
Вишеструке звезде и најпознатије међу њима

Матурски рад из физике

ученик:

Дамјан Граовац IVa

ментор:

Слободан Спремо

мај, 2026.

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
2. ДВОЈНЕ ЗВЕЗДЕ	3
2.1 Дефиниција	3
2.2 Класификација према начину посматрања	4
2.3 Класификација према физичким карактеристикама (Рошов модел)	7
3. АСТРОФИЗИКА ДВОЈНИХ ЗВЕЗДА	9
3.1 Орбитални елементи и кретање бинарних система	9
3.2 Одређивање звезданих маса	10
3.3 Функције масе и спектроскопски подаци	11
3.4 Полупречник и димензије звезда	12
3.5 Однос маса–луминозност	13
4. ВИШЕСТРУКЕ ЗВЕЗДЕ	14
4.1 Дефиниција и основне особине вишеструких звезда	14
4.2 Хијерархијска структура	15
4.3 Статистика и учесталост	16
4.4 Динамика и стабилност	16
5. ЕВОЛУЦИЈА ВИШЕСТРУКИХ ЗВЕЗДА	18
5.1 Настанак вишеструких звезда	18
5.2 Режији преноса масе и утицај трећег тела	18
5.3 Фаза заједничког омотача	19
5.4 Крајњи исходи еволуције	21
6. ПРИМЕРИ ВИШЕСТРУКИХ ЗВЕЗДА	22
6.1 Алфа Кентаури	22
6.2 Сиријус	24
6.3 Алгол	26
6.4 Мизар и Алкор	28
7. ЗАКЉУЧАК	30
8. ЛИТЕРАТУРА	31

Вишеструке звезде

1. Увод

У астрономији се често говори о звездама као појединачним објектима. Међутим, савремена истраживања показују да је велики број звезда у свемиру заправо део сложенијих система. Посебно су битне двојне и вишеструке звезде, односно системи у којима две или више звезда делују гравитационо једне на друге и заједно еволуирају. Иако се очекује да их нема пуно, ови системи су заправо изразито чести, чак доста чешћи од појединачних звезда.

Гравитација која делује на великим растојањима између небеских тела отежава нам дефинисање изолованих звезда. Многе звезде имају суседе који су им знатно ближи него што је просечно растојање између звезда у галаксији. Такве блиске групе звезда могу постојати у виду двоструких система, али и мањих вишеструких система који садрже три или више звезда. Такође, постоје и велике групе звезда зване звездана јата, која могу садржати од пар хиљада до преко милион звезда. Између ових екстрема налазе се управо вишеструки системи, који су важан прелаз у организацији звезда у свемиру.

Чак и голим оком могуће је запазити да неке звезде имају пратиоце, односно да се појављују у паровима. Међутим, тек посматрања путем астрометрије и спектроскопије откривају да је број двоструких и вишеструких система знатно већи него што се на први поглед чини. Поред тога, посматрања у различитим деловима електромагнетног спектра (радио, инфрацрвено, ултраљубичасто и X-зрачење) омогућавају откривање и веома необичних и сложених система који нису иначе видљиви.

Двоструке звезде могу се значајно разликовати у својим особинама. У појединим случајевима оне могу да буду толико блиске једна уз другу да се малтене додирују, што доводи до снажних међусобних утицаја, док су у другим случајевима толико удаљене једна од друге да се понашају скоро независно. Времена њиховог кретања могу бити веома различита, то јест могу трајати од само неколико сати до више стотина година, чак и милиона година код веома удаљених система. Ова разноврсност их чини изузетно важним. Важни су за проучавање различитих физичких процеса у свемиру.

Посебан њихов значај је што нам њихово проучавање омогућава одређивање основних физичких параметара звезда, рецимо масе и полупречника. За разлику од изолованих звезда код којих се ове величине тешко одређују, код двоструких система се могу лакше израчунати на основу њиховог међусобног кретања као и гравитационог утицаја. Астрономи су анализирали ове системе и тако успели да поставе темеље модерне теорије еволуције звезда.

Друга звезда може значајно променити начин на који се тај систем развија, за разлику од случаја изоловане звезде. У блиским системима може доћи до преноса материје са једне звезде на другу, што доводи до сложених појава. Такви процеси могу довести до појава као што су нове и супернове, или некад компактнијих објеката као што су бели патуљци, неутронске звезде и црне рупе. Управо због тога су двоструки системи веома битни за разумевање многих екстремних појава у свемиру.

У проучавању оваквих звезда, битно је говорити о конкретним примерима ових система, јер управо кроз њихово посматрање астрономи долазе до кључних закључака. У оквиру овог рада биће разматрани различити типови двоструких звезда, као што су визуелне, спектроскопске и помрачинске (еклиптичне) звезде, при чему свака од ових група пружа специфичне информације. На пример, код еклиптичних система као што је Алгол могу се пратити промене сјаја током времена, што омогућава одређивање орбиталног периода и димензија звезда. Са друге стране, спектроскопске двоструке звезде омогућавају проучавање кретања звезда путем Доплеровог ефекта, што је кључно за одређивање њихових маса.

Поред двоструких система, веома су битни и вишеструки системи који су често комплекснији. Један од познатих примера је Алфа Кентаури, који представља троструки систем у коме се може видети међусобно гравитационо деловање више звезда. Посматрањем оваквих система можемо разумети стабилност орбита, као и начине на које се више звезда организује у хијерархијске структуре.

Иако су многа питања у вези са двоструким и вишеструким звездама већ делимично разјашњена, ова област и даље представља једно од најдинамичнијих поља савремене астрофизике. Нови инструменти и методе посматрања омогућавају све прецизније мерење параметара ових система, али истовремено откривају и нове, неочекиване појаве.

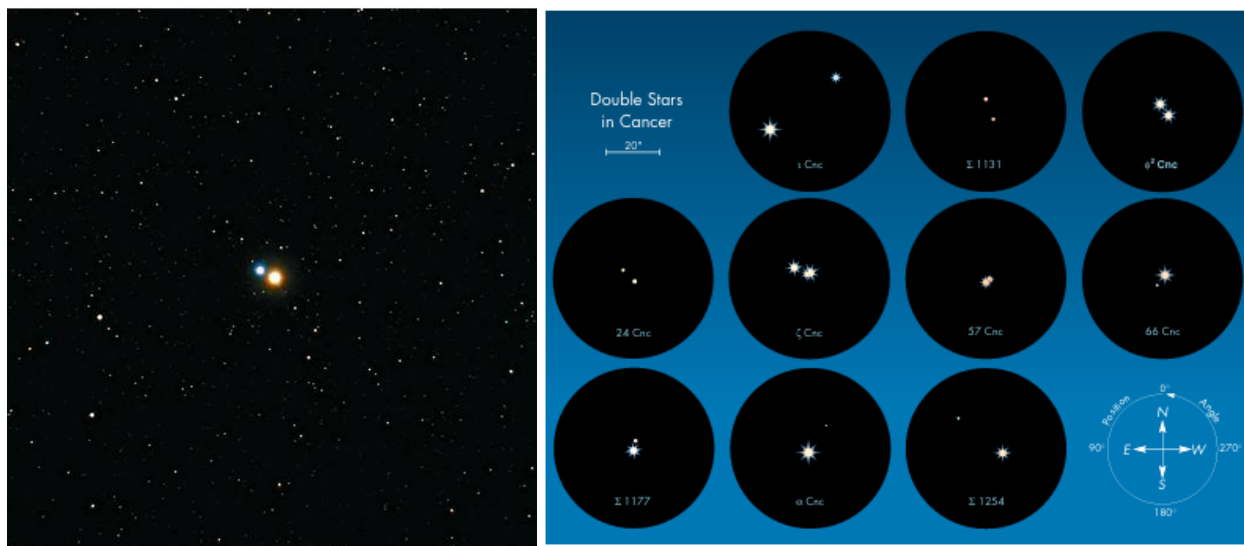
2. Двојне звезде

2.1 Дефиниција

Почећемо ово поглавље објашњењем шта све спада у двоструке звезде и како да их разликујемо од других звезда. Двојне звезде се дефинишу као скуп двају звезда које се налазе близу једна друге посматрајући их голим оком или телескопом, и за разлику од звезда које се видом само могу чинити близу, оне имају заједнички центар масе. Ова дефиниција говори да оне могу бити толико близу да се скоро додирују, а могу бити толико далеко да се чини да њихов међусобни утицај скоро ни не постоји. Њихово растојање од центра масе зависи управо од њихових маса. Занимљиво је и да двојне звезде упркос веровању, припадају објектима дубоког неба, за разлику од изолованих једноструких звезда.

Кретање звезда у двоструком систему одвија се по орбитама око заједничког центра масе, који се налази на линији која спаја ове две звезде. Тај центар се не мора налазити тачно између њих, већ зависи од њихових маса – масивнија звезда је увек ближа центру, док се мање масивна креће по већој орбити. Управо посматрањем овог кретања астрономи могу да дођу до важних података о масама звезда, што је један од главних разлога зашто су двоструки системи толико значајни.

Приликом дефинисања двоструких звезда важно је направити разлику између правих, физичких двоструких система и привидних парова звезда. Привидне, односно оптичке двоструке звезде, представљају звезде које се само на небу виде као блиске, али у стварности нису гравитационо повезане. Насупрот томе, физичке двоструке звезде чине систем у коме су обе компоненте међусобно везане гравитацијом и заједно се крећу кроз свемир.



2.2 Класификација према начину посматрања

Двојне звезде се појављују у невероватној разноликости боја, сјаја и конфигурација. Начин на који их одређујемо и делимо зависи од метода посматрања и моћи инструмената које користимо. Пре дефинисања специфичних врста, неопходно је разликовати две основне групе:

1. **Оптички двојни системи:** Ово су две потпуно неповезане звезде које се налазе на скоро истој линији погледа. Иако нам делују близу, оне су у простору међусобно веома удаљене и нису гравитационо повезане.
2. **Физички двојни системи (Бинари):** Ово су прави звездани парови који су физички близу једни другој и везани су гравитацијом.

У зависности од тога којом техником откривамо њихову двојну природу, физичке двојне системе делимо на неколико главних типова.

1. ЦПМ парови – парови заједничког правилног кретања

ЦПМ парови су парови звезда који су физички прилично удаљени, али се заједно крећу свемиром. Мерења њихових удаљености и брзина у правцу вида потврђују њихову повезаност. Многи од ових парова се веома споро орбитално крећу око свог заједничког центра гравитације, са периодима мереним у хиљадама година или дуже. Занимљиво је да неки астрономи чак верују да је само Сунце члан ЦПМ пара са црвеним патуљком удаљеним око 0.5 светлосних година чији је утицај минималан.



2. Визуелне двојне звезде

Ово су физички системи код којих се обе компоненте могу јасно видети и визуелно раздвојити помоћу телескопа. Оне показују приметно орбитално кретање око заједничког центра масе, са периодима који се крећу од неколико година до неколико векова. Ови системи су битни за астрофизику јер представљају једини директан начин за одређивање маса звезда. Њихове орбите су најчешће елипсе.

3. Интерферометријске двојне звезде

Ово су системи код којих су звезде толико близу једна другој да их чак ни најбољи телескопи не могу приметити као два засебна тела због треперења наше атмосфере. Уместо обичног посматрања, астрономи овде користе интерферометрију. Она им омогућава да искористе таласну природу светлости како би поништили сметње из ваздуха и прецизно измерили растојања између ових звезда, која су често невероватно мала. Захваљујући овој методи, откривен је велики број веома блиских и брзих звезда за које раније нисмо ни знали да постоје.

4. Астрометријске двојне звезде

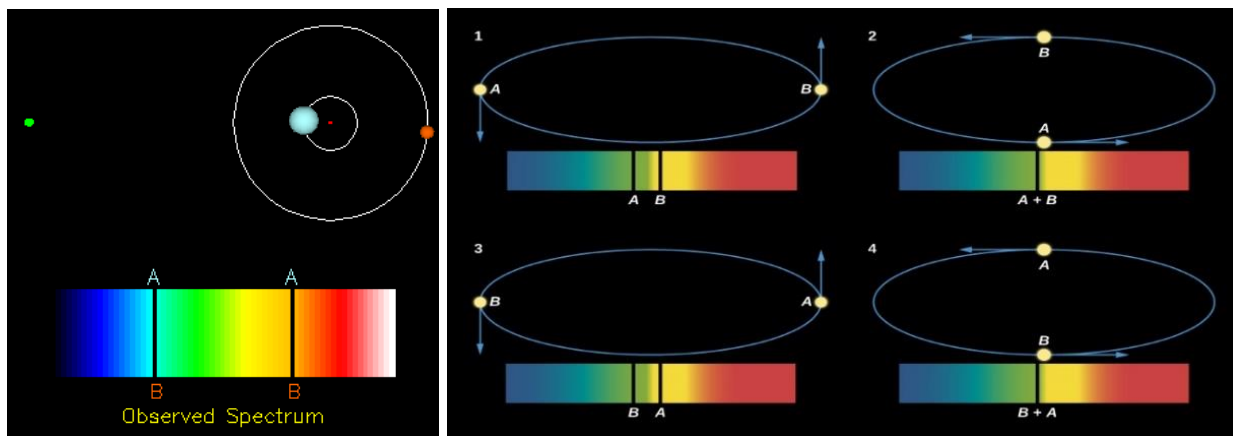
Код ових система пратилац је сувише таман или превише близу главне звезде да би се видео директно. Астрометрија је метод прецизног мерења положаја звезда на небу у односу на удаљену позадину која се не помера. Посматрањем кроз дужи низ година примећује се да се главна звезда не креће по правој линији, већ таласа кроз свемир. Ово неправилно кретање је јасан доказ да невидљиви сапутник својом гравитацијом вуче главну звезду док заједно круже око заједничког центра масе.



61 Cygni

5. Спектроскопске двојне звезде

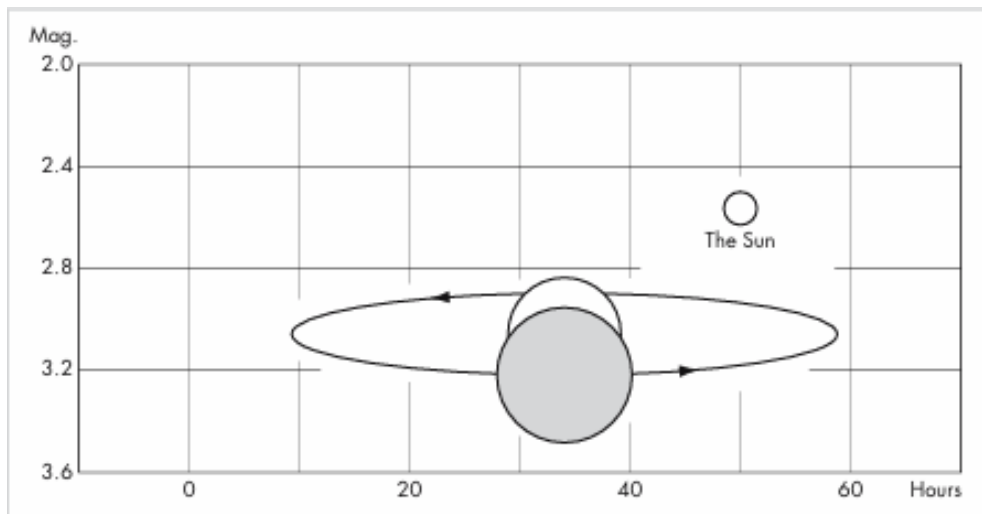
Ово су веома блиски физички парови који се чак и кроз најмоћније телескопе виде као један извор светлости. Њихова двојна природа открива се испитивањем спектра звезде, у коме се уочавају тамне апсорпционе линије. Како компоненте круже око заједничког центра масе, ове линије се периодично померају услед Доплеровог ефекта: ка краћим таласним дужинама (**плави помак**) када нам се звезда приближава, и ка дужим таласним дужинама (**црвени помак**) када се она удаљава. Код система са две видљиве компоненте, уочава се периодично раздвајање и спајање спектралних линија у супротним смеровима. Посебну подгрупу чине **спектралне двојне звезде**, код којих спектар открива карактеристике две звезде различитих температура, иако њихово орбитално кретање може бити превише споро да би изазвало Доплеров помак.



6. Еклиптичне(заклањајуће) двојне звезде

Ово су парови звезда које круже једна око друге тако да ми са Земље гледамо тачно у раван њиховог кретања. Зато једна звезда редовно пролази испред друге и накратко је заклања. Сваки пут када се то деси, изазива се пад укупног сјаја који се може измерити са Земље. Важно је разумети да саме звезде не мењају свој сјај, већ је реч о међусобном заклањању. Најпознатија таква звезда је Алгол, коју су још стари народи звали „демонска звезда“ јер су голим оком видели како мења сјај свака три дана. Разликујемо три подтипа на основу међусобне удаљености и облика звезде:

1. **Тип Алгол:** Ово су системи код којих су компоненте довољно удаљене да задрже облик лопте. Сјај система је стаалан у периоду између два помрачења.
2. **Тип Бета Лире:** Системи састављени од веома блиских компоненти које услед јаких сила гравитације имају елипсоидан облик. Због тога се сјај мења непрекидно током целог периода.
3. **Тип W Великог Медведа:** Ово су контактни системи у којима су звезде толико близу да се додирују и имају заједнички спољни омотач гаса. Обе звезде имају сличне физичке карактеристике, а њихов орбитални период је око 24 сата и мање.



7. Катаклизмичне двојне звезде

Ово су системи који се препознају по наглим и веома јаким променама сјаја. Састоје се од једне хладне и једне густе звезде, најчешће белог патуљка. Зато што су веома близу, густа звезда својом гравитацијом извуче гас из друге, па формира око себе вртлог познат као акрециони диск. Сваки пут када дође до термонуклеарне реакције нагомиланог гаса деси се експлозија коју видимо као нагли пораст сјаја читавог система. Овим процесом могу настати нове и патуљасте нове, а врло ретко може доћи и до потпуног уништења звезде у виду супернове. Најновија посматрања откривају да чак постоје и двојни системи састављени од неутронских звезда, пулсара и црних рупа.

2.3 Класификација према физичким карактеристикама (Рошов модел)

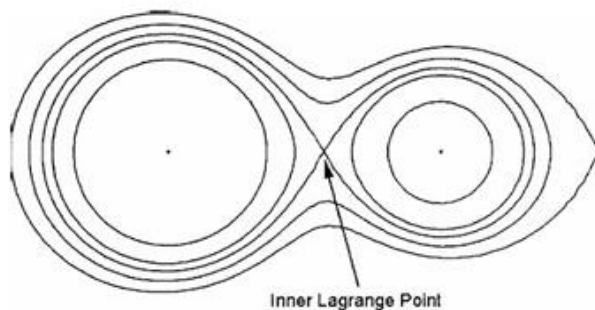
Док се претходна подела заснивала на томе како ми системе видимо са Земље, ова класификација је на основу њихове физичке интеракције. Главни фактор овде је колико су звезде близу и да ли међусобно размењују материју. Све се врти око концепта који се зове **Рошов модел**.

Рошов модел представља замишљену границу око сваке звезде у двојном систему која дефинише њену гравитациону зону утицаја. Ове зоне имају специфичан облик сузе и додирују се у једној тачки која се назива **унутрашња Лагранжова тачка (Л1)**.

Л1 тачка је од пресудног значаја јер представља пролаз кроз који гас може да пређе са једне звезде на другу. Величина овог простора директно зависи од растојања између звезда и односа њихових маса. Полупречник R_L се дефинише као полупречник сфере која има исту запремину као и сам Рошов режим. За израчунавање полупречника Рошовог режима се користи формула:

$$\frac{R_L}{a} \equiv x_L(q) \approx \frac{0.49q^{2/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1 + q^{1/3})},$$

Где a представља растојање између центара звезда, док је q однос њихових маса (M_1/M_2).



Подела система према Рошовом режиму

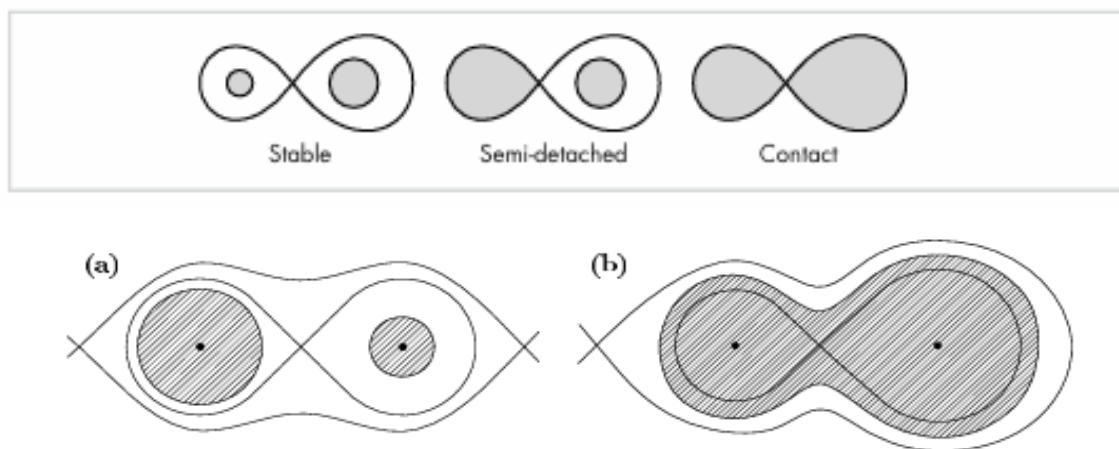
На основу тога колико су Рошови режими попуњени звезданом материјом, све системе делимо у три групе:

- **Раздвојени системи:** Код ових парова обе звезде су знатно мање од својих Рошових режима. Између њих нема директне размене масе, а главни међусобни утицаји су гравитационе плимске силе. Свака звезда еволуира скоро потпуно независно, као да је изолована.
- **Полураздвојени системи:** Ово је фаза у којој је једна звезда (најчешће она која се брже развијала) потпуно испунила свој Рошов режим. Тада материја почиње да истиче са ње кроз $L1$ тачку ка другој звезди, формирајући често акрециони диск. Овај процес значајно мења масе обе звезде.
- **Контактни системи:** У овом случају, обе звезде су се рашириле толико да су попуниле своје зоне и буквално се додирују. Оне тада деле заједнички спољашњи омотач гаса који их потпуно прекрива, па систем изгледа као једна звезда са два језгра. Ово су најчешће врло блиски системи који се крећу веома брзо.

Прекоконтактни системи

Постоји и екстремна врста, системи код којих материја прелива чак и изван спољашњих граница система. Ово стање је обично краткотрајно и често води ка спајању две звезде у једну велику звезду која се веома брзо ротира.

Ова подела на три типа заправо описује различите фазе у животу звезда. Један пар може почети као **раздвојен**, али како звезде старе и шире се, систем може прећи у **полураздвојену** или чак **контактну** фазу. Ови преласци су кључни јер тада долази до преноса масе који потпуно мења даљи развој обе звезде, а зна да доведе и до настанка објеката попут белих патуљака или неутронских звезда.



3. Астрофизика двојних звезда

3.1 Орбитални елементи и кретање бинарних система

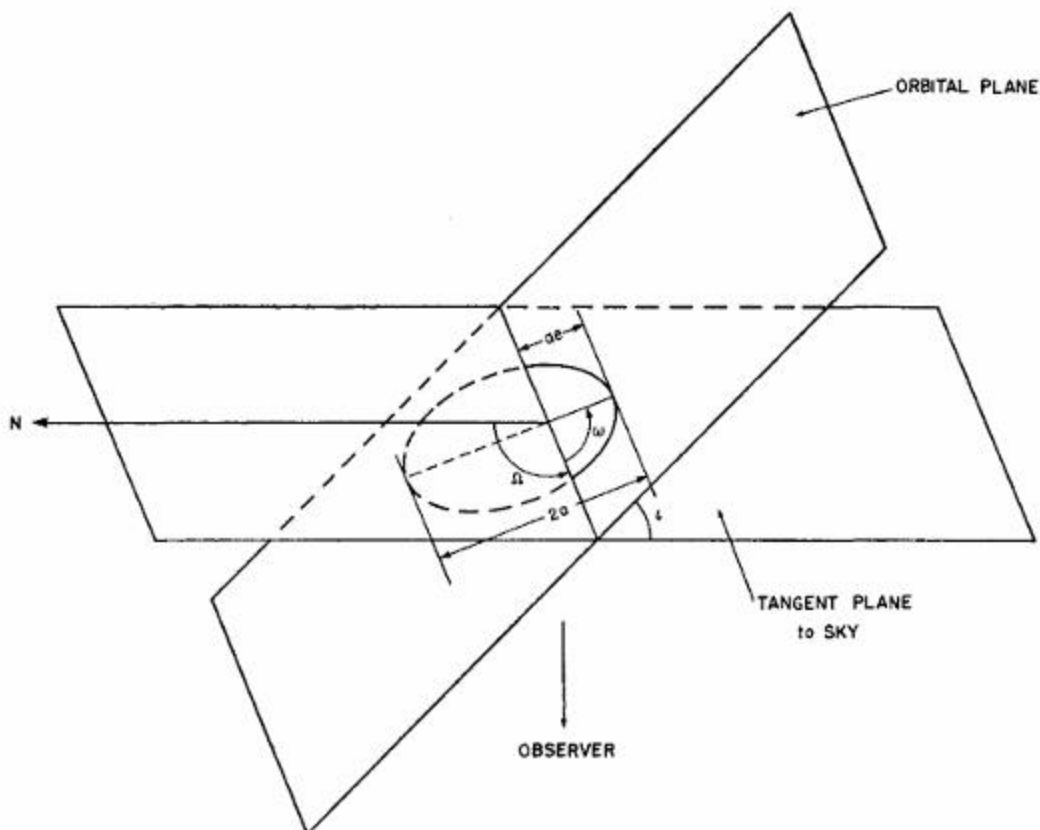
У двојним системима звезде се не крећу независно, већ круже око заједничког центра масе који се назива барицентар. Обе звезде налазе се и крећу у орбиталној равни. Положај барицентра директно зависи од маса обе компоненте, масивнија звезда се увек налази ближе центру и описује мању путању, док лакша звезда описује већу. Овај однос је дефинисан релацијом:

$$a_1 M_1 = a_2 M_2$$

Где M_1 и M_2 представљају масе звезда, док су a_1 и a_2 њихова растојања од центра масе. Збир ова два растојања ($a_1 + a_2$) представља велику полуосу система (a).

Да би се геометрија и кретање двојних звезда описала, користи се седам орбиталних елемената:

1. **Орбитални период (P):** Време које је потребно звездама да заврше један пун круг око заједничког центра масе. Он одређује временску скалу свих промена унутар система.
2. **Велика полуоса (a):** Представља просечно растојање између центара две звезде. Она дефинише стварну величину и размеру целог система.
3. **Ексцентрицитет (e):** Параметар који одређује колико је орбита издужена. Код савршено кружних орбита ексцентрицитет је једнак нули ($e = 0$), док веће вредности имају елипсе. Путање звезда су најчешће елипсе, па се растојање између њих стално мења. Тачка у којој су звезде најближе назива се **периастрон**, док се тачка где су најудаљеније назива **апастрон**.
4. **Инклинација (i):** Нагиб орбиталне равни у односу на правац посматрања са Земље. Овај угао је пресудан за посматрање система – ако је он близу 90° , долази до међусобног помрачења звезда. Такође, инклинација одређује који део стварне брзине кретања (V) можемо да измеримо као радијалну брзину: $V_{obs} = V \cdot \sin i$
5. **Време проласка кроз периастрон (T):** Тачан тренутак у којем се звезде налазе у тачки периастрона, односно на најмањем међусобном растојању.
6. **Лонгитуда узлазног чвора (Ω):** Угао који дефинише положај линије пресека орбиталне равни система и равни у којој се врши посматрање. Овај елемент служи за прецизно оријентисање система на небу.
7. **Аргумент периастрона (ω):** Угао који одређује како је сама елипса закренута унутар своје орбиталне равни. Он фиксира положај тачке периастрона у односу на линију чворова.



3.2 Одређивање звезданих маса

Маса представља најзначајнију физичку величину у астрофизици јер нам она говори о целокупном животу звезде, о њеној температури и сјају, па све до начина на који ће окончати своје постојање. Док се полупречник или температура могу проценити на основу зрачења, маса се не може директно измерити код појединачних, изолованих звезда. Двојни системи су једини извор ових података јер нам омогућавају да кроз гравитациону интеракцију звезда сазнамо њихову масу.

Кеплеров и Њутнов закон

За одређивање масе користи се Трећи Кеплеров закон, који дефинише везу између периода орбите и удаљености тела. Међутим, тек је Њутн својим законом универзалне гравитације омогућио да се из тог закона извуче податак о маси. У астрофизици двојних звезда, овај закон се користи у свом Њутновом облику:

$$(M_1 + M_2) \cdot P^2 = [4\pi^2 / G] \cdot a^3$$

Где су:

- M_1 и M_2 – масе звезда у килограмима;

- P – орбитални период изражен у секундама;
- a – велика полуоса орбите изражена у метрима;
- G – гравитациона константа ($6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$).

Ова формула представља основу гравитационе физике. Да би рачун био лакши, користи се упрошћена формула, тако што све величине пореде са Земљом и Сунцем. Када се период изрази у годинама, а велика полуоса у астрономским јединицама (AU), формула се своди на:

$$M_1 + M_2 = a^3 / P^2$$

Резултат је збир маса обе звезде изражен у масама Сунца ($M_\odot$).

Примена центра масе за раздвајање компоненти

Кеплеров закон нам даје само укупну масу система, али не и колика је маса сваке звезде. Да би смо то нашли, неопходно је посматрати кретање сваке звезде у односу на њихов барицентар. У прошлом поглављу 3.1 дефинисали смо барицентар, као и формулу која повезује појединачне масе звезда и њихово растојање. Комбиновањем ове две формуле, лако можемо израчунати појединачне масе ових звезда.

3.3 Функције масе и спектроскопски подаци

Код спектроскопских двојних звезда, подаци о кретању добијају се анализом **Доплеровог ефекта**. Периодично померање спектралних линија омогућава нам да измеримо радијалну брзину звезде, односно брзину којом се она креће директно ка нама или од нас. На основу ових мерења конструише се **крива радијалних брзина**, која приказује промену брзине током једног орбиталног периода.

У случајевима када је у спектру видљива само једна звезда, не можемо директно израчунати појединачне масе. Тада се уводи параметар познат као **функција масе**, означена са $f(m)$.

Функција масе се израчунава директно из података које добијамо посматрањем – орбиталног периода (P) и амплитуде брзине видљиве звезде (K_1):

$$f(m) = (P \cdot K_1^3) / (2\pi G)$$

Ова вредност је повезана са стварним масама звезда (M_1 и M_2) и инклинацијом (i) следећом формулом:

$$f(m) = (M_2^3 \cdot \sin^3 i) / (M_1 + M_2)^2$$

Где је M_2 маса невидљивог пратиоца, а M_1 маса звезде чији спектар посматрамо.

Главни значај функције масе је у томе што она дефинише **минималну могућу масу** невидљивог пратиоца. Пошто вредност фактора $\sin^3 i$ никада не може бити већа од 1, стварна маса пратиоца (M_2) мора бити једнака или већа од израчунате вредности функције масе. Овај податак је пресудан за одређивање тамних објеката у свемиру. Ако израчуната функција масе указује на објекат велике масе који не емитује светлост, то служи као један од најјачих доказа за постојање објеката попут црних рупа или неутронских звезда унутар бинарних система.

3.4 Полупречник и димензије звезда

Док се масе звезда одређују путем гравитације, њихове димензије се израчунавају анализом еклиптичних двојних звезда. Када се путање звезда налазе у равни наше линије вида, оне се периодично међусобно заклањају. Мерењем времена трајања тих помрачења могуће је израчунати стварне полупречнике звезда.

Главни алат за одређивање димензија је крива сјаја. То је графикон који приказује промену укупног сјаја (интензитета светлости) небеског објекта у функцији времена. Током помрачења, укупан сјај система опада, а облик тог пада зависи од величина звезда. За рачун су кључна четири момента контакта:

1. **t_1 (Први контакт):** Почетак помрачења, када диск мање звезде споља додирне диск веће звезде.
2. **t_2 (Други контакт):** Тренутак када мања звезда потпуно уђе испред или иза веће звезде.
3. **t_3 (Трећи контакт):** Тренутак када мања звезда почиње да излази из помрачења.
4. **t_4 (Четврти контакт):** Потпуни крај помрачења.

Ако из спектроскопских мерења познајемо орбиталну брзину (V), полупречнике веће (R_1) и мање звезде (R_2) моћемо наћи преко ових момената контакта:

$$R_1 + R_2 = V \cdot (t_4 - t_1) / 2$$

$$R_1 - R_2 = V \cdot (t_3 - t_2) / 2$$

Вредност полупречника је неопходна за одређивање температуре звезда. Према Штефан-Болцмановом закону, ако знамо полупречник и укупну количину енергије коју звезда зрачи, можемо тачно израчунати њену температуру.

Такође, димензије су пресудне за проучавање Рошових модела. Тек када измеримо стварне полупречнике звезда, можемо утврдити да ли је нека од њих попунила свој Рошов модел.

3.5. Однос маса–луминозност

Најзначајнији резултат проучавања двојних звезда је откриће директне везе између масе звезде и количине енергије коју она зрачи (луминозности).

Битно је да су двојни системи једине звезде у свемиру који омогућавају директно мерење масе. Код изоловане звезде не постоји гравитациона интеракција коју бисмо могли да измеримо, па је њена маса без двојних система практично неодредива. Тек када су астрономи, користећи методе из претходних поглавља, измерили тачне масе хиљада компоненти у двојним системима и упоредили их са њиховим сјајем, открили су правилност која важи за скоро све звезде, па и изоловане.

Физика иза овог односа је једноставна: већа маса ствара јачи гравитациони притисак на језгро звезде, што доводи до виших температура и много бржег сагоревања нуклеарног горива. Због тога масивније звезде не само да су сјајније, већ тај сјај расте екстремно брзо са сваким додатним грамом масе.

Формула за однос маса–луминозност:

$$L / L_{\odot} = (M / M_{\odot})^n$$

Где су:

- **L**: Луминозност звезде коју посматрамо
- **L_⊙**: Луминозност Сунца
- **M**: Маса звезде коју посматрамо.
- **M_⊙**: Маса Сунца

Експонент **n** се за већину звезда главног низа узима као **3,5**. То значи да ако је једна звезда у систему два пута масивнија од друге, она ће зрачити приближно **једанаест пута више енергије** ($2^{3.5} \approx 11,3$). Ова формула објашњава зашто мале промене у маси звезде изазивају огромне разлике у њеном сјају.

4. Вишеструке звезде

4.1 Дефиниција и основне особине вишеструких звезда

Вишеструки звезде су гравитационо повезани системи који се састоје од три или више звезда. Док се системи са две звезде могу описати донекле лако физичким законима кретања два тела, вишеструки системи су много сложенији. Они заузимају битно место у организацији свемира. Сложенији су од двојних звезда, али су знатно мањи и једноставнији од звезданих јата која садрже стотине или хиљаде чланова.

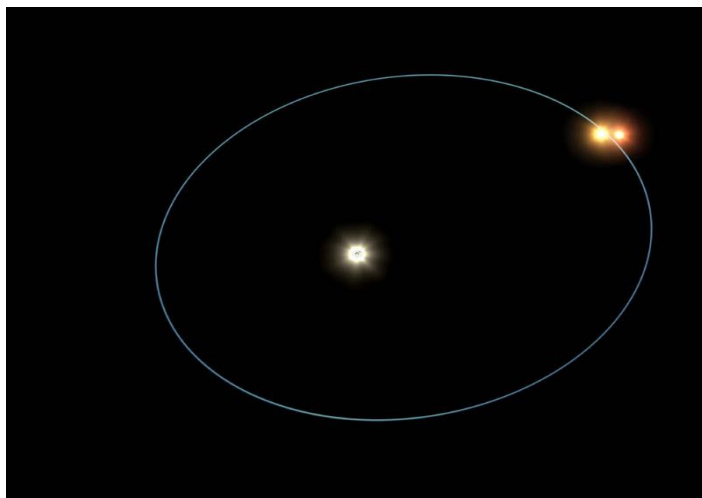
Динамичка природа

Основна физичка особина која дефинише вишеструке системе је међусобни гравитациони утицај свих компоненти истовремено. Док се код двојних звезда орбите могу предвидети са великом прецизношћу као стабилне елипсе, увођење треће или четврте звезде ствара ситуацију познату као **проблем N тела**.

У неорганизованом систему, овај проблем често доводи до хаотичног кретања и избацивања једне или више звезда из система. Због тога је основна карактеристика свих вишеструких звезда које посматрамо њихова способност да одрже унутрашњу равнотежу кроз специфичну структуру, што ће бити детаљно описано у поглављу о хијерархији.

Спектроскопска и визуелна детекција

За разлику од двојних звезда, код којих је често довољан један метод посматрања, дефинисање вишеструког система често захтева више метода. Многи системи који на први поглед изгледају као двојни, кроз спектроскопску анализу откривају присуство додатних, тамнијих пратилаца. Ова скривеност чини вишеструке системе једним од најзанимљивијих објеката за проучавање, јер често захтевају деценијама дуга посматрања како би се потврдила структура система и све његове компоненте.



4.2 Хијерархијска структура

Да би систем са три или више компоненти био дуготрајно стабилан, он мора да има хијерархијску структуру. Ово подразумева да су растојања између појединих подгрупа звезда знатно већа од растојања унутар самих подгрупа, чиме се гравитациони поремећаји своде на минимум.

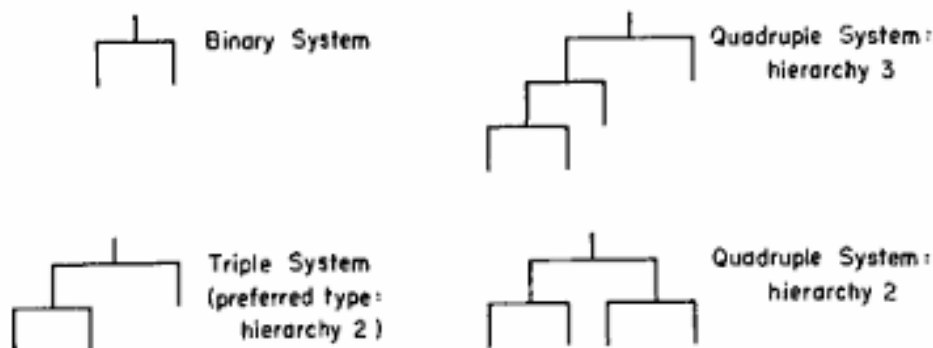
Основни хијерархијски типови

Према начину на који су звезде груписане, разликујемо неколико основних конфигурација:

- **Троструки системи (Тип „2+1”):** Најчешћа конфигурација која се састоји од блиског двојног пара и удаљене треће звезде. У овом систему, спољашња звезда кружи око заједничког центра масе унутрашњег пара.
- **Четвороструки системи:**
 - **Тип „2+2”:** Конфигурација два блиска двојна пара који круже један око другог. Ово је структурно најстабилнији тип за четири звезде.
 - **Тип „3+1”:** Хијерархија где четврта звезда кружи око већ формираног троструког система на великој удаљености.
- **Системи високог реда (5, 6 и више звезда):** Ови сложени системи прате принцип „nested orbits”. Вишеструкост се увек решава кроз додатне нивое гранања, на пример шестоструки системи су најчешће организовани као три двојна пара који чине хијерархијску целину (тип „(2+2)+2”).

Динамичка стабилност

Кључни фактор за опстанак ових типова је однос спољашњег и унутрашњег орбиталног периода (P_{out}/P_{in}). Посматрања показују да овај однос мора бити веома велик (обично преко 10:1) како би систем избегао хаотичне промене орбита. Хијерархијска стабла омогућавају нам да сваки ниво вишеструког система посматрамо као серију повезаних двојних кретања, што је суштина њихове стабилности.



4.3 Статистика и учесталост

Иако се у прошлости веровало да су вишеструки системи ретки, савремена осматрања показују да значајан проценат звезда припада системима са три или више компоненти. Тачно утврђивање ових података је и даље изазов због њиховог посматрања. Удаљени или тамни пратиоци често остају неоткривени чак и уз помоћ модерних телескопа.

Учесталост у односу на број компоненти

Учесталост система опада са повећањем броја звезда у њему. Статистике указују на следеће односе:

- **Двоструки системи** од 30% па до око 35%
- **Троструки системи** чине око 10% до 15% свих звезданих система.
- **Четвороструки системи** су знатно ређи и чине око 2% до 3%.
- **Системи са пет или више звезда** су екстремно ретки и представљају мање од 1%

Постоји јасна веза између масе звезда и вишеструкости. Масивне звезде скоро су увек део вишеструких система, док је код звезда мале масе, попут црвених патуљака, вишеструкост минимална.

Статистички подаци често нису исти различитим истраживачима. Разлог је то што се за детекцију вишеструкости морају користити различите технике истовремено (визуелна, спектроскопска и фотометријска). Многи системи који су деценијама класификовани као двојни, тек су напредним методама откривени као заправо троструки или четвороструки. Због тога се сматра да је стварни број вишеструких звезда у галаксији вероватно и већи од тренутних процена.

4.4 Динамика и стабилност

Кретање вишеструких звезда је много компликованије него код двојних. Док се две звезде крећу по правилним и углавном непроменљивим путањама, увођење трећег или четвртог члана доноси сталне промене у цео систем. Да би један такав сложени систем опстао дужи период, звезде морају да испуне одређене услове стабилности.

Услови стабилности

Најважнији услов за стабилност је међусобно растојање звезда. Да би систем дуго опстао, спољашња звезда мора да буде на довољно великој удаљености од унутрашњег пара. Овај однос се математички може приказати преко великих полуоса њихових путања:

$$Y = \frac{a_{out}}{a_{in}}$$

Овде a_{in} означава удаљеност између звезда унутрашњег двојног пара, а a_{out} представља удаљеност спољашње звезде од њиховог заједничког центра масе. Да би систем био стабилан, овај однос Y мора бити већи од одређене критичне вредности. У зависности од маса звезда, тај однос углавном мора бити већи од 5 или чак 10. Ако су унутрашње и спољашње растојање превише слични, гравитационе силе постају хаотичне, што често доводи до промене путања и избацивања најлакше звезде из система.

Козаи–Лидов механизам

Посебан физички процес дешава се код звезда где су путање унутрашњег пара и спољашње звезде нагнуте једна у односу на другу под углом већим од око 39° . Ова појава се назива Козаи–Лидов механизам.

Под утицајем гравитације спољашње звезде, нагиб путање и њена издуженост почињу периодично да се мењају како би се очувао укупни угаони момент система. То означава да путања унутрашњег пара наизменично прелази од круга до издужене елипсе. Овај механизам је изузетно важан јер омогућава унутрашњим звездама да се у појединим тренуцима нађу на веома малом међусобном растојању.

Плимне силе

Када се унутрашње звезде, због издужене путање, нађу веома близу једна другој, између њих почињу снажно да делују плимне силе. Ове силе узрокују деформације у облику самих звезда, што ствара унутрашње трење и доводи до губитка орбиталне енергије која се претвара у топлоту.

Овај процес постепено смањује растојање међу њима и заобљава њихову путању, која временом постаје круг. Такође, плимне силе постепено изједначавају време које је звезди потребно да се окрене око своје осе са временом које јој треба да обиђе круг око суседне звезде, чиме се постиже синхронизовано кретање. Ове промене смирују тај пар током дужег времена и чине га стабилнијим, да може да дуго опстане под утицајем осталих звезда у систему.

5. Еволуција вишеструких звезда

5.1 Настанак вишеструких звезда

Процес формирања звезда почиње у великим међузвезданим просторима који су испуњени густим и хладним облацима гаса и прашине, такозвани молекуларни облаци. Због сопствене гравитације, ови велики облаци у једном тренутку губе равнотежу и почињу да се непрестано скупљају ка свом центру.

Како се облак смањује, његова густина нагло расте, што доводи до појаве која се назива фрагментација. То значи да облак престаје да се скупља као једно, већ почиње да се цепа на више мањих и гушћих делова. Сваки од тих фрагмената наставља да се развија самостално, постајући зачетак будуће звезде, односно протозвезда. Пошто се од почетног облака често формира више протозвезда, звезде ретко настају саме, већ углавном као део двојних или вишеструких система.

Фактор од кога зависи да ли ће систем имати три, четири или више звезда је брзина ротације почетног облака. Како се облак смањује, он ротира све брже. Брза ротација ствара центрифугалну силу која не дозвољава материјалу да се скупи у једну централну тачку, већ га шири у раван диска и тера га да се подели на неколико делова који почињу да круже један око другог. Ово објашњава зашто су двојне и вишеструке звезде природна и логична последица рођења звезда, а не редак и случајан догађај у свемиру.

5.2 Режији преноса масе и утицај трећег тела

У почетној фази многи двојни системи могу бити раздвојени, што значи да ниједна звезда не испуњава свој Рошов режим. У тој фази свака звезда еволуира скоро као изолована звезда. Међутим, како масивнија звезда троши гориво у језгру, она се шири и може касније започети пренос масе.

Да бисмо разумели како се вишеструки системи развијају, морамо погледати када и на који начин почиње пренос масе између звезда. Животни век једне звезде дели се на фазе, а тренутак када пренос масе отпочне одређује следеће случајеве еволуције:

- **Случај А:** Пренос масе почиње веома рано, док је звезда још увек млада и стабилно сагорева водоник у свом језгру (ова фаза се у астрономији назива главни низ).
- **Случај В:** Преливање гаса почиње касније, након што звезда потроши водоник у језгру, али није почела још та сагорева хелијум. Тада звезда почиње нагло да се шири и прераста у црвеног дина.
- **Случај С:** Ово је најкаснији режим, где пренос масе отпочиње тек при самом крају живота звезде, када она већ увелико сагорева хелијум у свом језгру.

Код двојних звезда, најчешћи је **Случај В**. Разлог томе је што су звезде на почетку свог живота углавном довољно удаљене једна од друге, па је потребно да масивнија звезда пуно остари и рашири се како би прешла границу гравитационог утицаја свог суседа и почела да му предаје материју. **Случај С** се дешава када су звезде у систему на почетку свог живота изузетно удаљене једна од друге и имају веома широке орбите.

Међутим, код вишеструких звезданих система, ствари се одвијају потпуно другачије због сталног присуства трећег тела. Као што је објашњено у претходном поглављу, гравитација удаљене треће звезде непрестано ремети кретање унутрашњег пара. Кроз Козаи-Лидов механизам и деловање плимних сила, унутрашње звезде се доста приближавају једна другој, што чини да њихова орбита буде доста блиска.

Ова близина мења услове за еволуцију. Пошто су звезде сада баш близу, простор који свака од њих гравитационо контролише постаје доста мањи. То значи да масивнија звезда унутрашњег пара уопште не мора да чека дубоку старост и фазу црвеног џина да би испунила своју зону утицаја. Због тога вишеструки системи често могу превремено ући у **Случај А**.

Чим звезда мало напредује у свом развоју, чак и пре него што покаже било какве знаке старења, њени спољашњи слојеви гаса почињу да се преливају на суседну звезду. Оваква превремена размена гаса потпуно мења даљи животни ток обе звезде: мењају се њихове коначне масе, брзина старења и начин на који ће завршити свој живот. Присуство трећег тела не мења само путање, већ и одређује режим еволуције звезде.

5.3 Фаза заједничког омотача

У фазама веома брзог и нестабилног преноса масе унутар звезданих система, долази до настанка заједничког омотача. Овај процес представља једну од најдраматичнијих и најкраћих фаза у животу звезда.

Настанак заједничког омотача

Када једна звезда у систему почне убрзано да губи материју, гас се прелива ка суседној звезди огромном брзином. Уколико звезда која прима материју не може да прихвати толику количину гаса од једном, он нема времена да се спусти на њену површину. Гас почиње да се скупља око звезда и убрзо потпуно гута обе звезде унутрашњег пара. На тај начин настаје један велики, заједнички облак гаса у чијем се средишту налазе два звездана језгра.

Код вишеструких звезда, овај омотач може бити још комплекснији. Заједнички омотач унутрашњег пара може се некад толико проширити да обухвати и трећу, спољашњу звезду. Тако цео систем може бити привремено обавијен заједничким облаком гаса, што утиче на кретање свих компоненти.

Процес кочења и губитка енергије

Овај омотач ствара додатне силе између звезда. Пошто се звездана језгра сада крећу кроз густу средину гаса, она трпе снажан отпор који делује као кочница. Треће између звезда и гаса одузима систему орбиталну кинетичку енергију и претвара је у топлоту.

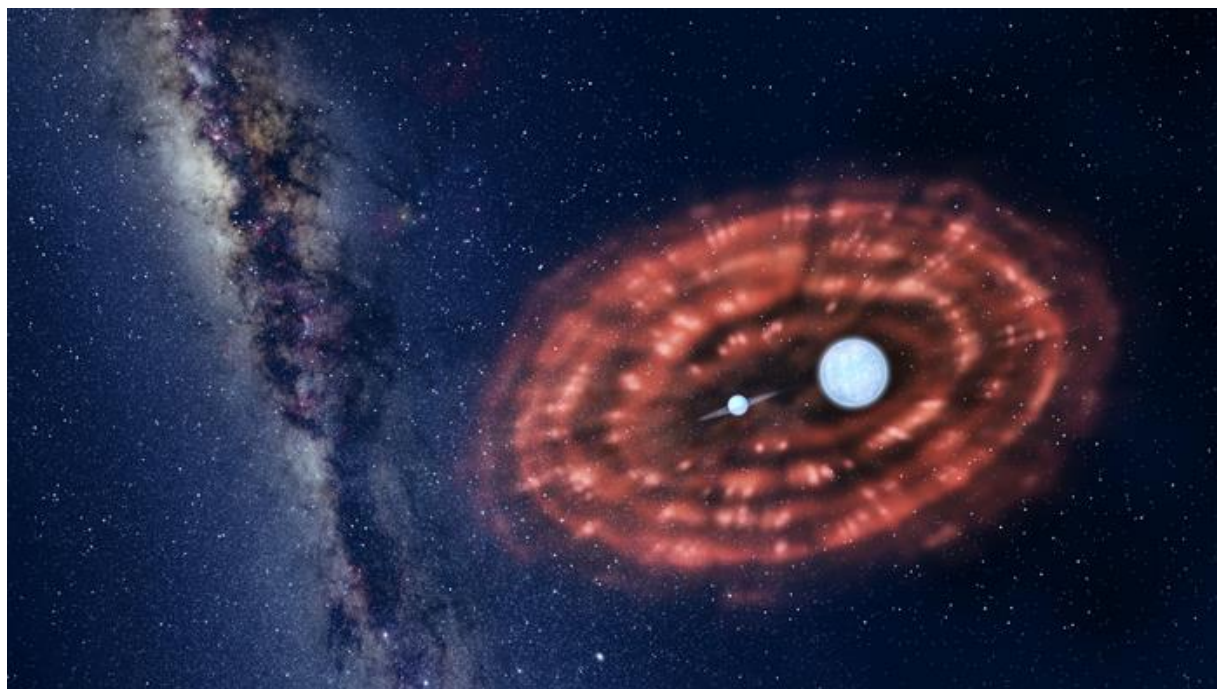
Због губитка енергије, звезде мењају своје удаљености. Оне почињу да се приближавају једна другој, смањујући своје међусобно растојање великом брзином, док се омотач око њих загрева и шири.

Исходи еволуције заједничког омотача

Овај буран процес се може завршити на два начина:

1. **Избацивање омотача и настанак компактних система:** Ако је ослобођена орбитална енергија звезда довољно велика, она успева да потпуно избаци заједнички омотач у међузвездани простор пре него што се звезде сударе. Када гас нестане, иза њега остаје изузетно близак пар звезда. Овај компактни пар наставља да живи и кружи унутар ширег вишеструког система.
2. **Спајање звезда:** Ако је отпор средине превише јак, а енергија недовољна да избаци гас, унутрашње звезде ће се на крају потпуно сударити и спојити у једну. Тиме унутрашњи пар нестаје, а почетни вишеструки систем се знатно мења, где у случају троструког система настаје двојни, где новонастала звезда кружи око спољашње.

Еволуција заједничког омотача је због тога главни начин на који настају изразито блиски или контактни парови звезда



5.4 Крајњи исходи еволуције

Након што вишеструки звездани системи прођу кроз све своје динамичке фазе, они долазе до свог коначног еволутивног стања. Ови крајњи исходи могу бити:

1. Спајање звезда

Ово је најчешћи исход у компактним системима где долази до фазе заједничког омотача. Услед његовог утицаја, као што смо већ описали, настаје једна звезда од унутрашњег пара, његовим спајањем.

2. Распад система и избацивање звезда

Овај исход је директна последица звезданих ветрова и губитка масе. Када унутрашњи пар услед појачаних ветрова брзо губи своју материју, његова орбита се шири много брже од спољашње орбите. То нарушава онај кључни однос удаљености који систему осигурава стабилност.

Када гравитационе силе између звезда постану превише јаке, систем улази у стање хаоса. То доводи до наглог мењања путања, што доводи до тога да најлакша звезда у систему (најчешће спољашња) добије огромно убрзање и буде буквално избачена у међузвездани простор. Систем се тиме потпуно распада на једну усамљену звезду која лута свемиром и преостали двојни пар.

3. Формирање компактних система

Ако систем успе да прође све фазе преноса масе и избаци заједнички омотач у свемир пре него што дође до судара, звезде унутрашњег пара преживљавају. Међутим, пошто су на екстремно малим растојањима, оне убрзано троше своје преостало гориво и умиру.

Еволуцијом се унутрашњи пар претвара у компактне објекте, најчешће у беле патуљке, а врло ретко у неутронске звезде или црне рупе. На тај начин настају веома егзотични и ретки вишеструки системи, где око изузетно блиског пара који чине бели патуљак и млада звезда, и даље кружи удаљени трећи пратилац.

6. Примери вишеструких звезда

6.1 Алфа Кентаури

Систем Алфа Кентаури представља вишеструки систем који је нама најближи, удаљен око 4,37 светлосних година. Налази се у јужном сазвежђу Кентаура. Овај систем је због своје близине и великог сјаја предмет истраживања још од античких времена. Научни значај овог система је што пружа идеалне услове за проучавање звезданог развоја, динамичке стабилности и формирања планета под утицајем вишеструких гравитационих сила.

Овај систем је састоји се од три звезде, са једноставном и јасном хијерархијом. Састоји се од унутрашњег двојног пара који чине две звезде главног низа, Алфа Кентаури А и Алфа Кентаури В. Ове две звезде круже око заједничког центра масе по изразито елиптичној орбити. Период једне револуције износи око 79,91 годину. Њихово међусобно растојање значајно варира, од 11,2 астрономске јединице у најближој тачки до 35,6 астрономских јединица у најудаљенијој тачки путање. Око овог пара се на великој удаљености од око 13.000 астрономских јединица налази трећа звезда, Алфа Кентаури С, познатија као Проксима Кентаури. Њен орбитални период око барицентра је изразито дуг и процењује се да је око 550.000 година.

Звезда	Спектрална класа	Маса ($M_{\odot}$)	Радијус ($R_{\odot}$)	Луминозност ($L_{\odot}$)	Процењена старост
Алфа Кентаури А	G2V(жути патуљак)	1,100	1,223	1,519	око 4,85 милијарди год.
Алфа Кентаури В	K1V(наранџасти патуљак)	0,907	0,863	0,500	око 4,85 милијарди год.
Проксима Кентаури	M5.5Ve(црвени патуљак)	0,122	0,154	0,0017	око 4,85 милијарди год.

Алфа Кентаури је због свог великог сјаја била позната још древним народима, а у своје списе уврстио ју је и антички астроном Птолемеј. Ова звезда је постала чувена када је почетком деветнаестог века помоћу ње први пут у историји успешно измерена удаљеност до неке звезде. По начину посматрања, његов главни пар спада у визуелне двојне звезде јер се кроз обичан телескоп лепо виде две засебне звезде, док је Проксима откривена много касније помоћу напреднијих телескопа. Према Рошовом моделу, Алфа Кентаури је

раздвојени систем, што значи да су звезде довољно далеко једне од других и стабилно бораве унутар својих Рошових зона.

Појединачне особине ових звезда показују колико су оне различите. Алфа Кентаури А је веома слична нашем Сунцу, али је мало већа, масивнија и сјајнија. Алфа Кентаури В је мало мања и хладнија од Сунца, па због мање масе стари доста спорије од свог већег пратиоца. Најзад, Проксима Кентаури је мали црвени патуљак са свега 12% Сунчеве масе. Она је позната као веома немирна, еруптивна звезда која често доживљава нагле скокове у сјају праћене снажним зрачењем.

Будућност овог система је повезана са правилима о старењу звезда која смо раније описали. За око пет милијарди година, Алфа Кентаури А ће прва потрошити своје гориво и нагло се претворити у црвеног џина. Тада ће испунити своју Рошову зону и систем ће прећи у фазу преноса масе. Гасни облак ће потпуно прогутати обе звезде и створити заједнички омотач, а када се он одува, од унутрашњег пара остаће само један бели патуљак и звезда В. Са друге стране, Проксима ће живети још хиљадама милијарди година. Ипак, пошто ће централни пар временом изгубити доста масе кроз звездане ветрове, орбита Проксима може постати хаотична, што би у далекој будућности могло да доведе до њеног избацивања из система.

Поред динамике самих звезда, овај систем је занимљив и због својих планета. Око Проксима Кентаури откривене су 3 егзопланете, а једна од њих, Проксима б, је слична Земљи и верује се да на њој постоји течна вода. Друга је Проксима с, знатно масивнија планета (такозвана Супер-Земља или мини-Нептун), која се налази на много већој удаљености где владају екстремно ниске температуре. Прошле године потврђена је и **Проксима d**, која спада у најлакше икада пронађене егзопланете са масом од свега две трећине Земљине и налази се веома близу самој звезди.



6.2 Сиријус

Сиријус, познат и под називом Алфа Великог Пса, најсјајнија је звезда на нашем небу, због чега је био важан још у астрономији и митологији Египћана и Грка. Овај систем је изазвао револуцију у астрофизици када је немачки астроном Фридрих Бесел уочио неправилности у кретању Сиријуса. На основу тога, Сиријус је класификован као астрометријска двојна звезда, будући да је постојање пратиоца доказано гравитационим утицајем пре него што је видно уочен. Пратиоца је тек касније помоћу телескопа први пут визуелно уочио Алван Грејам Кларк. То је тада био велики изазов, јер огроман сјај Сиријуса А скоро потпуно заслепљује телескопе и скрива другу звезду.

Сиријус је некомпактан двојни систем. Према Рошовом моделу, Сиријус представља раздвојени систем где обе компоненте стабилно бораве унутар својих Рошових зона. Систем има изразито елиптичнау путању са великим ексцентрицитетом и орбиталним периодом од 50,13 година. Због овакве структуре, међусобна удаљеност звезда варира од 8,2 астрономске јединице до 31,5 астрономских јединица у најудаљенијој тачки путање. Такође је битно и да се читав систем тренутно креће према нашем делу галаксије, због чега ће његов сјај стално расти у наредних неколико десетина хиљада година.

Звезда	Спектрална класа	Маса ($M_{\odot}$)	Радијус ($R_{\odot}$)	Луминозност ($L_{\odot}$)	Процењена старост
Сиријус А	A1V	2,063	1,711	25,4	око 242 милиона година
Сиријус В	DA2	1,018	0,008	0,056	око 242 милиона година

Појединачне особине звезда откривају један од највећих еволутивних парадокса у астрономији. Док је Сиријус А бљештава плаво-бела звезда главног низа, Сиријус В је први откривени бели патуљак у историји. Његов значај за физику је огроман јер је њиме први пут доказано постојање посебног стања материје под огромним притиском. У овом стању, маса читаве једне звезде успева да се збије у запремину мању од Земље, због чега овај бели патуљак има веома велику густину. Такође, постоје историјски записи из античког доба где Птоломеј описује Сиријус као црвену звезду. С обзиром на то да је Сиријус А одувек био плаво-бео, једна од теорија је да је Сиријус В тада и даље био црвени цин, пре него што је прешао у данашњег белог патуљка.

Сиријус В је у прошлости био доста већа звезда од Сиријуса А, због чега је први потрошио своје нуклеарно гориво и одувао своје спољашње слојеве у свемир. У далекој будућности, Сиријус А ће имати сличну судбину. Како се Сиријус А буде ширио у

црвеног цина, систем ће напустити тренутни раздвојени режим. Бели патуљак ће почети да повлачи гас са Сиријуса А, што ће променити орбиталне периоде и еволуцију обе звезде, где ће систем постати доста ближи и чиниће га два бела патуљка.

Динамика овог система утиче и на његову структуру планета. Његова веома елиптична путања ствара сталне и снажне поремећаје у гравитационом пољу због чега научници данас нису пронашли ниједну егзопланету у овом систему. Свако тело које би кружило преблизу Сиријуса А било би спржено његовим зрачењем, док би планете у ширим путањама биле гравитационо нестабилне и брзо избачене у међузвездани простор услед снажног орбиталног кретања Сиријуса В.



6.3 Алгол

Алгол је систем које се налази у сазвежђу Персеј, посматран је још од давнина и због свог необичног периодичног губитка сјаја је симболизовао око чудовишта Медузе, отуда и његов арапски назив демонска звезда. Алгол је постао први откривени пример еклиптичне двојне звезде, када је у осамнаестом веку уочено да се његов сјај правилно смањује на скоро свака три дана услед делимичног помрачења звезда. Алгол је заправо близак троструки систем, у којем унутрашњи пар чине две веома блиске звезде. Трећа звезда, или Алгол С, је откривена тек касније модерним методама помоћу спектографа. За разлику од претходних примера, Алгол према Рошовом моделу представља полураздвојени систем, где једна звезда попуњава своју Рошову зону, што омогућава сталано преливање материје између звезда.

Звезда	Спектрална класа	Маса ($M_{\odot}$)	Радијус ($R_{\odot}$)	Луминозност ($L_{\odot}$)	Процењена старост
Алгол А	B8V	3,170	2,730	182,0	око 570 милиона година
Алгол В	K0IV	0,700	3,480	6,9	око 570 милиона година
Алгол С	A7V	1,760	1,680	10,0	око 570 милиона година

Главна звезда, Алгол А, је масивна, плаво-бела звезда главног низа која има високу температуру и велики сјај. Алгол В, је хладнији, наранџасти подцин који има доста мању масу. Пошто су две унутрашње звезде изузетно близу, снажна гравитација је потпуно деформисала Алгол В. Она га је издужила у јајолики облик, који се поклапа са границама његове Рошове зоне. Трећа звезда, Алгол С, је звезда главног низа која кружи на сигурној удаљености око овог пара и за сада нема утицаја на њихову унутрашњу динамику. Период унутрашњег пара је око 2.9 дана, док Алгол С обиђе око овог пара за 680 дана.

Посебан значај овог система је његов чувен **Алголов парадокс**, који доказује како близина унутрашњих звезда мења њихово старење. Стандардна теорија звездане еволуције каже да веће звезде брже троше нуклеарно гориво и самим тим брже старе. Међутим, код Алгола то се чини немогуће: мањи Алгол В је већ еволуирао у подцина, док масивнији Алгол А и је и даље звезда главног низа. Овај парадокс се објашњава ранијим преносом масе преко Лагранжове тачке L_1 . Раније је Алгол В био доста већа компонента која је прва почела да стари и да се шири. Када је испунио своју Рошову зону, започео је пренос масе у којем је Алгол В буквално огољен. Изгубио је већину својих спољашњих слојева који су се прелили на Алгол А, па је зато она данас већа звезда.

У будућности, Алгол В ће наставити да губи своју преосталу масу, док ће Алгол А, убрзати свој развој на главном низу. Када Алгол А коначно потроши водоник у свом језгру, он ће почети нагло да прелази у фазу црвеног дна. Пошто су оне баш близу, Алгол А ће врло брзо испунити своју Рошову зону. То ће покренути нови обрнути процес у којем ће материја почети да тече у супротном смеру. Настали гасни омотач ће највероватније потпуно обухватити обе звезде, стварајући заједнички омотач и веома близак и компактан пар.

Алгол карактерише и изузетно снажна магнетна активност унутрашњег пара. Преплитање магнетних поља звезда А и В са константним преносом масе узрокује честе и снажне експлозије у виду рендгенског и радио-зрачења. Магнетни циклуси Алгола В изазивају структурне промене што доводи до промена орбиталног периода читавог система. Такође, сматра се да је Алгол пре неколико милиона година прошао на малој удаљености од Сунчевог система. У том периоду, он је био најсјајнија звезда на ноћном небу, а његова гравитација било је довољно јака да је могла да поремети наш систем и повећа број комета које улазе у њега.

Што се тиче планета, савремена посматрања нису пронашла никакве доказе о постојању егзопланаета око Алгола. Снажна гравитација три масивне блиске звезде, као и разорно зрачење и константна размена гасова чине Алгол неповољним за опстанак било каквих планета.



6.4 Мизар и Алкор

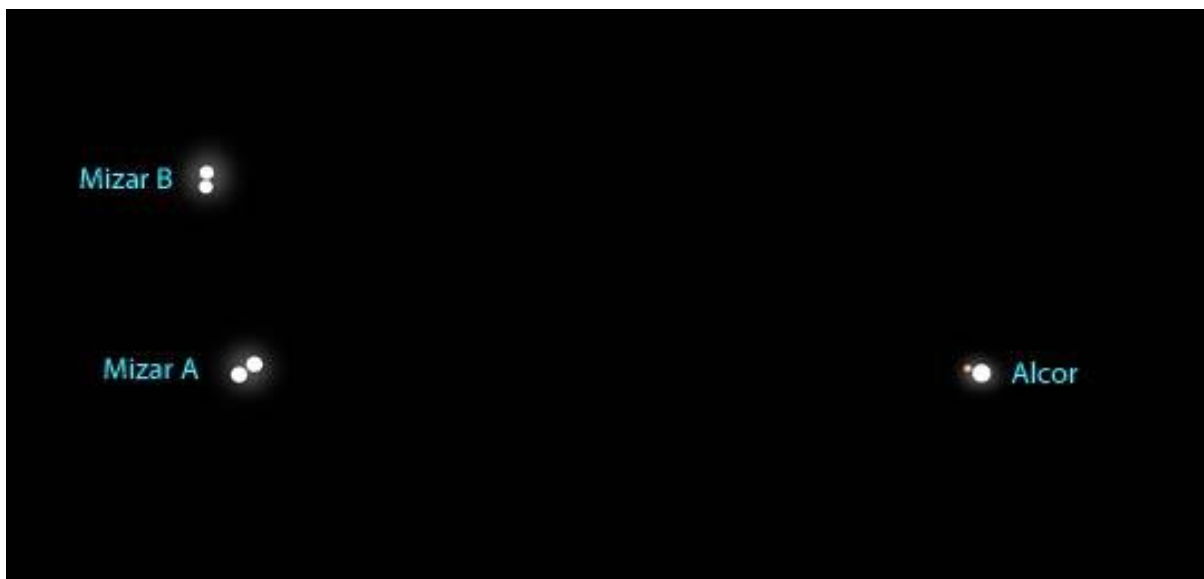
Мизар је систем који се налази у сазвежђу Великог Медведа, као средња звезда у његовом репу. Заједно са системом Алкор, још од давнина је служио као тест провере вида. У старом и средњем веку, војске су користиле ове две звезде да тестирају оштрину вида код војника, онај ко је могао голим оком да раздвоји Алкор и Мизар се сматрао да има одличан вид. Овај систем је посебан и по томе што је то прва двојна звезда у историји која је откривена помоћу телескопа, средином седамнаестог века. Такође, крајем деветнаестог века, Мизар А је постао прва звезда за коју је помоћу спектроскопије откривено да је близак двојни систем, што дотадашњи телескопи нису могли. Иако делује као обичан пар звезда, Мизар је заправо веома сложен систем који чини чак шест звезда повезаних гравитацијом. Према Рошовом моделу, ово је потпуно **раздвојени систем** јер су његови чланови толико далеко једни од других да немају никакав директан утицај.

Звезда (Подсистем)	Спектрална класа	Маса ($M_{\odot}$)	Радијус ($R_{\odot}$)	Луминозност ($L_{\odot}$)	Процењена старост
Мизар А (унутрашњи пар)	A2Vp + A2Vp	~2,5 + ~2,2	~2,4 (просечно)	~30,0	око 500 милиона година
Мизар В (унутрашњи пар)	A7V + A7V	~1,6 + ~1,6	~1,6 (просечно)	~11,0	око 500 милиона година
Алкор (удаљени пар)	A5V + dM	~1,8 + ~0,3	~1,8 + ~0,3	~13,0	око 500 милиона година

Разлог зашто овај систем чини чак шест звезда крије се у његовој унутрашњој структури, где су звезде организоване у парове унутар већих парова. Главни део који видимо кроз обичан телескоп чине две звезде, Мизар А и Мизар В, које круже једна око друге на великом растојању. Међутим, откривено је да се Мизар А састоји од две велике беле звезде које су веома близу и брзо се окрећу око заједничког центра. Исто важи и за Мизар В, који се такође састоји из две звезде. На великој удаљености од једне светлосне године налази се звезда Алкор, за коју је тек недавно откривено да и она има свог пратиоца, хладног црвеног патуљка. Тако се овај систем састоји из три пара, односно шест звезда укупно. За разлику од Сиријуса или Алгола, у систему Мизар-Алкор све звезде су још увек младе и стабилне.

С обзиром на то, еволуција ових звезда почеће тек за неколико стотина милиона година. Такође, због превише сложених гравитационих сила унутар система до данас није пронађена ниједна егзопланета.

Поред тога, Мизар представља прву двојну звезду која је икада фотографисана. Године 1857. , астрономи су помоћу раних фотографских плоча успели да направе први трајни снимак овог система. На тој слици су се јасно видели Мизар А и Мизар В, чиме је показано да се фотографија може користити у астрономији. Мизар А је такође 1996. године постао први систем чија је комплетна орбита снимљена у изузетно високој резолуцији помоћу оптичке интерферометрије. Тиме су добијени детаљни снимци кретања две звезде које су толико близу да изгледају спојено.



7. Закључак

На основу свега што је обрађено у овом раду, можемо извући неколико кључних закључака о двојним и вишеструким звезданим системима. Пре свега, ови системи нам показују да се звезде у свемиру ретко налазе саме. Иако због нашег Сунца углавном мислимо да су звезде изоловане, кроз овај рад смо увидели да је већина звезда у нашој галаксији део сложенијих система са два или више чланова.

Ови системи су од великог значаја за астрономију јер представљају једини директан начин на који научници могу израчунати основне особине звезда, пре свега њихову масу и величину. Користећи законе гравитације и посматрајући како звезде круже око заједничког центра, можемо доћи до података које за изоловане звезде не бисмо могли измерити.

Такође, кроз физички део рада и Рошов модел научили смо да близина друге звезде потпуно мења начин на који звезде старе. Када звезде у блиским системима старе, гас почиње да се прелива са једне на другу. Овај процес нам показује да маса звезде није нешто што је непроменљиво, већ се под утицајем суседне звезде може променити, што касније мења судбину тих звезда.

Кроз четири примера видели смо како ови модели функционишу у стварности. Алфа Кентаури нам је показала пример нама најближег, раздвојеног система где звезде живе и старе независно једна од друге. Сиријус нам је приказао шта се дешава на крају живота звезде, где је од преноса масе данас остао бели патуљак. Систем Алгол нам је дао доказ за преливање масе кроз „Алголов парадокс”, где мања звезда изгледа старије јер је своје слојеве већ прелила на већу звезду. На крају, шестоструки систем Мизар-Алкор нам је показао колико везе између звезда могу бити сложене на великим удаљеностима, али и колико је овај систем био важан научницима кроз историју да тестирају прве телескопе, прве фотографије и нове напредне методе посматрања.

На самом крају, можемо рећи да нам проучавање двојних и вишеструких звезда пружа много реалнију слику свемира. Кроз њих много боље разумемо како звезде утичу једна на другу и како заједно функционишу у свемиру. Зато је ова тема веома важна за астрономију, јер нам помаже да на потпуно нови начин сагледамо развој звезда.

8. Литература

- Binary and Multiple Systems of Stars, Alan H. Batten
- Double and Multiple Stars and How to Observe Them, James Mullaney
- Evolutionary Processes in Binary and Multiple Stars, Peter Eggleton
- Understanding Variable Stars, John R. Percy
- OpenStax Astronomy - <https://openstax.org/books/astronomy>
- NASA Multiple Star Systems - <https://science.nasa.gov/>
- Википедија (sr) - <https://sr.wikipedia.org/>
- Wikipedia (en) - <https://www.wikipedia.org/>
- Britannica, Binary Star - <https://www.britannica.com/>