактивност (нуклеарна фисија)?
Радиоактивните изотопи речиси и да не постојат во Сонцето и ѕвездите.
- Нуклеарна фузија на лесни елементи во потешки?
Да! Ова е многу ефикасен процес, а лесните елементи како што се водородот и хелиумот претставуваат 98% од Сонцето и ѕвездите.



Протон-протон циклусот

е главниот процес на фузија во Сонцето

- При високи температури и густини, кај ѕвезди како нашето Сонце, протоните (во црвена боја) го надминуваат електростатското одбивање меѓу нив и формираат ^2H (деутериум) и неутрино (ν)
- Потоа, друг протон е поврзан со деутериум за да се формира ^3He
- Подоцна, јадрата ^3He се спојуваат едни со други за да формираат јадро ^4He , ослободувајќи два протона.
- Резултат: 4 протони заедно формираат хелиум и енергија (гама-зраци и кинетичка енергија)

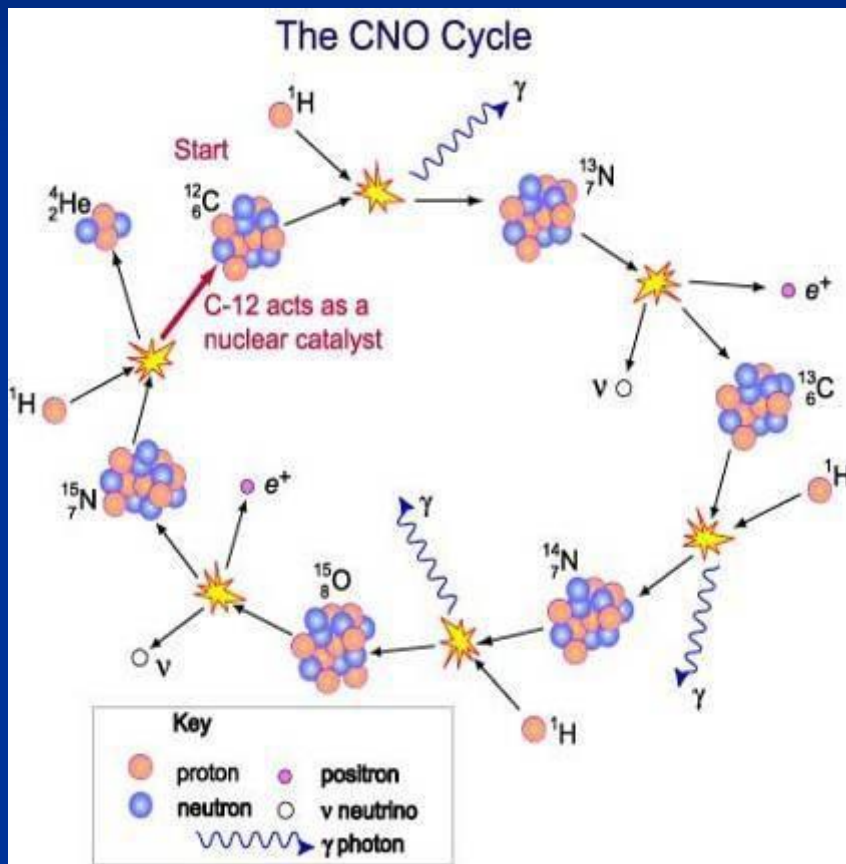


Протон-протон циклус

Извор: Australia National Telescope Facility



Циклус на јаглерод-азот-кислород



CNO циклус

Извор: Australia National Telescope Facility

- Кај масивните ѕвезди, со многу жешко јадро, протоните (црвено) можат да се судрат со јадро од ^{12}C (јаглерод) (горе лево)
- Ова започнува кружна низа реакции во кои конечно четири протони се спојуваат за да формираат јадро на хелиум (горе лево)
- Јадрото од ^{12}C се добива повторно на крајот од циклусот, затоа не се создава ниту уништува; делува како нуклеарен катализатор.



Создавање ѕвездени „модели“

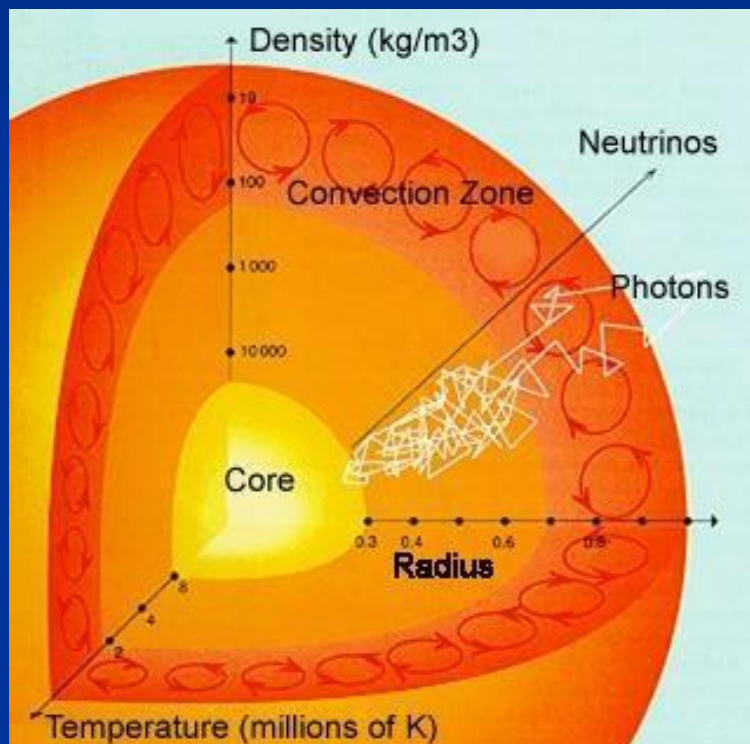
- Законите што ја опишуваат ѕвездената структура се изразени во равенки и се решаваат со помош на компјутер.
- Компјутерот ја пресметува температурата, густината, притисокот и моќноста во секоја точка на Сонцето или ѕвездата. Ова се нарекува модел.
- Во центарот на Сонцето, густината е 150 пати поголема од густината на водата, а температурата е $\sim 15.000.000 \text{ K}$!



Во внатрешноста на Сонцето

Врз основа на „модел“ на Сонцето направен со компјутер

- Внатре во жешкото јадро, нуклеарните реакции произведуваат енергија со спојување на водородот во хелиум.
- Во радијативната зона, над јадрото, енергијата тече нанадвор преку механизмот на зрачење
- Во конвективната зона, помеѓу радијативната област и површината, енергијата тече нанадвор преку конвекција.
- Фотосферата, на површината, е слојот каде што ѕвездата станува прозирна.



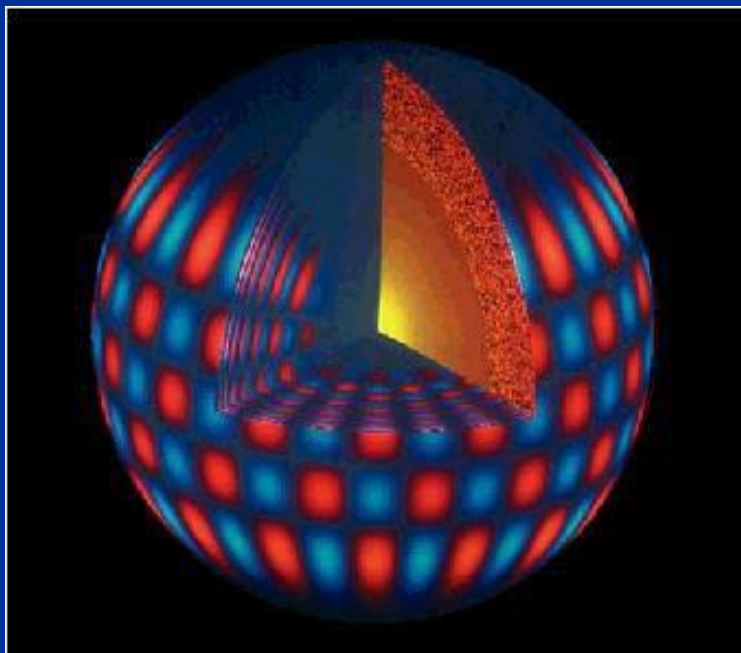
Соларен модел

Извор: Institute of Theoretical Physics,
University of Oslo



Тестирање на хелиосеизмолошки МОДЕЛ

- Сонцето нежно осцилира на илјадници начини (шеми). Еден од нив е прикажан на сликата лево.
- Овие осцилации можат да се набљудуваат и можеме да ги користиме за да ја дознаеме внатрешната структура на Сонцето, со тоа тестирајќи ги постоечките модели за структурата на Сонцето. Овој процес е познат како хелиосеизмологија.

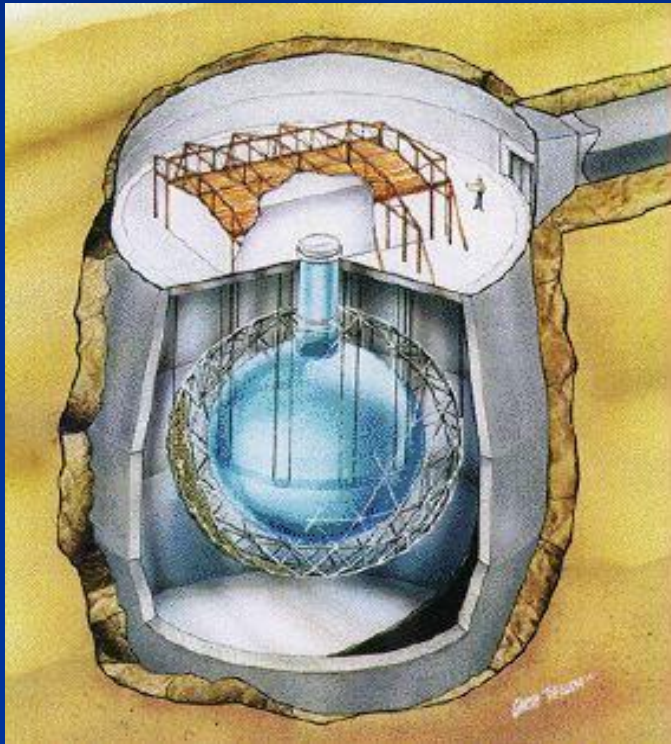


Уметничка концепција на сончевата вибрација.
Извор: US National Optical Astronomy Observatory

Слични вибрации може да се забележат и кај други
свезди: астросеизмологија



Тестирање на моделот на сончеви неутрина



- Нуклеарните реакции на фузија произведуваат елементарни честички наречени неутрина.
- Тие имаат многу мала маса и ретко стапуваат во интеракција со материјата.
- Нивната маса беше откриена и измерена благодарение на специјални опсерватории, како што е опсерваторијата за неутрино „Садбери“ (лево). Резултатите се во согласност со предвидувањата добиени во моделите.

Опсерваторија за неутрина, Садбери
Извор: Sudbury Neutrino Observatory



Времетраење на ѕвездениите ЖИВОТИ

- Времетраењето на животниот век на една ѕвезда зависи од тоа колку нуклеарно гориво (водород) има и колку брзо го троши.
- Ѕвездите со помала маса од нашето Сонце се најчести. Тие имаат помалку гориво, но многу помала моќност, па затоа имаат подолг век на траење.
- Ѕвездите со поголема маса од Сонцето се поретки. Тие имаат повеќе гориво, но многу поголема моќност, па затоа имаат пократок век на траење.



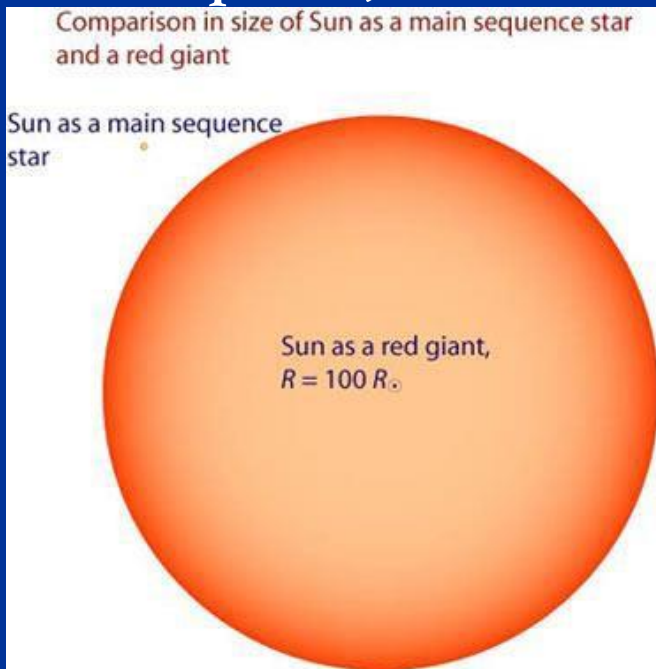
Како астрономите ја проучуваат свездената еволуција?

- Набљудувајќи ги ѕвездите во различни фази од нивниот живот и нивно ставање во низа на логичка еволуција.
- Изработувајќи модели со помош на компјутери, користејќи ги законите на физиката и земање предвид на промените во составот на ѕвездите што се јавуваат поради нуклеарна фузија.
- Проучувајќи ги ѕвездените јата и групи на ѕвезди со различни маси, но со иста возраст.
- Проучувајќи ги брзите и чудни фази во ѕвездениот живот (на пр. супернови и нови).
- Преку проучување на променливи пулсирачки ѕвезди, мерење на бавните промени во периодот на пулсирање предизвикани од нивната еволуција.



Еволуцијата на ѕвезди слични на Сонцето

- Свезда слична на Сонцето не се менува многу во текот на првите $\sim 90\%$ од својот живот, доколку има доволно гориво (водород) за да продолжи со термонуклеарните реакции. Ја нарекуваме ѕвезда од главна низа. Кога нејзиното гориво, водородот, ќе се искористи, таа се шири во ѕвезда-црвен џин.



- Внатре во јадрото, температурите можат да се зголемат доволно за да почнат да произведуваат енергија преку фузија на хелиум во јаглерод.
- Кога хелиумот ќе се исцрпи, ѕвездата повторно се шири во уште поголем црвен џин, стотици пати поголем од Сонцето.

Споредба на големината: Сонце - црвен џин
Извор: Australia National Telescope Facility



Смртта на ѕвезди слични на Сонцето



Планетарна маглина Хеликс.
Извор: NASA

- Кога ѕвездата ќе стане црвен џин, таа почнува да пулсира (вибрира).
- Пулсирањето предизвикува одвојување на надворешните слоеви на ѕвездата, создавајќи прекрасна планетарна маглина (лево).
- Јадрото на ѕвездата е џуце, густо, бело, мало и без гориво.



Бело цуце

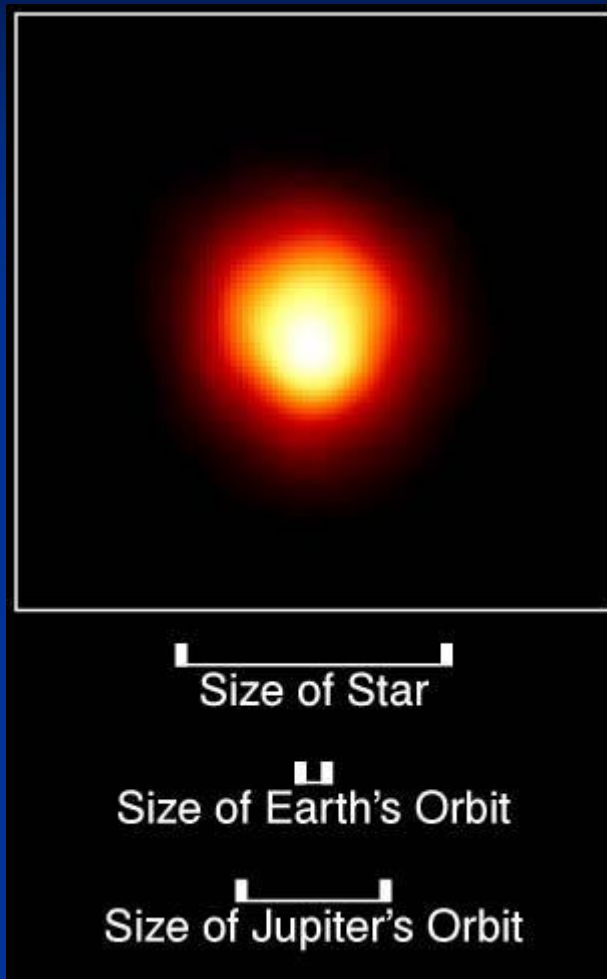


Белото цуце придружник (долу) на
Сириус (горе).
Source NASA

- Белото цуце претставува мртво јадро на ѕвезди слични на Сонцето.
- Белото цуце има маса слична на Сонцето, волумен сличен на Земјата и густина милион пати поголема од онаа на водата.
- Кај белото цуце, центрипеталната гравитациона сила е урамнотежена со надворешниот квантен притисок на електроните во неговата внатрешност.
- Многу блиски ѕвезди, вклучувајќи ги Сириус (лево) и Прокион, имаат придружници - бели цуциња.



Еволуцијата на масивна ѕвезда



- Масивните ѕвезди се ретки, моќни и го трошат своето гориво многу брзо - за неколку милиони години.
- Кога ќе го потрошат горивото, тие се шират и стануваат црвени суперџинови ѕвезди.
- Нивното јадро е многу жешко, доволно за да произведе тешки елементи како железо.
- Бетелгез (лево), во соѕвездието Орион, е светол црвен суперџин. Многу е поголем од орбитата на Земјата.

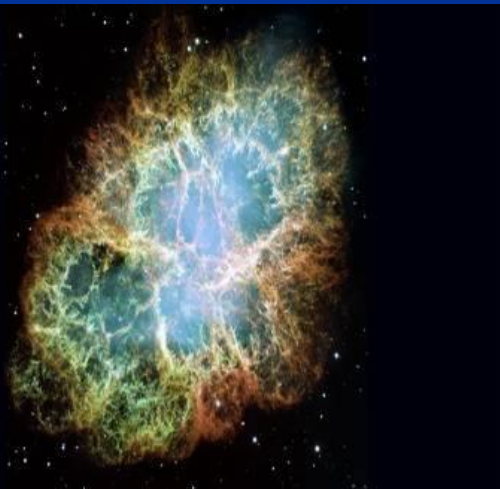
Бетелгез.

Source: NASA/ESA/HST



Смртта на масивна ѕвезда

- Кога јадрото на масивна ѕвезда ќе стане главно составено од железо, таа нема повеќе нуклеарно гориво за да продолжи со фузија и повеќе не може да остане жешка.
- Гравитацијата го притиска јадрото во неутронска ѕвезда, ослободувајќи огромни количини на гравитациска енергија и доведувајќи ја ѕвездата до експлозија на супернова (лево).
- Суперновите произведуваат елементи потешки од железото и ги исфрлаат овие и други елементи во вселената, елементи кои ќе станат дел од нови ѕвезди, планети и живи форми.



Маглината Рак, остаток од експлозија на супернова забележана во 1054 година од нашата ера.

Извор: NASA



Неутронски ѕвезди

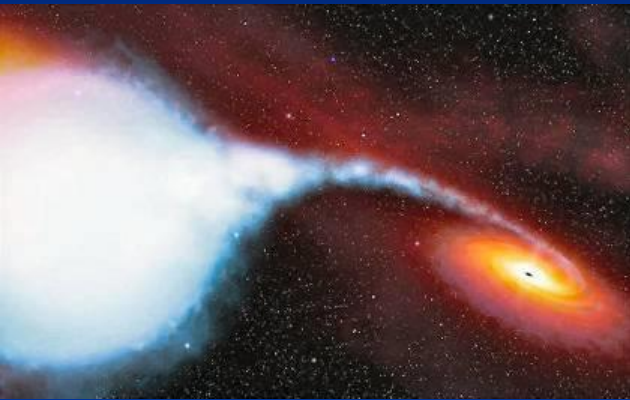


Пулсар, неутронска ѕвезда во
срцето на маглината Рак.
Извор: NASA/ESA/HST

- Свездените јадра со маси помеѓу 1,5 и 3 пати поголеми од масата на Сонцето колапсираат и на крајот од нивниот живот стануваат неутронски ѕвезди.
- Тие имаат дијаметар од околу 10 km и густина трилиони пати поголема од водата.
- Тие се направени од неутрони и егзотични честички.
- Младите неутронски ѕвезди ротираат брзо и емитуваат редовни импулси на зрачење во радио областа, и се познати како пулсари.



Црни јами



Уметничка концепција на Лебед X-1, видлива звезда (лево) со црна дупка (десно) во центарот на акрециониот диск.

Извор: NASA.

- Црната јама е астрономски објект чија гравитација е толку силна што ништо не може да избега од неа, дури ни светлината.
- Јадрата на невообичаените масивни ѕвезди (повеќе од 30 пати поголеми од масата на Сонцето) стануваат црни јами кога ќе им снема гориво.
- Еден начин за откривање на црни јами: кога видлива ѕвезда орбитира околу неа (лево).



Посебни случаи на променливи ѕвезди



Пар од нормална ѕвезда (лево) и бело џуџе со акреционен диск што краде гас од придружната ѕвезда (десно).

Извор: NASA

- Многу ѕвездени остатоци - бели џуџиња, црни јами или неутронски ѕвезди - имаат нормална видлива ѕвезда што орбитира околу нив.
- Ако гасот од нормалната ѕвезда падне врз ѕвездениот остаток, околу него може да се формира акреционен диск (лево).
- Кога гасот ќе падне врз ѕвездениот остаток, тој може да еруптира или експлодира, што го нарекуваме катаклизмична променлива ѕвезда.



Раѓањето на ѕвездите

- Ѕвездите се формираат во молекуларните облаци (маглини), составени од ладен гас и прашина.
- Меѓузвездената прашина и гас сочинуваат околу 10% од материјата во нашата Галаксија. Младите ѕвезди генерално можат да се најдат во или во близина на маглината од која настанале.
- Најблизок и јасен пример за регион каде што се формираат ѕвезди е маглината Орион (лево), оддалечена околу 1500 светлосни години од нас.



Орионовата маглина
Извор: NASA



Меѓусвезден гас

Гасот меѓу ѕвездите



- Меѓусвездениот гас (атоми или молекули) може да се активира со ултравиолетова светлина што доаѓа од блиска ѕвезда, создавајќи емисиона маглина (лево).
- Студениот гас меѓу ѕвездите произведува радио бранови што можат да се детектираат со радиотелескопи.

Орионовата маглина. Гасот е јонизиран од ултравиолетовата светлина од ѕвездите во маглината.

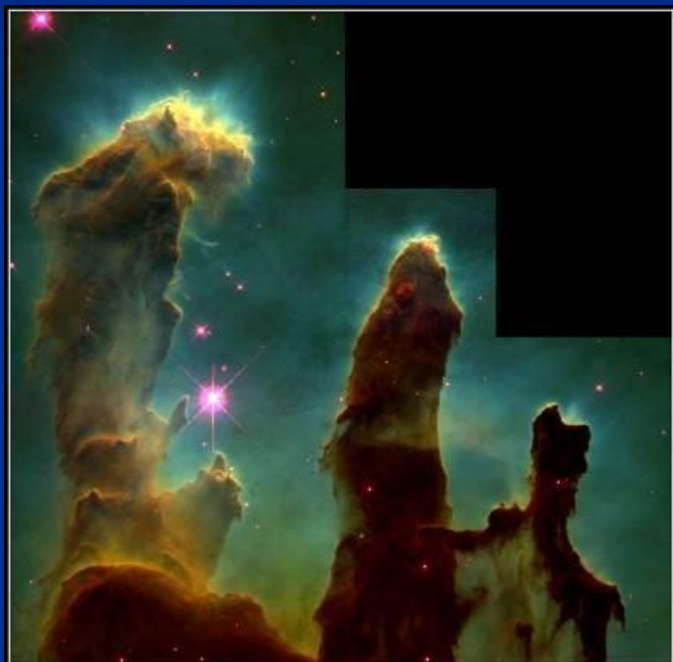
Извор: NASA

98% од меѓусвездениот гас е составен од водород и хелиум.



Меѓусвездена прашина

Прашина меѓу ѕвездите



Gaseous Pillars • M16 HST • WFPC2
PRC95-44a • ST ScI OPO • November 2, 1995
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

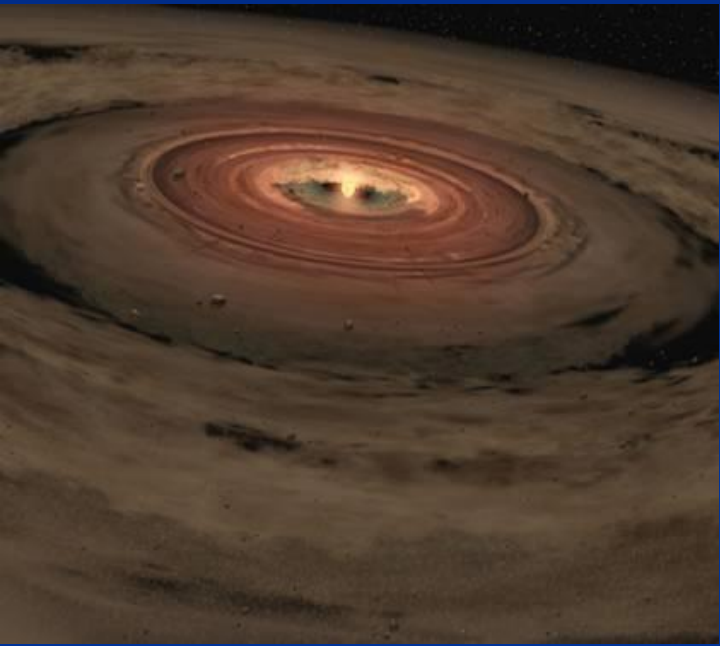
M16

Извор: NASA/ESA/HST

- Меѓусвездената прашина во близина на светлите ѕвезди може да се открие во видливиот дел од спектарот.
- Прашината може да ја блокира светлината од ѕвездите и гасот зад нив (лево). Ѕвездите се формираат во овие облаци.
- Само 1% од материјалот помеѓу ѕвездите е прашина. Честичките прашина се со големина од неколку стотици nm и се претежно силикати или графит.



Формирање на ѕвезди



Уметничка концепција на планетарен систем во процесот на формирање.

Извор: NASA

- Свездите се формираат во деловите на маглината наречени јадра, кои се густи или компресирани.
- Гравитацијата е одговорна за привлекувањето во јадрата.
- Запазувањето на моментот на импулс ја зголемува ротацијата на јадрата, кои се сплеснуваат и на крајот се претвораат во дискови.
- Свездите се формираат во центарот на дисковите. Планетите се формираат во постудените, надворешни делови на дискот.



Протопланетарни дискови: Проплиди (PROtoPLANetarY DiskS)

Планетарни системи во процес на формирање



- Протопланетарни дискови се забележани во Орионовата маглина (лево)
- Свездата едвај може да се види во центарот на дискот.
- Дискот од прашина ја блокира светлината што е зад него.
- Овие и други набљудувања даваат директен доказ за формирањето на планетарните системи.

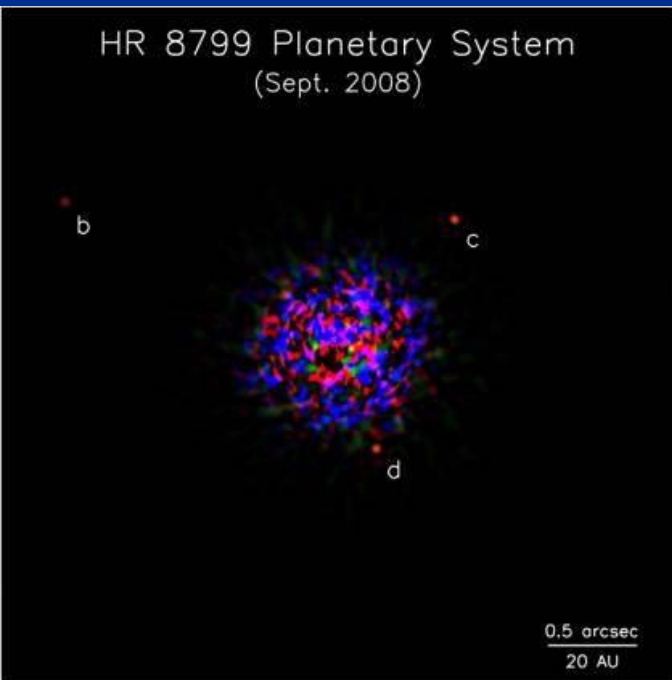
Проплиди

Извор: NASA/ESA/HST



Егзопланети = екстрасоларни планети

Планети околу други ѕвезди



- Егзопланетите обично се откриваат и проучуваат преку гравитациониот ефект што го имаат врз ѕвездата или преку затемнувањето на светлината на нејзината ѕвезда ако се случи транзит.
- Многу малку се директно набљудувани (лево).
- За разлика од планетите во нашиот Сончев Систем, многу егзопланети се огромни и многу блиску до својата ѕвезда. Ова им овозможува на астрономите да ги корегираат своите теории за тоа како се создаваат планетарните системи.

Егзопланетарниот систем HR 8799
Извор: C. Marois et al., NRC Canada



Заклучок

- „Гравитацијата го води формирањето, животот и смртта на ѕвездите“ [Професор R.L. Bishop]
- Раѓањето на ѕвезда го објаснува потеклото на нашиот Сончев систем и на другите планетарни системи.
- Животот на ѕвездата го објаснува изворот на енергија што го овозможува животот на Земјата.
- Животот и смртта на ѕвездите произведуваат хемиски елементи потешки од водородот, од кој се составени ѕвездите, планетите и живите форми.
- За време на смртта на ѕвезда, гравитацијата ги создава најчудните објекти во универзумот: белите џуџиња, неутронските ѕвезди и црните јами.



Ви благодараме
многу за вашето
внимание!

