



## SEARA DA CIÊNCIA

### CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



#### A Classificação das Estrelas e o Diagrama de Hertzsprung-Russell (dH-R).

Em 1862, os astrônomos/astrofísicos ingleses Sir William Huggins (1824-1910) e William Allen Miller (1817-1870), depois de estudarem os espectros de 50 estrelas brilhantes, concluíram que elas tinham uma composição química similar à do Sol, contendo a maior parte dos elementos químicos encontrados na Terra, dentre os quais, destacaram: hidrogênio (H), sódio (Na), magnésio (Mg), cálcio (Ca), ferro (Fe) e oxigênio (O). Com essa descoberta, eles derrubaram o mito Aristotélico de que o Céu era composto de substâncias (quintessência) não encontradas em nosso planeta. Logo depois, em 1864 (*Philosophical Transactions of the Royal Society of London* **154**, p. 437), Huggins e Miller publicaram um trabalho sobre o espectro das nebulosas. Ao examinarem esse espectro, observaram que o mesmo era do tipo de raias brilhantes (espectro de emissão) em vez do de linhas escuras (espectro de absorção) e, em vista disso, concluíram que as grandes nebulosas (como a **Órion**, por exemplo), eram constituídas de um gás luminoso. Por outro lado, ao estudarem o espectro da nebulosa **Andrômeda** concluíram ser a mesma composta de estrelas. Em 1866, Huggins foi o primeiro a estudar o espectro de uma **estrela nova** e verificar que ela era envolta por H, descoberta essa que indicava ser esse gás o combustível do Universo, como a Astrofísica do Século 20 confirmou. É oportuno destacar que o primeiro **espectroscópio** - uma estreita fenda por onde passava a luz solar -, foi construído pelo químico e físico inglês William Hyde Wollaston (1766-1828), em 1802 (vide verbete nesta série). Destaque-se, ainda, que foi o físico sueco Anders Jonas Ångström (1814-1874) quem primeiro descobriu H no Sol, em 1862, e também quem primeiro estudou, em 1867, o espectro boreal. Note-se que, para representar o comprimento de onda ( $\lambda$ ) das linhas espectrais que estudou, Ångström usou uma nova unidade de comprimento ( $10^{-8}$  cm) que recebeu, em 1905, a denominação oficial de **1 angström** (1 Å).

Em 1868, Huggins fez uma grande descoberta para o desenvolvimento da Astrofísica, qual seja, a determinação da **velocidade radial** (componente do vetor velocidade de uma estrela ao longo de sua linha de visada) da estrela **Sírius**, usando uma combinação da Espectroscopia com o **efeito Doppler-Fizeau** (ver verbete nesta série). Com efeito, ao medir o espectro dessa estrela com um espectroscópio bastante aperfeiçoado, Huggins observou que havia um desvio para o vermelho em uma das linhas do H e, de posse desse desvio, calculou em 47 km/s (depois corrigido para 32 km/s) a velocidade de seu afastamento da Terra. Registre-se que esse cálculo é realizado usando a expressão:  $\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$ , onde  $\Delta\lambda$  é o **deslocamento Doppler-Fizeau** da linha ( $\lambda_0$ ) do espectro da estrela,  $c$  é a velocidade da luz no vácuo, e  $v$  o módulo da **velocidade radial**. Registre-se, também, que nesse mesmo ano de 1868, Huggins estudou o espectro dos cometas e observou que emitiam luz de gás carbono luminescente indicando que, de alguma forma, havia algum composto do elemento químico carbono (C) nos cometas. Observe-se que foi o astrônomo italiano Giovanni Battista Donati (1826-1873) – o grande descobridor de cometas, inclusive o que leva o seu nome, em 1858 – o primeiro a estudar, em 1864, o espectro desses corpos celestes.

Em 1875, Huggins aperfeiçoou o método fotográfico na espectroscopia celeste por intermédio da seguinte técnica: deixava em exposição uma chapa fotográfica à luz de um corpo celeste. Ora, sendo essa exposição um efeito cumulativo, o espectro resultante poderia ser visto a olho nu e, em conseqüência, as medidas do mesmo se tornavam extremamente simples. Nesse mesmo ano, Huggins casou-se com a astrônoma inglesa Margaret Lindsay Murray (1848-1915) e passou a

trabalhar com a mesma. Assim é que, juntos, estabeleceram as bases para identificação do espectro de emissão das nebulosas, que é dominado por uma linha verde muito intensa (5007 Å), devido ao O duas vezes ionizado. Em 24 de junho de 1881, Huggins e o astrônomo norte-americano Henry Draper (1837-1882) foram os primeiros a fotografar o espectro de um cometa, o hoje conhecido **cometa 1881**. Observe-se que, devido ao seu trabalho no campo da espectroscopia celeste, Huggins foi escolhido, em 1900, Presidente da *Royal Society of London*. Uma primeira tentativa para classificar as estrelas foi realizada pelo astrônomo italiano, o Padre Pietro Ângelo Secchi (1818-1887). Com efeito, entre 1863 e 1868, ele fez uma observação visual do céu e catalogou cerca de 4.000 espectros de estrelas e, em vista disso, apresentou uma classificação das mesmas em quatro classes: **brancas** (como a **Sírius**) e **azuis** (Classe I), **amarelas** (como o **Sol**) (Classe II), **vermelhas** (como a **Betelgeuse**) com larga banda de absorção (Classe III), e **vermelhas fracas** (hoje conhecidas como “estrelas carbono”), que apresentam “bandas luminosas separadas por intervalos escuros” (Classe IV). Registre-se que as três primeiras classes foram por ele registradas em 1863 (*Comptes Rendus de l'Academie de Sciences de Paris* **93**, p. 364) e a quarta, em 1868 (*Comptes Rendus de l'Academie de Sciences de Paris* **66**, p. 124).

A classificação das estrelas foi retomada pelo astrônomo norte-americano Edward Charles Pickering (1846-1919) ao ser escolhido, em 1876, Diretor do *Harvard College Observatory* que, no exercício dessa direção, contou com uma equipe de astrônomas, cujas principais eram a escocesa Williamina Paton Fleming (1857-1911), e as norte-americanas Annie Jump Cannon (1863-1941) e Antonia Caetana de Paiva Pereira Maury (1866-1952), ajudadas por várias mulheres que faziam os cálculos, equipe essa jocosamente conhecida como o **Harém de Pickering**.

A primeira parte da classificação das estrelas, tarefa conduzida por Pickering e sua equipe conforme dissemos acima, foi concluída em 1899, e constou da catalogação, organizada por Fleming, do espectro de 10.351 estrelas. Nessa catalogação, as Classes I, II, III e IV propostas por Secchi, foram organizadas da seguinte maneira: a Classe I foi dividida em quatro subclasses: A, B, C e D; a Classe II, em E, F, G, H, I e K; e as Classes III e IV, tomaram a denominação de M e N, respectivamente. Por sua vez, a classe das **estrelas Wolf-Rayet** foi denominada pela letra O. [Registre-se que essas estrelas foram descobertas em 1867, na constelação **Cygnus**, pelos astrônomos franceses Charles Joseph Étienne Wolf (1827-1918) e Georges Rayet (1839-1906).] Além disso, cada subclasse foi numerada de 0 a 9, sendo o Sol classificado como G2. Essa catalogação foi publicada em 1890 (*Harvard College Observatory Annals* **27**, p. 1), e constitui o primeiro **Henry Draper Catalogue of Stellar Spectra**.

Em 1897 [*Harvard College Observatory Annals* **28 (Part I)**, p. 1], Maury classificou o brilho de 681 estrelas, estas contadas a partir do pólo norte e reunidas em 22 grupos, cada um deles dividido em sete diferentes índices denotados com as letras **a**, **b** e **c**. Além do mais, para indicar certos aspectos do espectro estelar, Maury usou letras duplas. Em 1901 [*Harvard College Observatory Annals* **28 (Part II)**, p. 131], Pickering e Cannon apresentaram uma nova classificação, na qual foram suprimidas algumas das categorias consideradas anteriormente, ficando então a seguinte seqüência: O, B, A, F, G, K e M. Note-se que, nessa classificação, em O e B estão as mais quentes (**azuis**: 30.000 K a 60.000 K) e, em M, as mais frias (**vermelhas**:  $\leq 3.500$  K). Observe-se que Pickering e sua equipe continuaram a realizar novas catalogações de estrelas no *Harvard College Observatory* e, entre 1918 e 1924, foram catalogados cerca de 400.000 espectros estelares, que completaram o famoso **Henry Draper Catalogue of Stellar Spectra** referido acima.

A publicação dos primeiros **Henry Draper Catalogue of Stellar Spectra**, em 1890 e 1901, tornou possível testar a hipótese plausível de que as estrelas evoluem das mais quentes (A e B) para as mais frias (K e M). Contudo, em 1893, os astrônomos, o holandês Jacobu Cornelius Kapteyn (1851-1922) e, independentemente, o irlandês William Henry Stanley Monck (1839-1915) observaram a existência de estrelas vermelhas mais brilhantes e maiores do que o Sol. Essa descoberta, que foi publicada por Monck, em 1895 (*Journal of the British Astronomical Association* **5**, p 418), foi objeto de estudo por parte do astrônomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1966). Assim, ao perceber que, se as estrelas radiam como corpos negros e se suas distâncias forem conhecidas, então seus tamanhos poderiam ser conhecidos por intermédio da **lei de Stefan-Boltzmann** (vide verbete nesta

série). Desse modo, encontrou uma relação entre cor e luminosidade das estrelas. Seus primeiros trabalhos relatando essa descoberta foram publicados em uma obscura revista de fotografia: *Zeitschrift für Wissenschaftliche Photographie* **3**, p. 429 (1905) e **5**, p. 86 (1907). No primeiro desses trabalhos, Hertzsprung mostrou que as estrelas mais luminosas eram maiores que as menos luminosas pois, como a quantidade de luz irradiada por unidade de área é a mesma para ambas, então a mais luminosa deveria ter maior superfície lateral. Em vista disso, concluiu que existiam estrelas **gigantes-vermelhas** e **anãs-vermelhas** e, conseqüentemente, as estrelas, de um modo geral, poderiam ser classificadas em **gigantes** e **anãs**. No segundo artigo, Hertzsprung apresentou um estudo da relação cor × luminosidade de um aglomerado (“cluster”) de estrelas, e concluiu que tais estrelas estão nas mesmas distâncias.

É oportuno destacar que Hertzsprung se correspondia com o astrônomo alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) em virtude deste haver publicado vários trabalhos sobre o brilho de cometas e estrelas, escritos no final do Século 19 e começo do Século 20. [Sobre esses trabalhos, ver: Sally H. Dieke, *IN: Dicionário de Biografias Científicas* (Contraponto, 2007).] Quando Schwarzschild tomou conhecimento dos trabalhos de Hertzsprung (que também era engenheiro-químico e especialista em fotografia, daí haver enviado seus artigos para uma revista de fotografia), arranhou-lhe um emprego no *Observatório de Göttingen*, na Alemanha, em 1909. Ainda nesse mesmo ano, quando Schwarzschild tornou-se diretor do *Observatório de Potsdam*, convidou Hertzsprung para ser seu astrônomo-sênior. Nesse Observatório, Hertzsprung continuou seu estudo sobre os aglomerados de estrelas e, em 1911 (*Publikationen des Astrophysikalischen Observatoriums zu Potsdam* **22 (63)**, p. 1) apresentou seus primeiros diagramas cor × luminosidade dos aglomerados **Plêiades** e **Hyades**. Nesses diagramas, ele observou que havia uma seqüência contínua de estrelas, denominada por ele de **seqüência principal**. Aliás, em 1919 (*Astronomische Nachrichten* **208**, p. 89), Hertzsprung propôs uma fórmula empírica [ $L \propto M^x$  ( $x \approx 7$ )] para a relação entre a massa (M) e a luminosidade (L) das estrelas dessa seqüência, relação essa que já havia sido prevista pelo astrônomo Jacob Hahn, em 1911 (*Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* **71**, p. 610).

A descoberta de Hertzsprung sobre a relação entre cor e luminosidade foi também encontrada, em 1914 (*Popular Astronomy* **22**, pgs. 275; 331; e *Nature* **93**, pgs. 227; 252; 281), pelo astrônomo norte-americano Henry Norris Russell (1877-1957), que trabalhou no *Observatório de Cambridge*, na Inglaterra, entre 1902 e 1905, e a partir de 1905, em Princeton, em um programa relacionado com o estudo das paralaxes fotográficas de estrelas. Nesses artigos, semelhantemente a Hertzsprung, Russell representava os seus resultados em um diagrama no qual a classe espectral (ou temperatura, que fornece a cor da estrela) era marcada no eixo horizontal e a luminosidade (ou magnitude absoluta) correspondente, era marcada no eixo vertical. Ao preparar esse diagrama, Russell percebeu que a maioria das estrelas (inclusive o Sol) ficava situada ao longo de uma diagonal (já percebida por Hertzsprung) que começa com as **anãs-vermelhas** da classe M, classe essa situada na extremidade direita inferior do diagrama, e essa mesma diagonal termina com as estrelas **branco-azuladas** da classe espectral O, classe que se localiza na extremidade superior esquerda desse mesmo diagrama. Observou, também, que as **gigantes** e as **supergigantes** formavam uma linha reta horizontal situada na extremidade superior desse gráfico, e que as outras **anãs** formavam uma linha reta também horizontal, porém localizada na extremidade inferior. Esse diagrama foi inicialmente conhecido como “**diagrama de Russell**” e, somente em 1933, o astrofísico dinamarquês Bengt George Damiel Strömngren (1908-1987) passou a chamá-lo de **diagrama de Hertzsprung-Russell** (dH-R), diagrama esse que, segundo J. R. Roy [*L’Astronomie et son Histoire* (Presses de l’Université du Québec, 1982)], representa a **pedra roseta dos céus**. Em seus artigos, Russell formulou um modelo para explicar a evolução estelar apresentada em seu diagrama. Assim, por contração de uma massa gasosa, o calor aumenta e ela passa então a emitir radiação vermelha. Forma-se, desse modo, uma **gigante-vermelha**. A contração continua, o calor aumenta, a estrela diminui de tamanho e transforma-se em uma **gigante-amarela**. Prosseguindo a contração, surge a estrela **branco-azulada**, menor, porém, mais quente e mais luminosa. A estrela caminha assim ao longo da **seqüência principal**, até a sua extremidade superior. Atingindo esse

ponto culminante, ocorre o fenômeno inverso, a estrela então se esfria, transformando-se numa **anã-amarela**, depois **anã-vermelha** e, finalmente, se apaga.

Registre-se que este verbete foi baseado nos seguintes textos: George Gamow, **Nascimento e Morte do Sol** (Globo, 1961); Fred Hoyle, **Astronomia** (Ediciones Destino, 1967); Isaac Asimov, **Os Gênios da Humanidade** (Bloch Editores S. A., 1974); Carl Sagan, **Cosmos** (Francisco Alves, 1982); Roy (1982), op. cit.; Colin A. Ronan, **História Ilustrada da Ciência** (Jorge Zahar, 1987); José Maria Filardo Bassalo, **Crônicas da Física, Tomo 3** (EDUFPA, 1987); e Malcolm S. Longair, **IN: Twentieth Century Physics, Volume III** (Institute of Physics Publishing and American Institute of Physics Press, 1995).

---



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)