



Звијезде

Разноврсност физичких карактеристика звијезда, које посматрамо у разним фазама њихове еволуције, толико је велика да је веома тешко дати кратку а свеобухватну дефиницију ових небеских тијела. Данас знамо да су звијезде током највећег дијела свог живота стабилна, усијана небеска тијела у стању плазме (четврто агрегатно стање које чине јони, слободни електрони, атоми и молекули), која емитују зрачење захваљујући сопственом извору енергије- термонуклеарним реакцијама које се дешавају у њиховом језгру. Међутим, звијезде пролазе и кроз фазе нестабилности када **гравитационо сажимање** постаје значајан извор енергије. Звијездама називамо и коначне фазе у њиховој револуцији: бијеле патуљке и неутронске звијезде, сачињене од супергусте материје, које не посједују више никакве изворе енергије.

Анализирајући основна физичка својства звијезда (сјај, температуру, полупречник, масу), астрономи су успјели да стекну увид у њихову природу и да открију начин на који се рађају, живе и умиру.

Прва сазнања о природи звијезда стечена су захваљујући развоју спектроскопије у XIX вијеку. Још је *Фраунхофер* (1814.) уочио да су спектри звијезда и Сунца слични, на основу чега је постало јасно да је Сунце само нама најближа звијезда односно да су звијезде далека сунца. На основу Кирхофових закона могло се закључити да се спектри Сунца и звијезда формирају у њиховим спољашњим слојевима- атмосферама, и да одржавају физичке услове у њима. Коришћењем методе спектралне анализе (1859.) и индентификацијом линија у спектрима звијезда, установљено је присуство разних хемијских елемената у звјезданим атмосферама. Осим сличности, уочене су и разлике међу спектрима разних звијезда, прије свега по броју и јачини спектралних линија. Тако су астрономи убрзо почели да класификују звијезде на основу изгледа њихових спектра, а знатно прије открића закона зрачења и објашњења механизма формирања линија.



Прву визуелну класификацију звијезда је предложио *Анђело Саки* шездесетих година XIX вијека. Његова идеја о систематизацији и класификацији звјезданих спектра реализована је на опсерваторији *Харвард*. Пројекат који је трајао четири деценије завршен је објављивањем *HD* каталога са преко 225 000 звијезда.

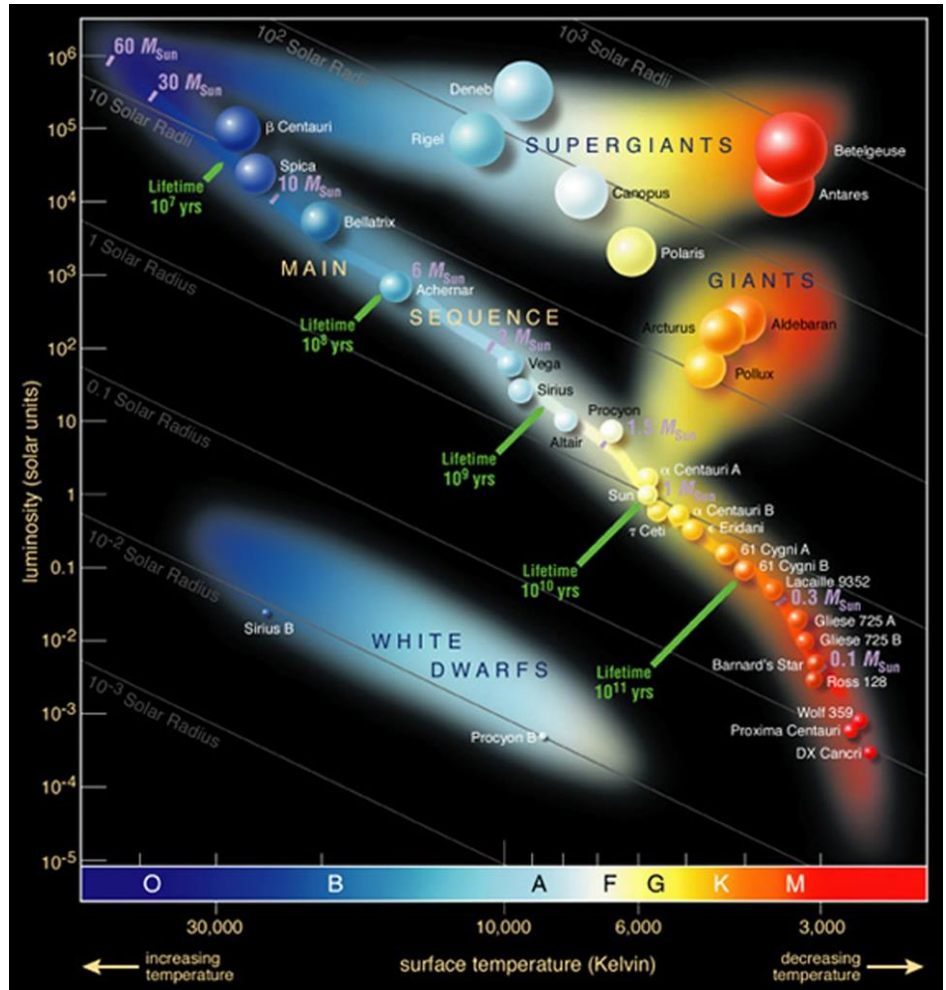
Дуго се мислило да су разлике у изгледу спектра, односно појави и јачини линија разних хемијских елемената, последица различитог хемијског састава звијезда. Разумјевању настајања спектралних линија највише су допринијеле теорија структуре атома *Нилса Бора* и теорија јонизације. Америчка научница *Сесилија Пејн-Гапошкин* је 1925. године у својој докторској дисертацији примијенила квантну теорију атома да би објаснила спектре звијезда. Она је навела да све звијезде имају скоро па једнак састав, а да разлика између интензитета спектралних линија потиче заправо од разлике температура звијезда.

- Херцшпунг-Раселов дијаграм

Дански физичар *Ејнар Херцшпунг* и Американац *Хенри Норис Расел* су независно један од другог почетком XX вијека конструисали дијаграм "боја-апсолутни сјај". По њима назван **Херцшпунг-Раселов (Х-Р) дијаграм**, представља несумњиво најзначајнији дијаграм у астрофизици. На осе дијаграма наносе се величине које су повезане са бојом и стварним сјајем звијезде (нпр. луминозност и температура).

На Х-Р дијаграму највећи број звијезда налази се на једној траци која се назива **главни низ**. Дуж главног низа, са порастом температура звијезде расте њен сјај (од доњег десног дијела дијаграма гдје су најхладније звијезде најмањег сјаја до горњег лијевог дијела гдје су најврелије и најсјајније звијезде). Међутим, на дијаграму видимо да има и звијезда које су хладне а сјајне (црвени џинови и суперџинови), као и оних које су вреле али слабог сјаја (бијели патуљци).

Двопараметарску класификацију звијезда каква је данас у употребу увели су 1943. године *Морган, Кинан* и *Келман* (**МКК класификација**). Један параметар је температура, а други је луминозност. Према луминозности звијезде су сврстане у седам класа: **суперцинови (I), сјајни цинови (II), цинови (III), субцинови (IV), звијезде главног низа (V), субпатуљци (VI) и бијели патуљци (VII)**. Сунце је звијезда која се налази на главном низу, па за њу кажемо да је жута звијезда главног низа. А пошто су њене димензије и маса релативно мале, за Сунце кажемо и да је жути патуљак.



- Извори звјездане енергије

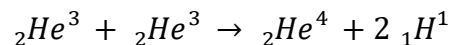
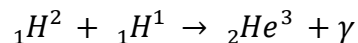
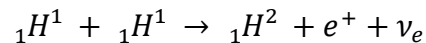
Један од најзначајнијих проблема у астрономији, ријешен касних тридесетих година XX вијека, био је механизам генерисања енергије на Сунцу и звијездама. Данас знамо да су од свих познатих извора енергије само **гравитационо сажимање** и **термонуклеарне реакције** у стању да звијездама обезбиједу дуг живот.



Гравитационо сажимање је значајно за сам настанак звијезда, али и у оним фазама њихове еволуције у којима привремено губе битку са сопственом гравитацијом. При сажимању, једна половина ослобођене гравитационе потенцијалне енергије звијезде претвара се у њену термалну енергију, а друга половина се израчи. Само овај механизам није довољан да обезбиједи огромну количину енергије коју у току свог дугог живота емитују звијезде.

Једини познати механизам производње енергије, који милијардама година може да напаја Сунце и звијезде, јесте термонуклеарна фузија. Као што смо већ рекли, при фузији се спајају лакша језгра у теже при чему је укупна маса продуката реакције мања од збира маса језгара која ступају у реакцију. Остатак масе се претвара у енергију, према познатој Ајнштајновој хипотези ($E = mc^2$).

Пошто је водоник најзаступљенији хемијски елемент на звијездама, као највјероватнији механизам генерисања енергије предложене су термонуклеарне реакције фузије четири језгра водоника у једно језгро хелијума при чему настаје доста међупродуката и енергија. Фузија четири протона у језгро хелијума може се остварити помоћу циклуса неколико реакција или преко ланца реакција. Сматра се да је главни извор енергије на Сунцу и осталим патуљцима **протон-протон ланац реакција**:



За ову реакцију је неопходна огромна температура (око $15 \cdot 10^6$ °C) и густина, што је задовољено у средишту Сунца. У језгрима масивнијих звијезда, фузија водоника у хелијум се дешава кроз **CNO циклус реакција**, у коме се угљеник, азот и кисеоник појављују као катализатори. За ту реакцију потребне су и веће температуре. Када се у језгру масивне звијезде истроши водоник и претвори у хелијум, у каснијим фазама су могуће реакције фузије хелијума у угљеник за шта је потребна још већа температура.



- Еволуција звијезда

Звијезде настају гравитационим сажимањем гушћих области хладних џиновских молекулских облака. Тамни и хладни облаци великих димензија сажимају се под дејством сопствене гравитације и фрагментирају у **протозвијезде**. Због релативно ниске температуре у првих пар хиљада година протозвијезда се не може видјети у видљивом дијелу спектра. Након што достигне температуру $2000 - 3000K$, протозвијезда постаје сјајна и има велике димензије. Даљим гравитационим сажимањем смањују се њене димензије, али се повећава њена густина и температура што ствара услове за термонуклеарне реакције (сагоријевање водоника).

Ослобађањем енергије у тим реакцијама, сила притиска гаса и зрачења супростављају се гравитацији. На Х-Р дијаграму звијезда се смјешта у главни низ, а због наведене равнотеже ово је и најдужа фаза у животу звијезда. Траје све док се водоник не сагори. Када истроши водоник, нарушава се равнотежа и звијезда постаје нестабилна и њено језгро почиње да се сажима (али се омотач шири услед ослобађања енергије) и ова фаза се назива **црвени цин**.

Након тога постоје два могућа пута. Ако је у питању мала звијезда, која не може достићи довољну температуру у језгру за сагоријевање хелијума, она ће у том тренутку завршити свој животни вијек као **бијели патуљак начињен од хелијума**. Звијезде средње масе, као Сунце могу достићи довољну температуру за сагоријевање хелијума. Међутим, оне не могу развити довољну температуру за сагоријевање насталог угљеника па ту завршавају свој животни вијек- као **бијели патуљак начињен од угљелика**.

Јако масивне звијезде (преко $8M_{\odot}$) ни ту неће завршити свој живот, већ оне могу развити довољну температуру за сагоријевање угљеника, а кад се сагори угљеник онда кисеоник, силицијум итд. све до гвожђа. Сагоријевања ће трајати све док се не формира жељезно језгро, па онда пошто не постоје никакве могуће реакције жељеза звијезда колабира, обрушава се у дјелићу секунде ка свом центру.

Ако је маса звијезде $8 - 30M_S$, тада ће се језгро дезинтегрисати и формираће се хелијумова језгра и неутрони. Језгро се нагло хлади и у реакцијама настају неутрони који се јако густо пакују. Настаје супергусто језгро које спријечава даље сажимање. Оно одбија материју која пада на њега што доводи до експлозије која се назива **супернова**. Од звијезде остаје неутронско језгро које се назива **неутронска звијезда**.

Звијезда која по доласку у главни низ има већу масу од $30M_S$, још брже прође кроз све фазе сагоријевања елемената, да би на крају колапс звијезде био незаустављив. Звијезда се обрушава ка свом центру при чему густина и гравитација постају огромне и незаустављиве. Такав објекат називамо **црна рупа**, јер је његова гравитација тако јака да је ни свјетлост не може напустити.

