

Evolucija planetarnih maglina

Cilj rada je određivanje promena koje se dešavaju u planetarnim maglinama sa njihovom starošću. Teorijski je utvrđeno da se vremenom smanjuje njihova gustina i temperatura. Ispitivanjem odnosa intenziteta spektralnih linija S[II] može se odrediti gustina planetarne magline usled njenog uticaja na spektar. Posmatranjem planetarnih maglina u različitim stadijumima evolucije može se zaključiti kako se gustina menja sa vremenom.

Uvod

Planetarne magline su ostaci površinskog omotača zvezda koje nisu dovoljno masivne da nestanu u eksploziji supernove. Tokom fuzije materijala u jezgru zvezde povećava se pritisak, usled porasta temperature. Površinski slojevi bivaju oduvani jer ih zvezda ne može zadržati svojom gravitacijom. Na kraju zvezda odbacuje čitavu atmosferu. Od otkrivenog jezgra zvezde nastaje centralna zvezda, koja će jonizovati oblak odbačene atmosfere. Tako nastaje planetarna maglina.

Prosečna planetarna maglina postoji nekoliko desetina hiljada godina (Hynes 1991). Tokom tog vremena ona prolazi kroz faze, hladi i njena materija se širi po svemiru čime gubi masu. Povećanje zapremine dovodi do smanjenje gustine planetarne magline. Tokom tog vremena centralna zvezda, koja se nalazi u centru planetarne magline, se hladi jer više ne vrši fuziju i nema izvor energije. To smanjuje stepen jonizacije planetarne magline, pa ona postaje nevidljiva, a od centralne zvezde vremenom nastane beli patuljak. Trenutno nema pouzdanog metoda da se ispituju karakteristike planetarne magline nakon

prestanka procesa jonizacije (Kwok 2000; Payne *et al.* 2008).

Planetarne maglina predstavljaju oblake užarenog retkog gasa, pa je njihov spektar emisioni. Usled širenja planetarne magline gustina i koncentracija čestica opadaju, a temperatura se smanjuje, što za posledicu ima promenu intenziteta spektralnih linija.

Cilj rada je da se ispita kako se menja gustina čestica u oblaku planetarne magline sa povećanjem njihove starosti, na osnovu promene intenziteta spektralnih linija. Stoga se ispituju različite planetarne magline kojima se određuju gustina i starost da bi se uočila promena.

Metod

Gustina magline može da se odredi preko odnosa intenziteta spektralnih linija S[II], O[II] i drugih zabranjenih prelaza. U ovom radu su posmatrane spektralne linije S[II] bliskih talasnih dužina 6716 i 6731 nm. Spektralne linije S[II] su temperaturno nezavisne tako odnos njihovih intenziteta zavisi isključivo od gustine. Sa većom gustinom dolazi do većeg broja sudara i češće se ekscituju elektroni gornjeg nivoa posle cega sledi radijativna deekscitacija fotona za formiranje linije na talasnoj dužini od 6731 nm. Intenzitet spektralne linije se može aproksimirati Gausovom raspodelom:

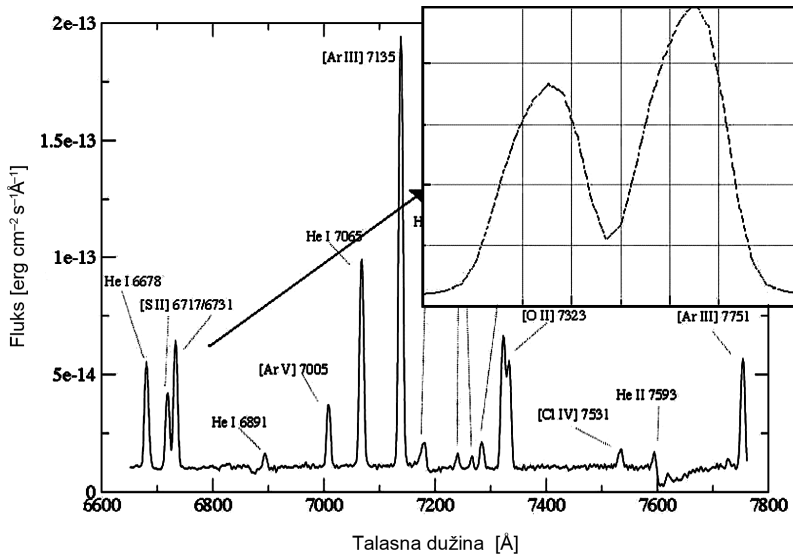
$$f(\lambda) = C \cdot \exp\left(-\frac{(\lambda - \lambda_0)^2}{w^2}\right) \quad (1)$$

gde je C konstanta, λ_0 talasna dužina centra linije, a w poluširina linije.

Ukupan intenzitet spektralne linije može se dobiti kao integral gausove funkcije:

Jovana Kabić (1991), Beograd, Kralja Vukašina 13/5, učenica 4. razreda XII beogradske gimnazije

MENTOR: Ivan Milić, ISP



Slika 1.
Prikaz emisionog
spektra planetarnih
maglina i
posmatranih
emisionih linija

Figure 1.
Spectrum of
planetary nebula
and observed S[II]
lines

$$F(\lambda) = \int_0^{\infty} f(\lambda)d\lambda \quad (2)$$

Posmatrane spektralne linije imaju bliske talasne dužine, što dovodi do preklapanja funkcija intenziteta emisionih linija, kada se one predstavljaju kao u izrazu (1). Zajednički intenzitet se može posmatrati kao zbir dva gausijana (slika 1). Da bi se odredio odnos njihovih intenziteta one se moraju razdvojiti i to se postiže fitovanjem sledećom funkcijom:

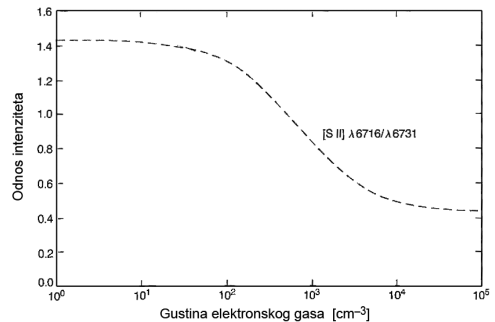
$$F(\lambda) = C_1 \cdot e^{-\frac{(\lambda-\lambda_1)^2}{w_1^2}} + C_2 \cdot e^{-\frac{(\lambda-\lambda_2)^2}{w_2^2}} \quad (3)$$

Fitovanjem funkcije (3) dobijaju se parametri Gausovih distribucija koje odgovaraju spektralnim linijama, kao i procena greške usled aproksimacije spektra redom sa konačnim brojem članova. Ovaj postupak je implementiran u programskom paketu Matlab 5.3. Na osnovu dobijenih podataka moguće je odrediti intenzitete linija, prema formuli (2). Vrednost odnosa emisionih linija se dobija iz relacije:

$$I_r = \frac{I(\lambda_{6716})}{I(\lambda_{6731})}$$

gde je I_r odnos intenziteta emisionih linija, a $I(\lambda_{6716})$ i $I(\lambda_{6731})$ intenziteti emisionih linija dobijeni iz izraza (2).

Odnos gustine i intenziteta je eksperimentalno utvrđen i gustina se može odrediti iz grafika sa slike 2 (Osterbrock i Ferland 2005).



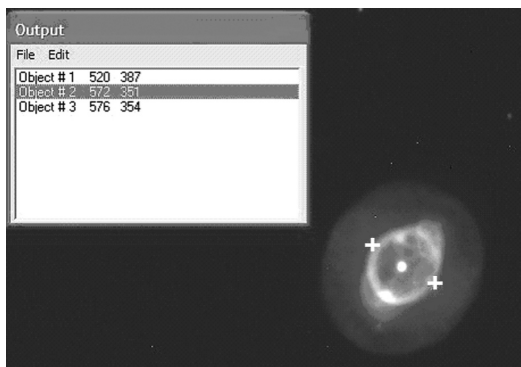
Slika 2. Zavisnost odnosa intenziteta zračenja i gustine planetarne magline. Preuzeto iz Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei, 2nd ed. Osterbrock i Ferland, 2005.

Figure 2. Dependency of light intensity of density of planetary nebula. Source: Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei, 2nd ed. Osterbrock i Ferland, 2005.

Spektri planetarnih maglina koji su analizirani u ovom radu, kao i podaci o njihovoj udaljenosti od Sunčevog sistema, su preuzeti iz baze podataka Williams Collegea za period od 2002. do 2006. godine (web 1). Podaci o brzinama udaljavanja oblaka materije planetarnih maglina od centralne zvezde su uzimani iz različitih izvora (web 2), jer ne postoji jedinstvena baza podataka sa svim potrebnim podacima.

Određivanje starosti

U cilju određivanja promene gustine u vremenu, neophodno je odrediti starost planetarne magline. To je moguće uraditi analizom fotografija ovih objekata, načinjenih u vidljivom delu spektra (slika 3). Granice glavne ljuske planetarne magline su određene u programu IRIS 5.33.



Slika 3. Određivanje prečnika ljuske planetarne magline u pixelima. Krstićima su markirane tačke na rubu diska.

Figure 3. Determination of planetary nebula shell radius in pixels by placing crosses on edges of the disc

Prečnik planetarne magline se može odrediti aproksimativno, na osnovu koordinata dve tačke koje se nalaze na rubu diska (slika 3), prema formli:

$$R_{\text{ljuske}} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (4)$$

gde je R_{ljuske} prečnik ljuske planetarne magline.

Dobijena vrednost se množi sa brojem arcsekundi po pixelu. Ona zavisi od kamere sa kojom je fotografija napravljena. Slike su preuzete sa sajta Faulkes teleskopa. Korišćena je SBIG ST1001 CCD kamera, koja ima rezoluciju 0.278 arcsec/px.

Linearni prečnik magline se računa preko formule:

$$l = \frac{r\theta}{206265} \quad (5)$$

gde je r distanca planetarne magline od Sunčevog sistema izražena u kilometrima, θ prečnik ljuske planetarne magline, a broj 296265 predstavlja broj lučnih sekundi u radijanu.

Greška rastojanja se dobijaju kao srednja vrednost razlika u rastojanjima uzetih iz baze podataka Williams Collegea i rastojanja iz drugih radova i literature (Abell 1966).

Starost magline se izračunava pomoću formule:

$$T = \frac{l/2}{v} \quad (6)$$

gde $l/2$ predstavlja linearni poluprečnik, a v brzinu širenja planetarne magline.

Rezultati i diskusija

U tabeli 1 prikazane su dobijene vrednosti starosti i gustina planetarnih maglina sa njihovim udaljenostima od Sunčevog sistema. Obuhvaćene su planetarne magline starosti između 1000 i 14000 godina. (U tabeli je sa ** označena maglina koja je isključena iz dalje obrade zbog velikog odstupanja u masi, a sa *** maglina gde nije bilo moguće odrediti gustinu zbog prisustva apsorpcionih linija u posmatranom delu spektra.)

Na osnovu podataka iz tabele 1 dobijena je zavisnost trenutne gustine planetarnih maglina od njihove starosti. Ta zavisnost je prikazana na slici 4.

Dobijeni rezultati potvrđuju pretpostavku da mlađe planetarne magline imaju veću gustinu od starijih. Međutim, nije utvrđena nikakva zavisnost promene gustine od starosti, koja bi mogla da se opravda promenom drugih fizičkih osobina planetarnih maglina. Nedostatak podataka o mlađim planetarnim maglinama čini analizu nepotpunom. Dodatnu nepreciznost unosi metod obrade spektara, kao i aproksimacija intenziteta spektralnih linija Gausovom raspodelom.

Maglina NGC 7027 je isključena iz dalje obrade zbog velikih odstupanja prouzokovanih njenim fizičkim odstupanjem od ostalih objekata. Masa ove magline je mnogo manja od masa ostalih ispitivanih maglina. Planetarnoj maglini NGC 2242 nije određena gustina zbog apsorpcionih linija koje se nalaze u domenu posmatranih talasnih dužina.

Izračunata starost nekih planetarnih maglina se značajno razlikuje od vrednosti drugih autora i baza podataka (web 3). Odstupanja su verovatno posledica korišćenja različitih podataka o udaljenosti planetarnih maglina, pa je otuda i greška u određivanju udaljenosti velika.

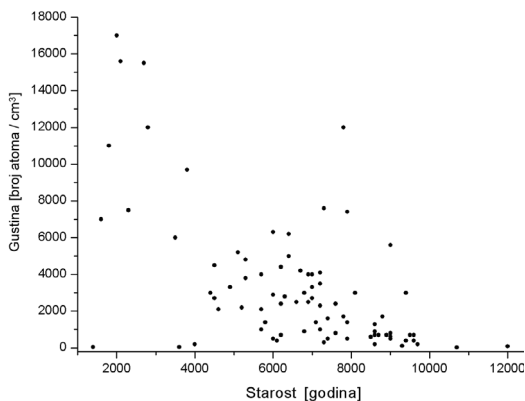
Radi pregelednosti, na slici 4 nisu prikazane malobrojne planetarne magline, čija je gustina zna-

Tabela 1. Dobijene vrednosti za gustinu i starost analiziranih planetarnih maglina

Maglina	Udaljenost [kpc]	Gustina [cm^{-3}]	Starost [godina]
NGC 7027**	6.4	60000±1000	800
NGC 6741	2.23	7000±100	1600±200
NGC 2438	2.09	2700±200	4500±200
NGC 6894	2.36	40±10	3600±300
NGC 6778	3.31	700±20	9600±100
NGC 6751	2.94	900±10	8600±300
NGC 2452	3.11	12000±300	7800±600
NGC 6803	3.29	3500±300	7200±300
NGC 3587	3.51	500±10	6000±600
NGC 6302	0.57	400±20	6100±700
NGC 6369	0.75	300±20	7300±900
NGC 6309	2.35	3000±200	8100±400
NGC 6537	1.62	2100±300	4600±700
He 2-15	2.46	700±20	6200±900
PC 14	5.11	4000±600	7000±400
IC 2501	3.21	4500±300	4500±600
M1-51	1.74	6000±400	3500±600
Th 2-A	2.89	200±50	4000±800
M 3-2	12.4	400±10	9600±100
M 3-5	7.72	1000	7200±800
NGC 2242	7.17	***	5700±900
NGC 2867	8.62	1600±300	7400±1000
NGC 3195	0.42	200±10	8600±900
NGC 3211	2.79	600±10	9000±500
NGC 3918	2.36	2200±500	5200±300
NGC 5882	1.17	3300±300	7000±800
NGC 6563	1.56	1700±200	7800±900
NGC 6565	8.5	800±10	7600±600
NGC 6629	4.24	1300±200	8600±200
NGC 6720	2.91	400±30	9400±900
NGC 6790	1.02	15500±4000	2700±500
NGC 6826	3.13	3000±300	9400±400
NGC 6879	0.64	17000±2000	2000±200
NGC 6884	2.9	6300±700	6000±600
NGC 6886	1.41	6200±300	6400±500
NGC 6891	0.94	75000±7000	1900±100
NGC 40	2.86	1400±300	7900±500
NGC 650	2.36	80±20	12000±2000
NGC 2022	3.71	2900±200	6000±1000
NGC 2371	3.6	7400±400	7900±300
NGC 3242	2.76	2400±300	6200±900
NGC 5307	1.21	3800±300	5300±900
NGC 6439	3.4	4000±100	5700±600

Tabela 1 (nastavak). Dobljene vrednosti za gustinu i starost analiziranih planetarnih maglina

Maglina	Udaljenost [kpc]	Gustina [cm^{-3}]	Starost [godina]
NGC 6567	2.14	4000±200	6900±200
NGC 6578	1.44	4100±300	7200±200
NGC 7009	2.6	4200±400	6700±600
NGC 6620	1.6	900±30	6800±200
NGC 7293	3.16	30±2	10700±600
NGC 7662	1.74	2300±300	7200±500
Cn 2-1	13.5	4400±300	6200±300
Fg 1	1.13	700±40	8700±400
Hb 12	6.35	1400±300	7100±500
Hu2-1	1.89	1400±200	5800±800
IC 1297	2.52	2500±300	6600±500
IC 5217	3.61	15600±2400	2100±100
IC 2621	1.94	9700±300	3800±500
IC 3568	2.63	46000±3000	2400±1300
IC 4593	4.56	2800±200	6300±200
M 1-80	5.11	7600±300	7300±300
J900	4.71	3000±300	6800±800
PB 6	6.9	3300±600	4900±100
Hb 4	5.3	5200±400	5100±500
Hb 6	3.2	4800±400	5300±800
He 2-111	6.2	700±20	8900±200
H2-18	4.1	5000±300	6400±900
M1-42	2.5	700±10	9500±400
M1-8	12.1	500±30	9000±300
M2-52	10.9	5600±300	9000±400
Pe 1-18	12.3	12000±6000	2800±800
NGC 6881	7.9	3000±300	4400±1000
M1-54	11.1	1700±300	8800±500
He 2-115	9.5	11000±7000	1800±600
Me 1-1	6.3	2700±200	7000±200
Me 2-2	11.7	500±20	7900±300
Mz 2	5.8	700±40	8600±200
Mz 3	7	800±60	9000±1200
NGC 5315	7.3	40±20	1400±800
NGC 6445	6.7	2100±300	5700±300
NGC 6778	5.6	600±40	8500±500
M2-55	10.4	200±50	9700±300
M-3-3	15.3	100±30	9300±700
NGC 1535	6	2400±300	7600±2100
NGC 2392	6.1	7500±800	2300±300
NGC 7026	7.2	1000	5700±500
NGC 4997	2.34	25000	2500±500
NGC 6741	6.2	500	7400±700
NGC 6572	8.3	2500	6900±800



Slika 4. Grafički prikaz promene gustine planetarnih maglina u zavisnosti od njihove starosti

Figure 4. Dependency of density of planetary nebula on their age

čajno veća od gustine ostalih maglina. Iz table 1 se može zaključiti da su to najmađe magline, što dodatno potvrđuje početnu pretpostavku.

Zaključak

Rezultati pokazuju trend smanjenja gustine tokom evolucije planetarnih maglina. Precizniji rezultati se mogu dobiti upotrebom boljih algoritama za analizu spektra. Rad može koristiti kao početna baza podataka o planetarnim maglinama za buduća ispitivanja. Iz podataka se približno može pretpostaviti koje vrednosti drugih fizičkih osobina poput temperature i mase će imati planetarna maglina. Daljim istraživanjima može se steći bolji uvid u promene kroz koje prolaze planetarne magline tokom svog postojanja.

Literatura

Abell G. O. 1966. Properties of some old planetary nebulae. *Astrophysical J.*, **144**: 259.

Hynes S. J. 1991. *Planetary Nebulae*. New York: Willmann-Bell, Inc.

Kwok S. 2000. *Origin and evolution of planetary nebulae*. Cambridge: Cambridge University Press

Osterbrock D. E., Ferland G. J. 2005. *Astrophysics of Gaseous Nebulae and Active Galactic Nuclei*. Mill Valley: University Science Books

Payne J. L., Filipovic M. D., Millar W. C., Crawford E. J. 2008. Optical spectra of radio planetary nebulae in the Large Magellanic Cloud. *Serbian Astronomical Journal*, **177**: 53.

Prodanović T. 2010. *Uvod u spektroskopiju za astronome*. Novi Sad: PMF

web 1: www.oit.williams.edu/nebulae/browse.cfm

web 2: <http://www.adsabs.harvard.edu/>

web 3: www.blackskies.org

web 4: www.astronomy.mq.edu.au/deepspace

Jovana Kabić

Evolution of Planetary Nebulae

The aim of this paper is to examine the evolution of physical parameters in planetary nebulae. Theoretical considerations predict that their density and temperature reduce with time. By using the ratio between the intensities of S[II] spectral lines, we can estimate the density of planetary nebulae. By examining planetary nebulae of different age it can be concluded how density changes with time. Results presented in this paper confirm that the density of planetary nebula reduces with their age. It can be seen that in some cases results differ from what is expected, but that can be explained by the different mass of the progenitor star.

