

Математичка гимназија у Београду

**МАТУРСКИ РАД**

ИЗ ПРЕДМЕТА АСТРОНОМИЈА

# **ПЛАНЕТАРНЕ МАГЛИНЕ**

Ментор: Слободан Спремо

Ученик: Александар Јовановић, 4А

Београд, јун 2019.

## Садржај

<b>1. Увод</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Историја планетарних маглина</b> .....	<b>4</b>
<b>3. Еволуција планетарних маглина</b> .....	<b>6</b>
3.1 Живот звезда .....	6
3.2 Асимптотска грана цинова .....	9
3.3 Утицај интерагујућих ветрова на формирање планетарних маглина .....	9
<b>4. Састав планетарне маглине и њене емисионе линије</b> .....	<b>11</b>
<b>5. Централна звезда</b> .....	<b>12</b>
<b>6. Морфологија планетарних маглина</b> .....	<b>13</b>
6.1 Утицај двојних звезда .....	14
<b>7. Животни век планетарних маглина</b> .....	<b>15</b>
<b>8. Расподела планетарних маглина у свемиру</b> .....	<b>15</b>
<b>9. Удаљеност планетарних маглина</b> .....	<b>16</b>
<b>10. Мали избор познатих планетарних маглина</b> .....	<b>16</b>
<b>11. Закључак</b> .....	<b>18</b>
<b>Литература</b> .....	<b>19</b>

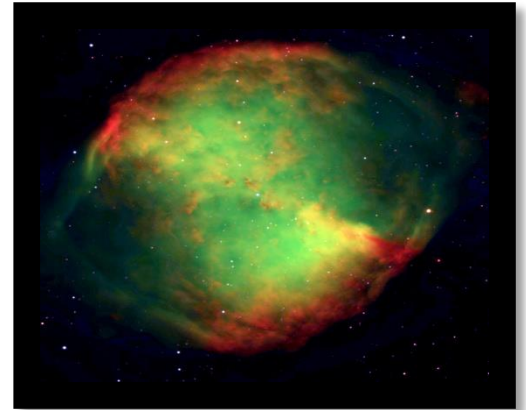
## 1. Увод

Планетарне маглине представљају астрономску појаву која настаје као последица еволуције лаких и средње тешких звезда. Након фазе звездиног живота познате под именом Црвени џин услеђује период бурне емисије саставних елемената звездиног језгра, који након интеракције са електромагнетним таласима емитованих од стране централне звезде у виду топлотног зрачења прелазе у јонизовано стање. Тај јонизовани гас видимо као невероватне облаке фасцинанте морфологије и јарких боја. Занимљива је чињеница да при својим првим сусретима са планетарним маглинама, упркос њиховој лепоти, астрономи нису били превише заинтересовани, а тек век касније почеће да разумеју како оне заиста функционишу, како настају и која је њихова улога у космосу.

У овом раду осврнућемо се на историју открића планетарних маглина, бавићемо се питањима као што су: „ Како долази до њиховог формирања?“, „Какве то звезде могу проузроковати њихов настанак?“, „Какве планетарне маглине могу да постоје?“, „Где се оне налазе?“, „Колики им је животни век и зашто су тако значајне?“ .

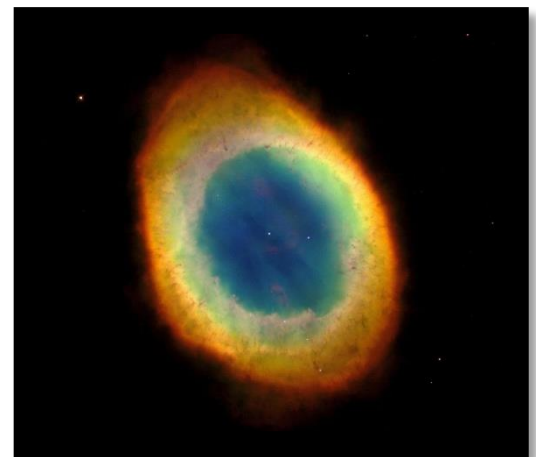
## 2. Историја планетарних маглина

Прву планетарну маглину уочио је француски астроном Шарл Месје дванаестог јула 1764. године приликом свог лова на комете. Данас нам је позната под називом Месије 27, али када ју је открио Месије је није препознао као нешто ново, и убрзо је сврстава у свој каталог свемирских објеката које треба избећи при потрази за кометама. Описао ју је као мрљу светлости у сазвежђу Лисице не уочавајући звезду у њеном центру.



Слика 1. Месије 27

Убрзо након тога 1779. године откривена је планетарна маглина М57 (Ring Nebula), док годину дана касније француски астроном Пјер Мешен открива М76, а потом и М97. Назив „Планетарне маглине“ први им је дао Вилхелм Хершел, проналазач планете Уран, зато што су га подсећале на зеленкасте прстенове планета. Са појавом телескопа бољих резолуција, коначно је било могуће разликовати оне маглине сачињене од звезда (као што су галаксије) од маглина претежно изграђених од гасова. Оно што раздваја планетарне маглине од осталих типова дифузних маглина је посебна структура и централна звезда, а након употребе спектроскопије разлике су постале још уочљивије. Први спектар планетарне маглине забележио је Вилхелм Хагинс 29.8.1864. године.



Слика 2. Месије 57

За разлику од звезда, уместо континуалног спектра доминирао је дискретан скуп емисионих линија. Прва идентификована емисиона линија била је Балмерова линија водоника ( $H\beta$ ), уз присуство јачих али до тада неидентификованих линија. Са обзиром да су спектри звезда и планетарних маглина потпуно различити, закључено је да њихов сјај не потиче од рефлектоване светлости звезде.

Хершел је први хипотетисао да планетарне маглине примају енергију од оближње звезде, међутим, читав век је прошао без даљег напретка. На основу података које је добио користећи Mount Wilson 60-in и 100-in телескопе, Едвин Хабл 1922. године проналази корелацију између магнитуде централне звезде и величине маглине око ње. Хабл је тврдио да спектар емисионих линија планетарних маглина предстаља резултат њеног апсорбовања зрачења централне звезде. У покушају да објасни јачину  $H\beta$  линија, Хауард Мензел предлаже да се сво зрачење таласних дужина испод 91.2 нанометра (Lyman limit) користи за јонизацију атома водоника. Занстра је 1927. године квантитативно осмислио механизам емисије спектралних линија водоника и хелијума, које објашњава као последицу рекомбинације електрона у језгру након фотојонизације маглине.

Даљом применом свог рада Занстра успева да установи метод којим се одређује температура централне звезде.



Слика 3. Вилхелм Хершел

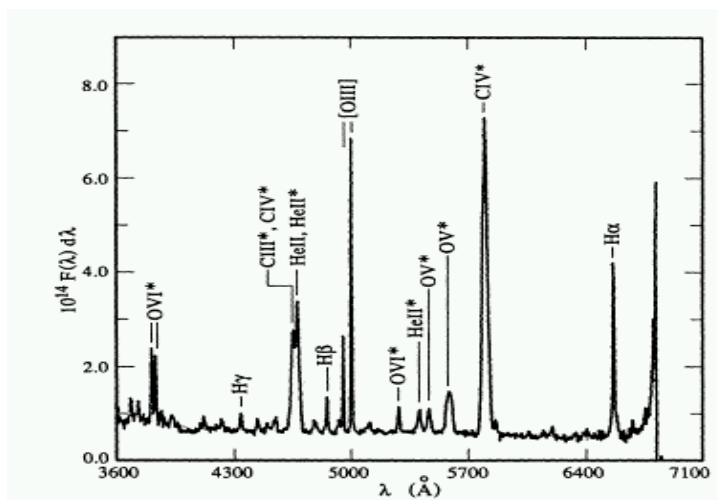


Слика 4. Шарл Месје



Слика 5. Едвин Хабл

Двадесетих година 20. века велики број спектралних линија маглина и даље није био идентификован лабораторијском спектроскопијом. Претпостављало се да ове линије потичу од непознатог елемента који је назван небулијум (назив потиче од енглеског назива за маглину - nebula). Слична идеја при анализи Сунчевог спектра довела је до открића хелијума 1868. године, али овај пут јачине спектралних линија су наговештавале да се ипак ради о познатим елементима високе заступљености који се налазе у необичним физичким условима, као што је велика разубјеност међузвездане средине. Ира Спраг Боуен је 1928. године идентификовао осам најјачих линија маглина које су проузроковане метастабилним стањима  $N^+$  (једном јонизован азот),  $O^+$  (једном јонизован кисеоник), и  $O^{++}$ .



Слика 6. Спектар планетарних маглина

Појаву високо ексцитованих, јаких оптичких линија кисеона је такође објаснио Боуен 1935. године, као последицу флуоросценције. Посматрања са бољом спектралном резолуцијом су показала да су емисионе линије планетарних маглина јако широке, па чак и раздвојене. Чарлс Дилон Перин је ово успешно протумачио као експанзију маглине 1929. године, са брзином од  $\sim 30 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , док им је просечан животни век око  $10^4$  година.

### 3. Еволуција планетарних маглина

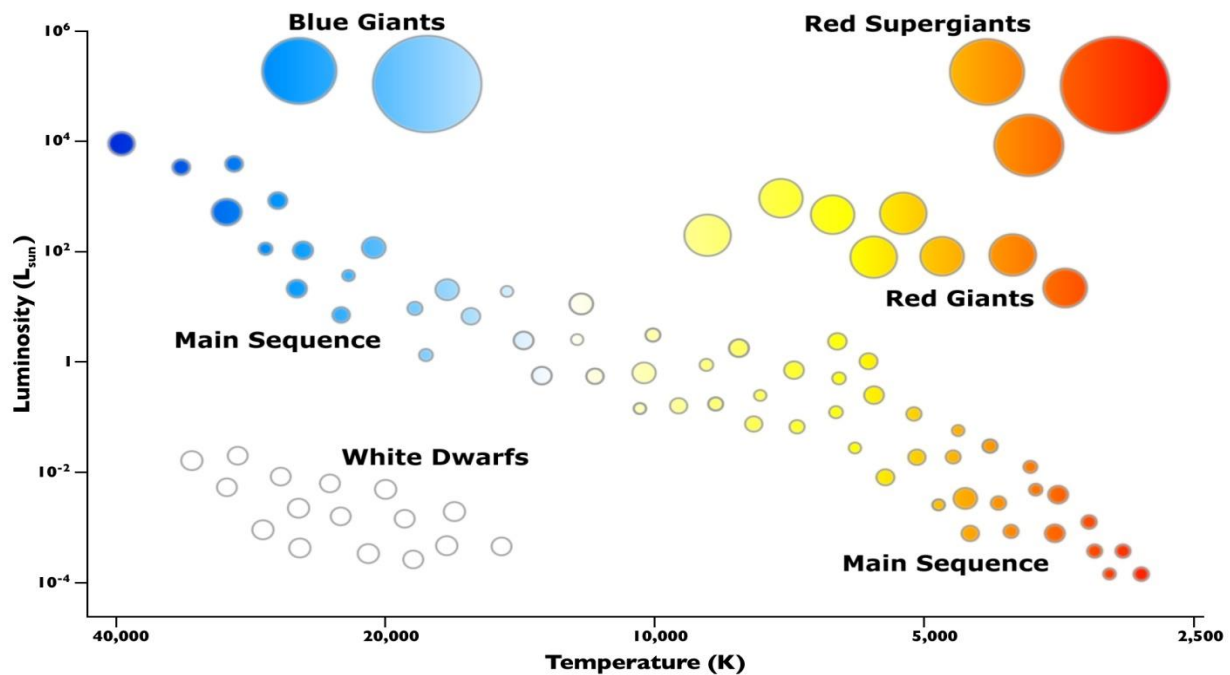
Првобитним посматрачима није била позната веза између звезда и планетарних маглина. Почетком двадесетог века астрономи су веровали да се температура звезде током њеног живота смањује. Због високе температуре планетарних маглина сматрали су да представљају веома младе звезде. Хербер Дуст Кертис је на основу свог проучавања расподеле брзине планетарних маглина утврдио да су оне ипак сличније звездама у позним фазама живота. Прво теоретско разумевање настанка планетарних маглина почело је са Јосифом Шкловским, који је 1956. године предложио да су оне заправо претходници белих патуљака, а потомци црвених џинова. Његова хипотеза била је подржана радом Абела и Голдрича из 1966. године у коме су на основу поклапања просечне брзине експанзије планетарних маглина и просечне минималне потребне брзине којом би се могло надјачати гравитационо поље црвених џинова закључили да су планетарне маглине одбачени део атмосфере црвених џинова. Такође, користећи укупан број планетарних маглина, који је проценио Шкловски, и њихов просечни животни век од око  $2 \cdot 10^4$  година, показали су да би се годишње требало формирати по 3 планетарне маглине. Са обзиром да је овај резултат истог реда величине као и број звезда које напуштају главни низ (звезде које се налазе у фази своје еволуције у коме се у њиховом језгру одвија реакција фузије водоника у хелијум), Абел и Голдрич предлажу да ће све звезде малих маса током своје еволуције проћи кроз фазу планетарне маглине. Иако су се све ове претпоставке испоставиле тачним, све до краја осамдесетих и почетка деведесетих година двадесетог века детаљнији увид у процес овакве еволуције звезда није био познат. Данас знамо да ће све звезде у опсегу маса од 0.8 (у некој литератури и 0.6) до чак 8 соларних маса проћи кроз фазу планетарне маглине. У наставку овог поглавља бавићемо се животом оваквих звезда.

#### 3.1 Живот звезда

Звезде се формирају од великих облака гасова и прашине који се налази у простору између звезда унутар галаксије (као што је Млечни пут). Скоро сваки елемент периодног система се налази у међузвезданој средини, али доминанти су елементи мањих атомских бројева (водоник, хелијум). Након што се првобитно инертни материјал под утицајем страних сила нађе под довољним притиском гравитација покреће још интензивнију компресију. Оног тренутка када гравитација довољно згусне честице гаса формираће се индивидуални фрагменти које називамо протозвезде. Првобитна маса протозвезде ће увелико утицати на даљи еволуциони пут звезде.

Када се достигне довољно велика температура језгра протозвезде, унутрашњи водоник започеће реакцију нуклеарне фузије чији ће резултат бити хелијум. Оваква звезда временом постаје стабилна, а као последицу емитоване радијације добиће свој карактеристичан сјај (сјај директно зависи од масе саме звезде).

Велики период свог живота звезде ће трансформисати водоник у хелијум, а оне које то раде сврставамо у главни низ, који на Х-Р дијаграму видимо као дијагоналну линију у облику латиничног S. Положај на дијаграму зависиће од масе звезде. Звезда једне соларне масе емитоваће велику количину светлости у видљивом делу спектра, а најдоминантнија ће бити жута боја. Масивније звезде ће омогућити већи број нуклеарних реакција у јединици времена, па ће мо их видети као жуто-беле, или ако су довољно велике могу постати чак и плаве. Са супротне стране дијаграма са смањењем температуре залазимо у зону црвених звезда. На оваквом дијаграму можемо уочити однос масе, температуре, боје и магнитуде сјаја звезде.



Слика 7. Главни низ на Х-Р дијаграму

Почетком двадесетог века Ени Џамп Канон, америчка научница, као члан Хардвардске опсерваторије, направила је класификацију звезда по њиховој температури, познатом као „Хардвардска спектрална класификација“. Поделу звезда видимо у табели датој на слици 8.

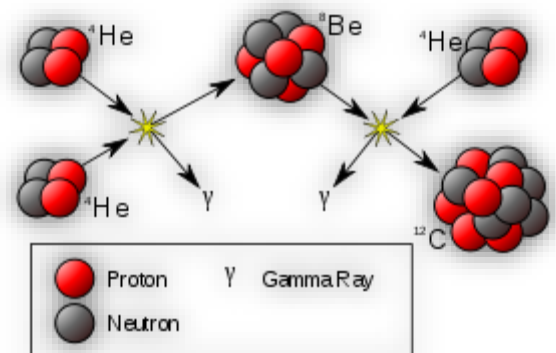
Harvard spectral sequence

Spectral type	Temperature (K)	Colour	Characteristics
O	40,000	Blue	Ionized helium and few metals, weak hydrogen lines
B	25,000	Blue-white	Neutral helium stronger hydrogen lines
A	12,000	White	Hydrogen lines dominant, ionized metals appearing
F	8,000	Yellow-white	Hydrogen weakening, neutral and ionized metals
G	6,000	Yellow	Ionized calcium prominent, neutral and ionized metals
K	4,000	Orange	Neutral metals prominent molecular lines appearing
M	3,000	Orange-red	Titanium oxide prevalent, molecules dominant and neutral metals
R	2,500	Red	CH and CN dominant and neutral metal lines
N	2,500	Red	CH and CN dominant and neutral metal lines
S	2,500	Red	Zirconium oxide prevalent, neutral metal lines common

### Слика 8. Класификација спектралне секвенце Х-Р дијаграма

Звезде као што је Сунце у стању су да фузијом водоника у хелијум одржавају своју равнотежу око 10 милијарди година. Међутим, након неког времена у језгру се створи велика количина хелијума која почиње да омета реакције између водоника, након чега се језгро полако гаси и почиње да се контрахује. Под притиском заробљене радијације који надјачава слаб утицај гравитације на спољашњост звезде, спољашњи омотач звезде креће да се шири. За посматраче звезда се полако хлади и прелази на десну страну главног низа приказаног на дијаграму. Звезда црпи енергију фузије водоника која се сада одвија у љусци око водоничног језгра, које је сада инертно. Звезда наставља да се шири и хлади све док не постане црвени џин. Црвени џинови подлежу звезданом ветру, процесу који одбацује материју спољашњих омотача звезде у међузвездану средину. Ова појава игра круцијалну улогу у формирању планетарних маглина, а звезда годишње може на овај начин изгубити чак  $10^{-5}$  део своје масе, па је јасно да звезда не може предуго остати у оваквом стању.

Када гравитација довољно сабије хелијумско језгро, под јаким притиском и високом температуром отпочеће процес фузије три језгра хелијума како би се добило једно језгро угљеника (слика 9). Овакво језгро је тренутно стабилно, али када се ограничене залихе хелијума истроше спољашњи омотачи звезде поново почињу да се шире, и под утицајем све јачег звезданог ветра временом се у потпуности одвоје од звезде. Тада, преостаје само ужарено огољено језгро, умањеног сјаја. Звезда сада прелази у доњи леви угао Х-Р дијаграма и постаје бели патуљак.

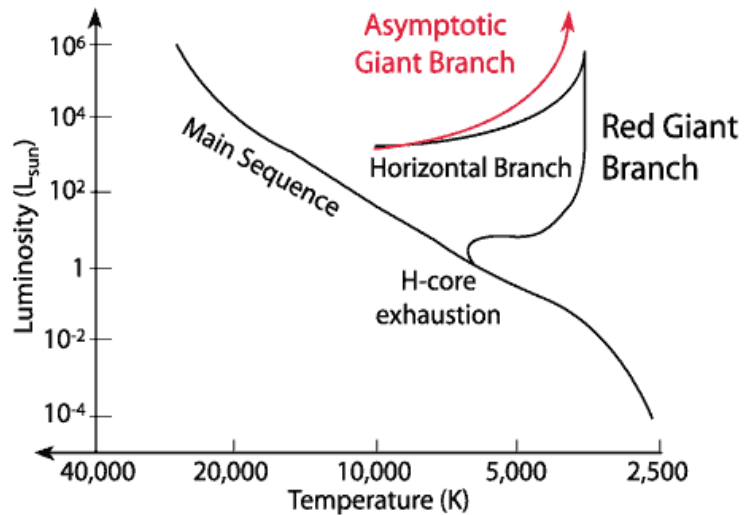


Слика 9. Фузија хелијума



### 3.2 Асимптотска грана џинова

Најбитнија фаза живота звезде која доводи до емисије материје која ће чинити планетарну маглину је фаза асимптотских џинова. Траје око милион година. На Х-Р дијаграму ова фаза је представљена хоризонталном линијом између џинова и супер-џинова у левом смеру. Овај период звезданог живота можемо поделити на два дела: рану фазу и фазу термалног пулсирања. У раној фази главни извор енергије је фузија хелијума у љусци око језгра које се претежно састоји од угљеника и кисеоника. За то време звезда се рапидно шири све док поново не постане црвени џин. Након што се



истроше залихе хелијума почиње фаза термалног

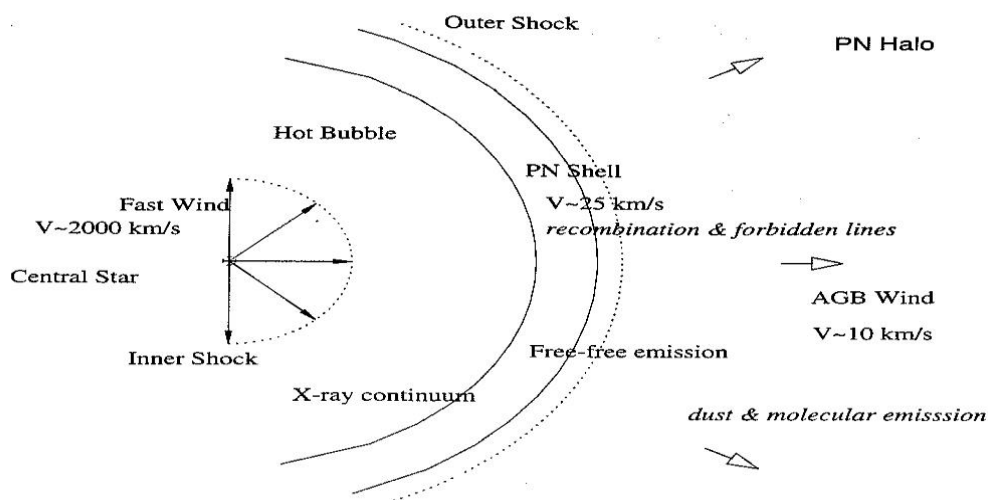
Слика 10. Асимптотска грана џинова

пулсирања. Сада звезда црпи енергију из фузије водоника. Након довољно времена новостворена љуска хелијума прође кроз бурну реакцију термно-нуклеарне фузије, при чему звезда постаје и до хиљаду пута сјајнија него пре, док потом сјајност опада експоненцијално. Ова реакција поново изазива звезду да се шири и хлади, због чега престаје сагоревање водоничне љуске. Када се активна љуска хелијума приближи инертној љусци водоника, повећање температуре ће довести до поновног активирања фузије водоника, и цео циклус се понавља. Овакав циклус промена температуре (термалног пулсирања), доводи до осцилација звезде које проузрокују изливање атома језгра у спољашњи део звезде и ван ње, где до сада нису били заступљени елементи тежи од водоника и хелијума. Овако звезда годишње може да изгуби чак и до  $10^{-5}$  соларних маса, што је неупоредиво бржи губитак него што је потрошња материје при сагоревањима у језгру. Знамо да је у основи планетарне маглине бели патуљак. Максимална маса стабилног белог патуљка је 1.4 соларних маса, константа која је у астрономији позната као чандрасекарова граница. Због рапидног губитка масе асимптотских џинова, проузрокованог термалним пулсирањем, звезданим ветровима и притиском зрачења, видимо да је могуће да масивније звезде до чак 8 соларних маса, падну исод чандрасекарове границе и тако постану планетарне маглине.

### 3.3 Утицај интерагујућих ветрова на формирање планетарних маглина

Током фазе асимптотских џинова звезда годишње изгуби до  $10^{-5}$  соларних маса под утицајем звезданог ветра, што је упоредиво са губицима проузрокованим термалним пулсирањем. Велики губитак масе доводи до смањења гравитационог притиска, због чега језгро не може да одржи висок притисак и температуру. Губитак проузрокован термалним пулсирањем ствара љуску гаса која окружује звезду, али планетарна маглина настаје тек онда када врућ и брз ветар језгра почне да компресује емитоване љуске. Дуго се веровало да је термално пулсирање главни узрок настанка планетарних маглина. Истраживања из седамдесетих година прошлог века су показала да се брзине звезданих ветрова асимптотских џинова разликују од брзина ветрова врелих централних

звезда планетарних маглина. Астроном Сон Квок је тада поставио нови, данас прихваћен модел интерагујућих ветрова. Брзина експанзије масе звезде емитоване термалним пулсирањем и звезданим ветровима је између  $50$  и  $100 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , док је брзина врелих ветрова централне звезде у опсегу од  $1000$  до  $1500 \frac{\text{km}}{\text{s}}$ , неупоредиво брже него првобитно описани ветрови. Брзи супер-ветар се закуца у споро ширећи спољашњи гас и тако компресује и обликује гас, формирајући омотач планетарне маглине, који можемо уочити при њиховом посматрању. Истовремено, огољено језгро централне звезде емитује велику количину УВ зрачења, које јонизује емитоване гасове. Јонизовани гас ефектом флуоресценције одаје емисионе линије у видљивом делу спектра које астрономи детектују спектроскопијом (најчешће  $\text{H}\alpha$ ,  $\text{OIII}$ ,  $\text{NII}$ ,  $\text{SII}$  емисионе линије). Једна од предвиђања оваквог модела је појава емисионих линија X-зрака. Када се објекат креће брзинама већим од брзине звука настане ударни талас. У случају планетарних маглина он би настао при судару брзих ветрова са споро ширећим материјалом. Крајем двадесетог века ова претпоставка је била потврђена и ROSAT и CHANDRA опсерваторијумима за X-зраке.

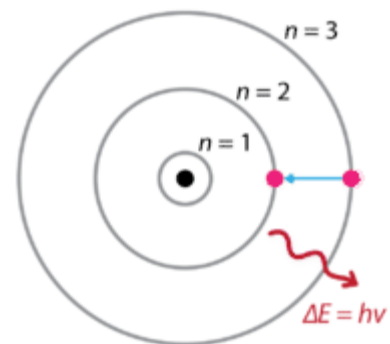


Слика 11. Модел интерагујућих ветрова

## 4. Састав планетарне магине и њене емисионе линије

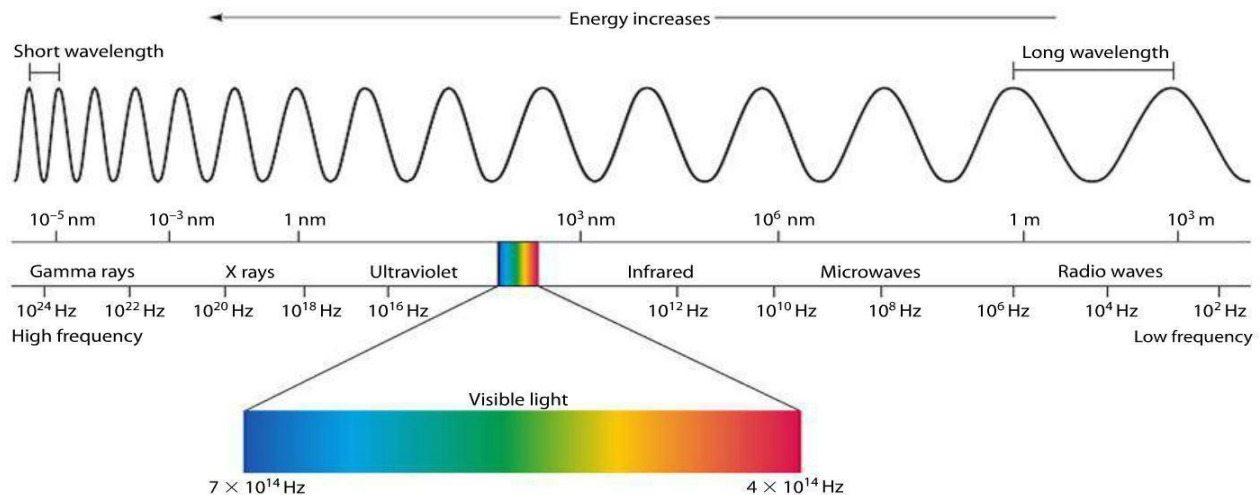
Планетарне маглине су обogaћене елементима претходно створеним нуклеарним реакцијама у централној звезди. Неке поседују изузетно велике количине угљеника, чак дупло више него кисеоника, док је у Сунцу више кисеоника него угљеника. Иако су планетарне маглине углавном сачињене од веће количине водоника, кисеоник зрачи неупоредиво сјајније, давајући маглинама њихову специфичну зелену, плаву боју. Неке се састоје од велике количине азота, или чак сумпора и такве планетарне маглине су најсјајније, зрачећи карактеристичном црвеном бојом. Увек можемо наћи трагове хелијума, а чак постоје оне које готово да не садрже водоник.

Као што смо већ споменули у претходним поглављима спектар врелог јонизованог гаса планетарних маглина није континуалан, већ обилује спектралним линијама као што су  $H\alpha, OIII, NII, SII, NeIV$ . У почетку било је јако тешко успешно пронаћи разлике између емисионих и планетарних маглина. Један од до тада најпознатијих каталога планетарних маглина, Перек-Коутек, је 1987. године рекласификован, при чему је чак 262 објекта, скоро четвртина целог каталога, погрешно класификовано као планетарна маглина. Овакве грешке су се дешавале због сличности већине линија емисионих и планетарних маглина. Глана разлика која одваја планетарне маглине је велика разређеност одбаченог гаса, која доводи до емисије такозваних забрањених линија. Забрањене линије настају услед ексцитација електрона у атому које нису у складу са правилима које квантна механика налаже, али у специфичним случајевима као што је овај правила су приближно задовољена и долази до смањене учесталости ексцитација. Типични примери забрањених линија су  $OIII, NII$  и  $SII$ . Високе температуре доводе до рекомбинације електрона у неутралном водонику, а резултат тога су карактеристичне линије водониковог спектра. Услед судара слободног електрона и неутралног атома, вишак енергије добијене сударом може довести до ексцитације електрона и ослобађања фотона, као што предлаже Боров модел атома и Ридбергова формула ( $\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$ ).



Слика 12. Боров модел атома

Сви ови бројни процеси у оквиру планетарних маглина доводе до њиховог широког електромагнетног спектра, од X-зрака па све до радио таласа. Једна од најјачих емисионих линија планетарних маглина  $OIII$  таласне дужине у зеленом делу видљивог спектра (500,7nm) се заправо испоставио као последица двапут јонизованог кисеоника  $O^{++}$ , а не новог мистериозног елемента небулијум, како је претпосавио Вилхелм Хагинс.  $OII$  линија је у плавом делу спектра са 372 nm. Уз помоћ оваквих спектралних линија можемо детектовати чак и готово невидљиве планетарне маглине.

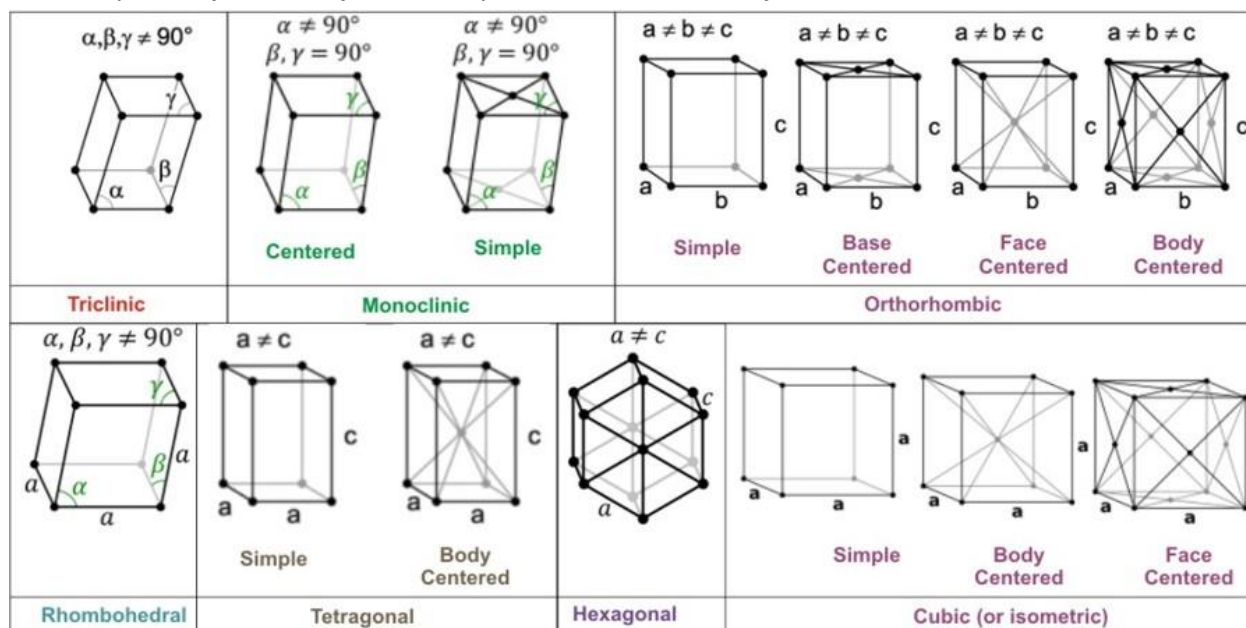


Слика 13. Електро-магнетни спектар

## 5. Централна звезда

Унутар сваке планетарне маглине налази се остатак језгра првобитне звезде. Језгро сада зрачи плаво-бело и није више тако сјајно као што су били њени, сада већ одбачени, спољашњи слојеви. Централна звезда је та која загрева гас око себе до температура око 10000К. Температура самих звезда може варирати у опсегу од 25000К до преко 200000К. Када се заврши фаза асимптотских џинова, могуће је да је преостао мали остатак водониковог гаса око језгра, који ће се потом емитовати у околину звезданим ветровима. Овај губитак масе звезде није ни близу оног док је звезда била асимптотски џин. Некада, централним звездама и даље преостане хелијум који подлеже сагоревању. Када се потроше, одбаце све залихе хелијума и водоника звезде преостаје само језгро кисеоника, угљеника. Језгро више не зрачи енергијом отпушеном у нуклеарним реакцијама, већ преноси топлоту механизмом топлотног провођења (кондукција). Кондукција је пренос кинетичке енергије у сударима честица на површини топлијег и хладнијег тела у директном контакту. Звезда се сада налази на доњој левој страни X-P дијаграма. Губи свој сјај и температуру и улази у фазу белог патуљка. Чак при брзом хлађењу, бели патуљак емитује УВ светлост тако што својом гравитацијом подлеже контракцијама при којим се ослобађа топлотна енергија и тако додатно јонизује маглину око себе. Главна карактеристика белих патуљака је њихова огромна густина. Како је највећи део масе звезде концентрисан у њеном језгру, гравитација га притиска сабијајући га све више. Коначно атоми су толико згуснути да више немају места. Електрони у атому заузму квантна стања близу основног. Атом је већински празан простор, због тога звезда може постати јако мала (пречник белог патуљка смањи се неколико хиљада пута у односу на претходног црвеног џина). Сабијени електрони подлежу дегенерисаном притиску електрона, због чега настављају да „силазе“ на основни квантни ниво и почињу да се крећу великим брзинама по својим орбитама. Овакво стање дегенерације електрона теоретски је објаснио Волфганг Паули 1925. године. Звезда постаје толико густа да би запремина једне коцкице леда овакве материје имала масу од неколико тона. Састојци звезде су еквидистантни и образују Бравеове решетке.

Бели патуљак који се састоји само од угљеника би постао дијамант.



Слика 14. Бравеове решетке

## 6. Морфологија планетарних маглина

Планетарне маглине осим препознатљивог сферног могу заузимати читав низ невероватних облика. Први који је покушао да класификује све њихове облике био је Хербер Кертис 1918. године и поделио их је у 5 категорија:

1. Helical (спиралне)
2. Annular (кружне)
3. Disk (у облику диска)
4. Amorphous (аморфне)
5. Stellar (звездане)

У наредним годинама појавиле су се рекласификације које су минимално измениле Кертисову. Тренутно је најприхваћенија класификација која дели планетарне маглине на:

1. Звездане
2. Елиптичне
3. Биполарне
4. Централно-симетричне
5. Неправилне

Развојем метода за посматрање свемирских објеката, а првенствено надмоћним Хабл телескопом, астрономи су стекли више знања о процесима креирања разноликих облика. Највећу улогу играју звездани ветрови у фази асимптотског џина, међутим, најгушћи део емитованих гасова се налази у

екваторијалној равни маглине због већег утицаја центрифугалне силе. Када звезда одбацује свој водонични омотач термалним пулсирањем, гас водоника се судари са густим централним прстеном (торусом) и тако успори или се у потпуности заустави, док остатак емитованог гаса наставља да се шири непромењеном брзином. Овако се емитовани гас дели на две хемисфере, подељене споријим централним прстеном. Овим механизмом настају биполарне или спиралне планетарне маглине. Други начин на који би планетарне маглине могле да се обликују је интеракција експанзивног гаса са магнетним пољима. Сарадња ова два ефекта заслужна је за широк спектар облика планетарних маглина.

Постоје докази да облик маглине зависи од масе и састава централне звезде. Примећено је да биполарне планетарне маглине обилују изразито јаким NII, OII, OI спектралним линијама у поређењу са линијама водоника. Показало се чак и да биполарне маглине имају масивније централне звезде од других облика. Детаљнијом анализом уочено је да су биполарне маглине старијег века, док су млађе маглине симетричнијих облика.



Слика 15. Различити облици планетарних маглина

### 6.1 Утицај двојних звезда

Двојне и вишеструке звезде такође пролазе кроз фазу планетарних маглина. Детаљније разумевање механизма интераговања двојних звезда није до скоро постојало. Астрономи су сматрали да уместо губитка масе, под утицајем два извора гравитације у двојним системима долази до трансфера масе између звезда. Овакав модел није дозвољавао настанак планетарних маглина. Крајем прошлог и почетком 21. века дошло је до бројних открића.



Израелски астрофизичар Ноам Сокер је на основу свог истраживања закључио да двојне звезде лакше од 1.5 соларних маса не могу створити биполарне планетарне маглине, већ стварају елиптичне облике. Коначно, Сокер је дошао до закључка да усамљене звезде нису те које производе планетарне маглине, већ је кључ у двојним звездама, и тако оспорио готово читав стопедесетогодишњи рад астронома пре њега. Данас није утврђено да ли Сокер био управу, али све је већи број присталица његове идеје, што означава почетак нове ере покушаја одгонетања мистерије планетарних маглина.



Слика 16. Двојна звезда

## 7. Животни век планетарних маглина

У односу на друге астрономске објекте планетарне маглине су врло кратког века. Већина маглина постане невидљива након 15 до 20 хиљада година. Након тога материјал од кога је била изграђена се утопи у међузвездану средину. Ово је неизмерно битан процес кружења материје у свемиру. Милионима година звезде се формирала, сагоревао се водоник, и коначно сав тај материјал враћен је у свемир. Осим „рециклаже“ водоника, долази и до обогаћивања свемира тежим елементима. Од почетног водоника нуклеарном фузијом добијамо хелијум, а потом и теже елементе као што кисеоник, угљеник, азот. Даљом интеракцијом емитованих елемената настају бројна органска једињења (полициклични ароматични угљоводоници, нафтален, бензен, ацетилен, метан...), кључна за живи свет. Астрономи су чак пронашли велики број аминокиселина, моносахарида.

## 8. Расподела планетарних маглина у свемиру

У нашој галаксији откривено је око 3000 планетарних маглина наспрам 200 милијарди звезда. На основу позиције и начина кретања у свемиру, можемо одредити старост астрономског објекта. По оваквим критеријумима планетарне маглине се свртавају у средње-старе објекте. Концентрисане су у центру наше галаксије, што је особина старијих објеката. Крећу се по елиптичним путањама, док су кружне путање одлика млађих звезда.



Слика 17. Галактички центар

## 9. Удаљеност планетарних маглина

Тешко је израчунати удаљеност одређене планетарне маглине, јер свака има различити облик и другачију расподелу масе. Никада не можемо бити сигурни колико је јонизованог гаса, зато што планетарне маглине нису хомогене и не успе сво емитовано зрачење да „побегне“. Помаже нам када постоје неки свемирски објекти чије удаљености можемо одредити, као када је маглина члан кластера звезда. Користимо се разним статистичким методама, које могу бити јако непрецизне (грешке преко 30%).

## 10. Мали избор познатих планетарних маглина

### The Helix Nebula

Ово је једна од најпознатијих маглина. Налази се у сазвежђу Водолије. Открио ју је Карл Хардинг у првој половини деветнаестог века. Једна је од Земљи најближих планетарних маглина, удаљености од  $655 \pm 13$  светлосних година и пречника од око 0.88 парсека. Привидна магнитуда износи +7.6.



Слика 18. Helix Nebula

### Butterfly Nebula

Формално звана **NGC 6302** ова биполарна маглина се налази у сазвежђу Шкорпије. Има једну од најкомпликованијих структура међу познатим маглинама. Њен спектар показује да поседује једну од најтоплијих централних звезда са темпретаруом преко 250000К, што имплицира да је настала од веома масивне звезде. Осим по облику специфична је и по својој спектроскопској анализи, јер у свом саставу садржи велики број кристалних силиката као што је кварц.



Слика 19. Butterfly Nebula



## Fleming 1

Ово је једна врло необична маглина у сазвежђу Кентаура. Има пар биполарних излива гасова који у распону заузимају чак 2.8 парсека. Претпостављало се да је разлог овакве структуре основа са двојном централном звездом, што су каснија истраживања Јужноевропске опсерваторије и потврдила.



Слика 20. Fleming 1

## Shapley 1

Због свог специфичног облика добила је надимак „Фини Прстен“. Посматрана са Земље изгледа као савршени угланчани круг. Разлог је то што је орбита кретања двојне централне звезде ове маглине у односу на Земљу под правим углом. Налази се у сазвежђу Угломер.



Слика 21. Shapley 1

## Cat's eye nebula

Формално **NGC6543** мачије око се налази у северном сазвежђу Змај. Открио ју је Вилхелм Хершел 1786. године. Такође ово је прва планетарна маглина спектроскопски обрађена (1864. године Вилхелм Хагинс). Ова маглина је добар пример потешкоће у одређивању њихове удаљености. Процењује се да је њена удаљеност  $1001 \pm 269$  парсека, што је јако непрецизно мерење.



Слика 22. Cat's eye nebula

## 11. Закључак

Два и по века је прошло од открића планетарних маглина. За то време астрономија је напредовала и дођено је до бројних открића у овој области. Међутим, астрономија је наука посматрања и служи се бројним претпоставкама и апроксимацијама, стога, свака тврдња мора се узети са дозом несигурности. Видели смо да је Сокерова хипотеза о двојним звездама јако уздрмала темељ нашег досадашњег знања о овим величанственим облацима. Планетарне маглине постале су још тајанственије. Остављено је на будућим генерацијама да се корак по корак пруближавају употпуњеној слици . А оне ће наставити да нам одузимају дах, јер заиста јесу један од најлепших призора у космосу.

## Литература

1. Martin Griffiths, „Planetary Nebulae and How to Observe Them“, New York, USA, Suffolk County Community College, 2012
2. Sun Kwok, „The Origin and Evolution of Planetary Nebulae“, *University of Calgary, Canada, 2000*
3. <https://www.britannica.com/science/planetary-nebula#ref282019>
4. [https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/79A38635F4C3B73D9602A9F76B5EB3FB/S007418090020795Xa.pdf/historical\\_remarks\\_on\\_the\\_spectroscopic\\_analysis\\_of\\_planetary\\_nebulae.pdf](https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/79A38635F4C3B73D9602A9F76B5EB3FB/S007418090020795Xa.pdf/historical_remarks_on_the_spectroscopic_analysis_of_planetary_nebulae.pdf)
5. <http://astro.matf.bg.ac.rs/beta/index.php?lang=lat&dir=sci&page=PNe>
6. <https://allthatsinteresting.com/nebulae-photos>