

Astronomia para o Ensino de Ciências (ACH-4116)

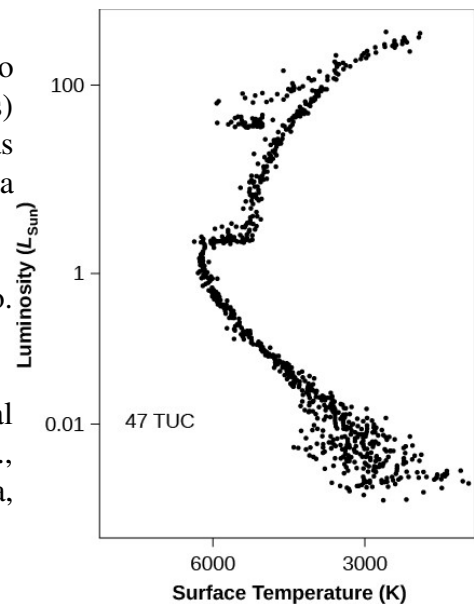
4ª lista de exercícios: aglomerados estelares e meio interestelar

Roberto Ortiz – Professor Livre-Docente
EACH/USP

Se precisar, utilize: constante da gravitação universal $G = 6,67 \times 10^{-11}$ (S.I.); constante de Planck $h = 6,626075 \times 10^{-34}$ J.s = $4,13567 \times 10^{-15}$ eV.s; velocidade da luz $c = 2,998 \times 10^8$ m/s; massa do elétron $m_e = 9,11 \times 10^{-31}$ kg; carga do elétron $e = -1,60 \times 10^{-19}$ C; constante de Stefan-Boltzmann $\sigma = 5,67 \times 10^{-9}$ (S.I.) ou $5,67 \times 10^{-5}$ (CGS); 1 u.m.a. = $1,66 \times 10^{-27}$ kg; permissividade elétrica do vácuo $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$; $T_{sol} = 5780$ K; massa do Sol = $2,0 \times 10^{30}$ kg; raio do Sol $R_{sol} = 7,0 \times 10^8$ m; 1 parsec = $3,08 \times 10^{16}$ m. Para os dados sobre os níveis atômicos, consulte os slides da aula sobre “Luz e Radiação”.

- 1-) Quais são as principais diferenças entre os aglomerados abertos e globulares?
- 2-) Por que os aglomerados globulares duram mais do que os aglomerados abertos?
- 3-) Em que tipo de aglomerado é mais provável que observemos a explosão de uma supernova? Em um aglomerado aberto ou globular? Por que?

4-) A figura ao lado é o diagrama *Hertzsprung-Russell* do aglomerado globular 47 Tuc. Identifique qual é (são) a(s) estrela(s) que está(ão) a ponto de deixar a sequência principal, i.e. aquelas que estão próxima(s) do ponto de *turn-off*. Qual é a sua temperatura e luminosidade?



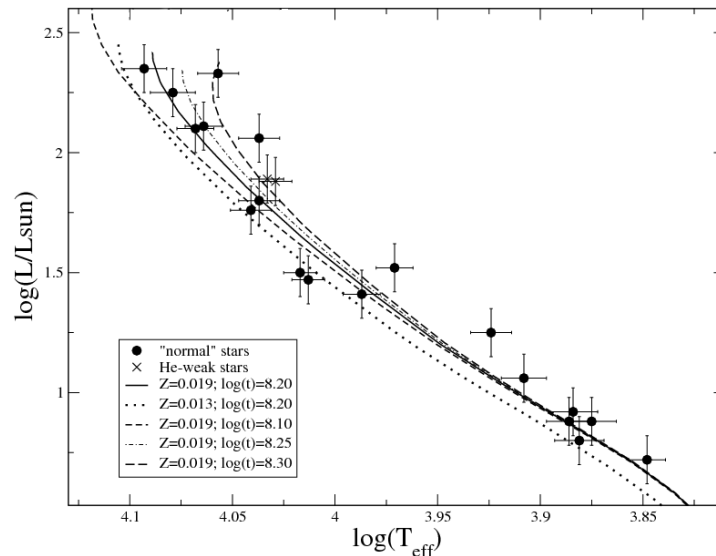
5-) Identifique as estrelas do ramo horizontal no diagrama ao lado. Qual é a sua luminosidade?

6-) A tabela abaixo mostra o tempo de vida na sequência principal para estrelas de diversas massas e temperaturas (Schaller et al., 1992, A&AS, 96, 269). Utilizando as informações desta tabela, estime a idade do aglomerado globular 47 Tuc.

Tipo espectral	Massa (x massa do Sol)	Temperatura (K)	Tempo de S.P. (anos)
B3	7,0	18 000	$4,3 \times 10^7$
B5	5,0	15 200	$9,4 \times 10^7$
B6	4,0	14 000	$1,6 \times 10^8$
B7	3,0	11 800	$3,5 \times 10^8$

A0	2,5	9790	$5,8 \times 10^8$
A4	2,0	8400	$1,1 \times 10^9$
F1	1,5	7150	$2,7 \times 10^9$
F7	1,25	6400	$4,9 \times 10^9$
G2	1,0	5790	$9,8 \times 10^9$
G8	0,9	5310	$9,4 \times 10^9$
K1	0,8	5000	$1,5 \times 10^{10}$

7-) A figura abaixo ilustra o diagrama *Hertzsprung-Russell* do aglomerado aberto NGC5460. Identifique a estrela que está mais próxima do ponto de turn-off e utilizando seus dados estime a idade deste aglomerado de estrelas.



8-) De que tipo é o espectro típico de uma nebulosa planetária? Contínuo, de emissão ou de absorção? Justifique sua resposta.

9-) O que dá a cor de uma nebulosa planetária ou região HII?

10-) Em que tipo de nebulosa de emissão, região HII ou nebulosa planetária, espera-se que haja átomos mais ionizados? Por que?

11-) Em um estudo recém-publicado no periódico *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* sobre a nebulosa planetária IPHASXJ055242.8+262116 (também conhecida como *Sab19*), cujo diâmetro é de 0,20 parsec, os autores encontraram, baseando-se em dados obtidos por meio de ondas de rádio, uma densidade eletrônica média de $5600 \text{ elétrons/cm}^3$. Se supusermos que a nebulosa planetária é formada unicamente por hidrogênio, o número de elétrons é igual ao número de prótons. Neste caso, calcule:

(a) o volume da nebulosa, em cm^3 .

(b) a massa da nebulosa, em gramas e em massas solares.

Detailed Studies of IPHAS sources. II. Sab 19, a true planetary nebula and its mimic crossing the Perseus Arm.

Guerrero, M.A.^{1*}, Ortiz, R.², Sabin, L.³, Ramos-Larios, G.⁴, Alfaro, E.J.¹

¹Instituto de Astrofísica de Andalucía, IAA-CSIC, Glorieta de la Astronomía, s/n, E-18008, Granada, Spain

²Escola de Artes, Ciências e Humanidades, USP, Av. Arlindo Bettio 1000, 03828-000 São Paulo, Brazil

³Instituto de Astronomía, UNAM, Apdo. Postal 877, Ensenada 22860, B.C., Mexico

⁴Instituto de Astronomía y Meteorología, CUCEI, Universidad de Guadalajara, Av. Vallarta 2602, Arcos Vallarta, 44130 Guadalajara, Mexico

24 October 2020

ABSTRACT

The INT Photometric H α Survey (IPHAS) has provided us with a number of new-emission line sources, among which planetary nebulae (PNe) constitute an important fraction. Here we present a detailed analysis of the IPHAS nebula Sab 19 (IPHASX J055242.8+262116) based on radio, infrared, and optical images and intermediate- and high-dispersion longslit spectra. Sab 19 consists of a roundish 0.10 pc in radius double-shell nebula surrounded by a much larger 2.8 pc in radius external shell with a prominent H-shaped filament. We confirm the nature of the main nebula as a PN whose sub-solar N/O ratio abundances, low ionized mass, peculiar radial velocity, and low-mass central star allow us to catalog it as a type III PN. Apparently, the progenitor star of Sab 19 became a PN when crossing the Perseus Arm during a brief visit of a few Myr. The higher N/O ratio and velocity shift $\approx 40 \text{ km s}^{-1}$ of the external shell with respect to the main nebula and its large ionized mass suggest that it is not truly associated with Sab 19, but it is rather dominated by a Strömrgren zone in the interstellar medium ionized by the PN central star.

Key words: planetary nebulae: general – planetary nebulae: individual: Sab 19

12-) Mostre que a diferença de energia de $5,9 \times 10^{-6} \text{ eV}$ entre os estados de spin paralelos e anti-paralelos do hidrogênio corresponde a um fóton cuja frequência é de aproximadamente 1420 MHz. Mostre também que esse fóton tem um comprimento de onda de 21 cm.

13-) Se a densidade do ar é de $1,3 \text{ kg/m}^3$ e ele é composto majoritariamente por nitrogênio ($^{14}\text{N}_7$), mostre que a densidade de moléculas do ar é da ordem de $10^{19} \text{ moléculas/cm}^3$, conforme exposto na aula sobre meio interestelar.

14-) Se você pretende observar o hidrogênio (atômico) do meio interestelar, qual instrumento astronômico seria mais adequado? Um espectroscópio óptico, um fotômetro ou um radiotelescópio. Explique os prós e contras de cada uma dessas três possibilidades.

15-) Por que é difícil encontrar moléculas dentro de nebulosas de emissão?

Respostas dos Exercícios

1-) Aglomerados abertos contêm são jovens (tipicamente 10^8 anos) enquanto os aglomerados globulares são velhos (mais de 10^{10} anos). Aglomerados abertos são ricos em metais; aglomerados globulares são pobres em metais. Aglomerados abertos contêm de dezenas a milhares de membros; aglomerados globulares contêm de dezenas de milhares a milhões de membros. A sequência principal

do diagrama *Hertzprung-Russell* de aglomerados abertos aparece completa enquanto a sequência principal de aglomerados globulares aparece interrompida.

2-) Porque, como os aglomerados globulares contém mais membros o seu campo gravitacional é mais forte. Consequentemente as estrelas-membros estão mais fortemente ligadas gravitacionalmente e é mais difícil que elas escapem do aglomerado.

3-) Em um aglomerado aberto, porque os aglomerados globulares só contém estrelas velhas, menos massivas, enquanto um aglomerado aberto pode conter estrelas massivas.

4-) O ponto de turn-off situa-se aproximadamente em $T = 6100 \text{ K}$ e $L = 1,3 L_{\text{sol}}$.

5-) O ramo horizontal situa-se aproximadamente em $L = 70 L_{\text{sol}}$ e temperatura entre 5000 e 6000 K.

6-) Na questão 4 obtivemos a temperatura e luminosidade do ponto de *turn-off*. Na tabela vê-se que a temperatura de 6100 K corresponde aproximadamente a uma estrela de tipo espectral a meio caminho entre F7V e G2V, ou seja: F9V ou G0V. Logo, a idade do aglomerado deve estar a meio caminho entre o tempo de vida desses dois tipos espectrais, ou seja: cerca de $7,4 \times 10^9$ anos.

7-) A estrela que está mais próxima do turn-off é aquela que mais se distancia da sequência principal, com $\log(T_{\text{eff}}) = 4,06$ e $\log(L/L_{\text{sol}}) = 2,3$. Destes dados extraímos: $T_{\text{eff}} = 10^{4,06} = 11\,480 \text{ K}$, que corresponde aproximadamente ao tipo espectral B8V. Logo, a partir da tabela a idade do aglomerado é estimada em 4×10^8 anos (400 milhões de anos).

8-) Espectro de emissão, conforme a 2a. Lei de Kirchoff: um gás a baixa pressão, incandescente, emite um espectro de emissão de linhas.

9-) As linhas de emissão mais intensas darão a cor predominante.

10-) Nas nebulosas planetárias, porque o núcleo da nebulosa planetária, que é a fonte ionizante, pode ser muito mais quente (até 300 000 K) do que uma estrela tipo O ou B (até 35 000K). Consequentemente, o núcleo de uma nebulosa planetária pode emitir fótons muito mais energéticos, alguns deles com energia suficiente para arrancar mais elétrons dos átomos da nebulosa.

11-) Um diâmetro de 0,20 parsec corresponde a $0,20 \times 3,08 \times 10^{18} \text{ cm} = 6,16 \times 10^{17} \text{ cm}$. O volume da nebulosa pode ser calculado como $V = (4/3) \pi R^3$, onde R é o a metade do diâmetro, logo $V = 1,22 \times 10^{53} \text{ cm}^3$. A massa pode ser calculada multiplicando-se a densidade (numérica) de átomos de hidrogênio por centímetro cúbico, pela massa de cada átomo de hidrogênio e pelo volume da nebulosa, ou seja: $M = 5600 \times 1,66 \times 10^{-24} \times 1,22 \times 10^{53} = 1,14 \times 10^{33} \text{ g}$. Como a massa do Sol é de $2,0 \times 10^{33} \text{ g}$, então a massa da nebulosa corresponde a $1,14 \times 10^{33} / 2,0 \times 10^{33} = 0,57$ x massa do Sol.

12-) $E = h \nu$, onde h é a constante de Planck e ν é a frequência do fóton. Logo, $\nu = E / h = 5,9 \times 10^6 \text{ eV} / 4,13567 \times 10^{-15} \text{ eV.s} = 1,426 \times 10^6 \text{ Hz} = 1426 \text{ MHz}$. O comprimento de onda: $\lambda = c / \nu = 2,998 \times 10^{10} \text{ cm s}^{-1} / 1,426 \times 10^6 \text{ s}^{-1} = 21,01 \text{ cm}$.

13-) $\rho = m/V = (N m_N) / V$, onde m_N é a massa da molécula de nitrogênio, que equivale a $2 \times 14 \text{ u.m.a.}$

(i.e. 2 átomos de nitrogênio, pesando 14 u.m.a. cada um) e N/V é a densidade numérica de moléculas (i.e. o número de moléculas por volume), que deve ser calculada. Logo, temos: $N/V = \rho / m_N = 1,3 / (2 \times 14 \times 1,66 \times 10^{-27}) = 2,8 \times 10^{25} \text{ moléculas/m}^3 = 2,8 \times 10^{19} \text{ moléculas/cm}^3$.

14-) O espectroscópio (ou espectrógrafo) destina-se a observar o espectro óptico de um corpo celeste. O hidrogênio disperso no meio interestelar não emite nenhuma linha de emissão na região visível do espectro, por isso ele não é indicado. O fotômetro é um instrumento projetado para medir a intensidade da radiação, que posteriormente pode ser convertida em magnitude e é apropriado para estrelas principalmente. O radiotelescópio é a única opção entre essas três possibilidades porque ele permite a detecção de sinais de rádio, entre as quais a linha de emissão na frequência de 1420 MHz.

15-) Porque em nebulosas de emissão a temperatura é muito elevada para a sobrevivência de moléculas, cerca de 8 a 20 mil kelvins. Além disso, a fonte ionizante (estrela O ou B ou núcleo da nebulosa planetária) emite fótons que podem dissociar as moléculas.