

O dilema das estrelas B: to Be or not to Be – Ari Siqueira

ari.m.siqueira@icloud.com

Há cerca de 150 anos, o padre Pietro Angelo Secchi (1818-1878) realizou um extenso estudo espectroscópico de milhares de estrelas – visualmente, sem câmeras fotográficas – usando o telescópio do Observatório do Vaticano. Observando a presença de linhas de absorção nos espectros das estrelas, e suas gamas de cores, ele estabeleceu as diretrizes para a classificação estelar moderna, baseada na temperatura efetiva das estrelas, em ordem decrescente.

Ele também detectou a emissão de radiação eletromagnética no comprimento de onda característico das linhas de Balmer, no espectro da estrela γ Cassiopeiae (γ Cas, B0,5 IV), criando o conceito de um subtipo das estrelas B capaz de emitir radiação eletromagnética em um ou mais comprimentos de onda da série acima citada: as estrelas Be. ‘B’ para a classe de temperatura estelar, ‘e’ para indicar a presença de linhas de emissão eletromagnética. Secchi descreveu: “*uma característica curiosa... uma linha de luz muito bonita e muito mais brilhante que todo o resto do espectro*” (Figura 1). Tendo classificado os tipos espectrais, até 1868, em quatro grupos, de acordo com a presença de linhas de absorção, ele anunciou, em 1877, o raro tipo V, caracterizado por apresentar brilhantes linhas de emissão.

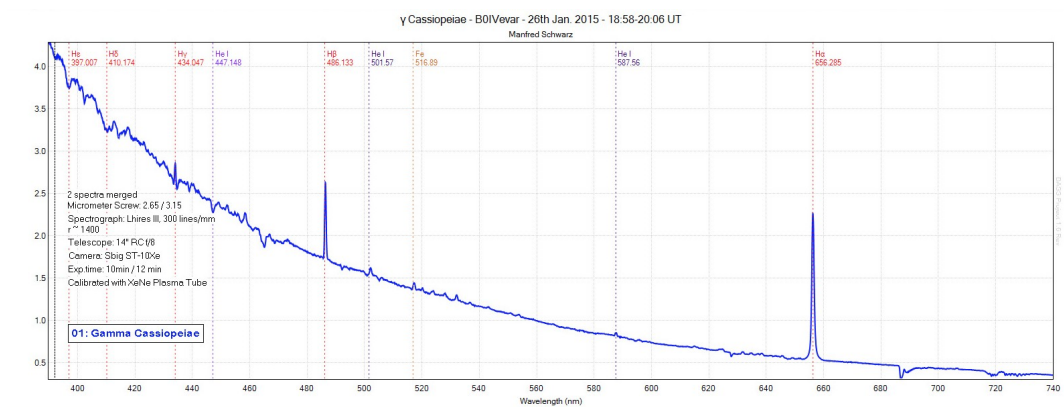


Figura 1. Espectro característico das estrelas do tipo γ Cas (variáveis γ Cassiopeiae)

Esta é definição atual mais comum e ampla de uma estrela Be: *Uma estrela B não supergigante cujo espectro tem, ou teve em algum momento, uma ou mais linhas de Balmer em emissão* (Jaschek et al., 1981; Collins, 1987).

As estrelas Be são estrelas B da sequência principal com rotação muito rápida e que, através de um processo ainda não completamente elucidado, formam um disco Kepleriano gasoso e livre de poeira que se difunde para fora. As estrelas Be são alvo de muitas pesquisas. Elas oferecem uma oportunidade preciosa para o estudo da dinâmica da evolução estelar e de vários processos astrofísicos, apresentando muitos enigmas ainda não resolvidos, como agora será detalhado.

Introdução

As Be são estrelas B que giram com grande rapidez e não pulsam radialmente, formando um ‘disco de decreção’, ou seja, um disco Kepleriano gasoso que se difunde para fora do corpo estelar. Esse disco é alimentado pela massa ejetada da estrela central, e seu destino subsequente é ditado pela viscosidade do material expelido (Pringle, 1992).

Até muito recentemente, as estrelas Be não atraíam muitos estudos. Atualmente, essas estrelas têm sido objeto de várias revisões extensas assim como de conferências internacionais.

Percebeu-se que as estrelas Be oferecem uma excelente oportunidade para a compreensão da astrofísica das estrelas situadas na sequência principal superior do diagrama Hertzsprung-Russell. Há amplas possibilidades para os astrônomos amadores contribuírem com observações fotométricas e espectroscópicas de qualidade. Atualmente, milhares de espectros estão sendo disponibilizados para a comunidade ProAm por meio do Be Star Spectra Database (BeSS; Neiner, et al., 2011, <http://basebe.obspm.fr/>), entre outras iniciativas. É também o momento certo para avaliar, especialmente nos céus do hemisfério sul, quais estrelas Be merecem mais atenção dos fotometristas amadores, de preferência em conjunto com a espectroscopia conduzida por iniciativas ProAm. Para entender melhor a natureza do fenômeno Be, o monitoramento de estrelas Be por métodos fotométricos é altamente desejável, pois evidências acumuladas relacionam sua variabilidade de curto período em suas luminosidades a mudanças simultâneas em seus perfis espectrais.

Esta breve e limitada revisão se concentrará nas estrelas Be Clássicas, distinguindo-as de outras subclasses Be e de corpos estelares com emissão espectral semelhante que não resultam dos mesmos fenômenos.

A família das estrelas Be

As estrelas Be não estão sozinhas na exibição de linhas de emissão espectral circunstelar. Várias outras estrelas B fazem o mesmo, em momentos específicos de sua evolução. As classes de luminosidade III e IV (Gigantes) e V (Sequência Principal) também podem fazê-lo. No entanto, fazem isso de maneiras distintas: objetos estelares de variados tipos podem apresentar emissões eletromagnéticas visuais desencadeadas por fenômenos específicos. Esses objetos são as:

- Estrelas supergigantes: algumas supergigantes produzem fracas emissões de H α que não provêm de um disco, mas de fortes ventos quentes;
- Estrelas Herbig Ae/Be: sendo estrelas jovens na fase final de sua fase de acreção, alguns subtipos de Herbig Ae/Be mais ativos produzem linhas de emissão com variabilidade muito distinta das estrelas Be Clássicas. Seus subtipos menos ativos, no entanto, podem ser confundidos com as estrelas Be Clássicas mas, sob um exame mais minucioso, observa-se um forte excesso de radiação infravermelha relacionada à poeira circunstelar;
- Estrelas binárias com transferência de massa: existem componentes primários tipo B de sistemas binários de transferência de massa, como variáveis Algol e W UMa, em que o componente secundário preenche o lóbulo de Roche e o disco de acreção dá origem à(s) linha(s) de emissão. Eles são obviamente uma classe distinta, pois não se sabe de nenhuma estrela Be Clássica que tenha uma companheira que apresente o preenchimento do lóbulo de Roche;
- Estrelas B[e]: formam um grupo heterogêneo de estrelas B – dos quais cinco subgrupos são descritos – apresentando emissão em linhas de Balmer e também linhas de emissão proibidas¹ (Lamers et al., 1998). De fato, essas linhas não são observadas em estrelas Be Clássicas;

¹ Linhas proibidas, na espectroscopia astronômica, são linhas brilhantes de emissão nos espectros de certas nebulosas (regiões H II), não observadas nos espectros dos mesmos gases em laboratório, porque na Terra os gases não podem ser tão rarefeitos. O termo 'proibido' é enganoso; uma descrição mais precisa seria "altamente improvável". As emissões resultam de elétrons em órbitas duráveis dentro dos átomos radiantes – ou seja, a transição de um nível de energia superior para um nível de energia inferior que produz as emissões requer muito tempo para ocorrer. Como resultado, as linhas de emissão correspondentes a tais transições atômicas são extremamente fracas em comparação a outras linhas. No laboratório, além disso, um átomo excitado tende a atingir outra partícula ou as paredes do recipiente antes de emitir um fóton, reduzindo ainda mais a possibilidade de observação. Em uma região H II no espaço interestelar, por outro lado, o átomo permanecerá inalterado o tempo suficiente para emitir um fóton.

- Estrelas B magnéticas: dependendo da força do campo, do vento, perda de massa e rotação, esses objetos podem ter linhas de Balmer em emissão formadas na magnetosfera (Petit et al 2013). Seu ambiente circunstelar mostra variabilidade com o mesmo período de rotação da fotosfera, e pouca ou nenhuma variação secular (de longo prazo, não periódica), o que as distingue das estrelas Be Clássicas;
- Estrelas de outros tipos: estrelas pertencentes aos tipos O, A e F podem produzir linhas de emissão espectrais semelhantes aos perfis espectrais das Be Clássicas, mas parece prudente não colocar esses objetos na mesma categoria, sendo esses objetos bastante diferentes em outros aspectos.

O modo de vida das estrelas Be Clássicas

As estrelas Be Clássicas – ou simplesmente ‘Be stars’ – não são objetos raros: correspondem a cerca de 15-20% das estrelas B.

A característica mais notável das estrelas Be é sua variabilidade em todas as escalas de tempo, de alguns minutos a tempos muito mais longos. Suas linhas de emissão são transitórias, por definição. A emissão pode durar várias décadas. As mudanças observáveis podem ser monitoradas fotometricamente e isso inspirou a criação da classe γ Cas de estrelas variáveis, as ‘variáveis eruptivas’ do Catálogo Geral de Estrelas Variáveis.

A variabilidade no perfil de emissão eletromagnética também é bastante comum. Um exemplo são os “ciclos violeta-vermelho” (variações V/R), nos quais os dois picos das linhas de emissão H- α variam reciprocamente em altura. Eventos no ambiente circunstelar próximo ou na superfície estelar causam variabilidade em escalas de tempo de alguns dias.

A rotação estelar, os períodos de pulsação típicos e o período orbital Kepleriano nas proximidades da estrela são muito semelhantes, assim como os tempos de transporte viscoso através do disco interno, durando alguns dias ou semanas, no máximo. Enquanto a maioria das variações fotosféricas são pulsacionais, o ambiente circunstelar contribui para fenômenos cíclicos, e também com variações mais seculares, nas quais o material orbital é distribuído radialmente. As estrelas em que tais processos periódicos de curta duração dominam as variações fotométricas são denominadas “variáveis λ -Eri”².

Escalas de tempo inferiores a cerca de meio dia são devida-se frequentemente a modos de pulsação do tipo β -Cephei, se periódicos, em particular em estrelas Be precoces, mas em estrelas Be maduras, é mais comum que os fenômenos associados sejam transitórios.

As propriedades únicas das estrelas Be, sua proximidade em nossa vizinhança galáctica e uma faixa de luminosidade conveniente, as tornam bem acessíveis para observação e estudo com os instrumentos tipicamente disponíveis aos astrônomos amadores. Essas estrelas, e possivelmente seus equivalentes de linha de não emissão, as estrelas Bn, formam a classe rotativa mais rápida de estrelas não degeneradas em termos de $V \sin i$, e possivelmente em termos de valores fracionários do limite de rotação crítica. Isso os torna excelentes objetos para estudar os efeitos da rotação rápida.

² As variáveis λ Eridani formam uma classe de estrelas Be que mostram pequenas variações de amplitude, da ordem de alguns centésimos de magnitude. As variações são altamente regulares, com períodos entre 0,5 e 2,0 dias. As estrelas dessa classe foram inicialmente descritas como estrelas Be periódicas (Balona, L. A., 1995). λ Eridani é o protótipo. O fenômeno é atribuído a pulsações não radiais, a discos rotativos não homogêneos ou à rotação da própria estrela (Jerzykiewicz et al., 2011; Carrier et al., 2002). Essas estrelas raramente são classificadas ou são incorretamente. O Catálogo Geral de Estrelas Variáveis não possui um tipo para variáveis Lambda Eridani, apenas GCAS para variáveis γ Cassiopeiae e BE para variáveis estrela Be não-GCAS. A própria λ Eridani está incorretamente listada como uma variável β Cephei (Samus et al. 2017). O AAVSO International Variable Star Index (VSX) define um tipo de variabilidade LERI, com 16 estrelas incluídas como variáveis λ Eri, cinco delas apenas suspeitas e 13 combinadas com outros tipos de variação (Otero et al., acessado em 14 de maio de 2022).

Tendo saído da sequência principal, as primeiras estrelas B estão entre as denominadas “estrelas massivas”, ou seja, têm massas iguais ou superiores a oito massas solares e evoluirão a supernovas resultantes do colapso do núcleo estelar.

Em vários sistemas astrofísicos, as regiões de interface entre um objeto relativamente compacto e seu ambiente mais extenso são frequentemente caracterizadas por um disco gasoso. Os discos das estrelas Be apresentam exatamente a mesma natureza física que os discos de acreção bem estudados em torno das protoestrelas, mas são chamados de “discos de decreção”, em referência ao fato de que nos discos Be a massa geralmente flui para longe da estrela, enquanto nos discos de protoestrelas a matéria flui para dentro. Nos sistemas binários, os discos de Be estão sujeitos a processos importantes e complexos: precessão, empenamento, deformação de maré, truncamento e, mais importante, viscosidade, a qual governará o destino desses discos.

Linhas Espectrais das Estrelas Be

As linhas espectrais intrínsecas às estrelas Be podem vir de três regiões: da própria estrela, do disco e do ambiente circunstelar externo ao disco, assim como das regiões polares.

A aparência das linhas espectrais fotosféricas é governada pela rotação rápida, mas não apenas pelo alargamento rotacional. Além disso, a rotação quase-crítica altera as propriedades fotosféricas da própria estrela. Outro processo importante que afeta os perfis das linhas fotosféricas é a pulsação estelar.

Aparências típicas das linhas de emissão de estrelas Be são mostradas na parte inferior da Figura 2.

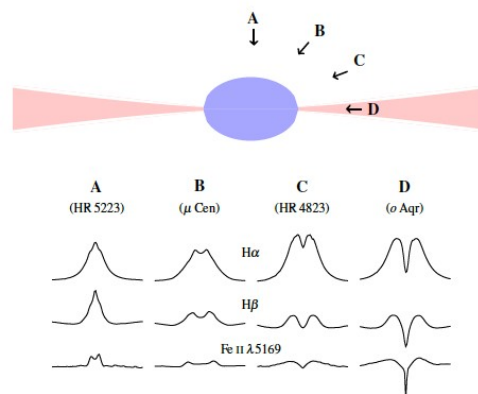


Figura 2. Vista esquemática de uma estrela Be em rotação crítica e com disco expandido. Na parte inferior, são exemplificados perfis espectrais de quatro estrelas, desde as vistas com eixo polar na linha de visada (A) até as chamadas “Shell Be” (D) (Rivinius et al., 2013).

As linhas em emissão de Hidrogênio mostram-se alargadas e a recombinação é o principal processo subjacente, enquanto que muitas linhas de metal são estreitas. Em inclinações polares e equatoriais, efeitos adicionais são perceptíveis. Para linhas opticamente espessas, o alargamento de espalhamento não coerente desloca os picos nas inclinações polares e cria o perfil visto em H- α e H- β da linha A da Fig. 1. Nas latitudes equatoriais, o disco auto-absorve a luminosidade nele produzida, também atuando como um véu para a luminosidade estelar, formando-se linhas de absorção estreitas e profundas (fila D da Fig. 1). A estrutura de emissão de pico duplo nem sempre é simétrica e a razão entre os dois picos, V/R, varia ciclicamente (Hümmel, 1994).

Rotadores Rápidos

Várias estrelas Be parecem girar muito perto de, ou no próprio limite crítico. Deve-se lembrar que existem estrelas B não-Be que também giram rapidamente³. A estrela α Leo (B8 IV), por exemplo, gira com $W = 0,81$ (McAlister et al., 2005), e toda a classe espectral de estrelas Bn é definida como estrelas B que giram rapidamente, sem emissão Balmer visível. Para as estrelas Be, vários estudos estimaram um valor médio de rotação $W = 0,75$. Townsend et al. (2004) apontaram que esses valores observados podem refletir a existência de um limiar superior para a detecção de W. Em resumo, as principais propriedades da rotação da estrela Be são (Rivinius et al., 2013):

- O W medido para estrelas Be é $\approx 0,8$;
- Algumas estrelas Be parecem girar mais rapidamente;
- O W mínimo para uma estrela B se tornar uma estrela Be é $\approx 0,7$;
- Existe um valor de W acima do qual todas as estrelas B se tornam estrelas Be.

Pulsação

A multiperiodicidade de estrelas Be é rotineiramente observada desde que Walker et al (2005) relataram o fenômeno a partir de observações realizadas por telescópios espaciais. Apenas estrelas Be precoces pulsam com energia suficiente para serem detectadas por telescópios em solo. A pulsação se estende a estrelas Be do tipo tardio, embora com amplitudes menores. Todas as estrelas Be, independentemente do subtipo espectral, analisadas com por fotometria espacial de alta cadência e longa duração são multiperiodicas e pulsantes. Assim, postula-se que as estrelas Be sejam têm pulsação não radial.

As estrelas Be não estão sozinhas como estrelas pulsantes em sua região do diagrama de Hertzsprung-Russell. Verificou-se que as estrelas B pulsam ao longo de toda a etapa evolutiva de sua classe. No entanto, estrelas B normais não pulsantes também existem, mesmo as classificadas como B0.5 IV.

A pulsação em estrelas Be pode ser classificada em vários tipos:

- Nas estrelas Be mais jovens, até cerca de B3, a pulsação do tipo β -Cep pode estar presente;
- Em toda a faixa evolutiva Be, são encontrados períodos de 0,5 a 2 dias, para os quais foram propostos diferentes mecanismos, como oscilações por modos gravitacionais de baixa frequência (modos-g) ou uma variante rotacional de ondas de Rossby (modos-r) para algumas estrelas e frequências;
- Ocasionalmente, podem ser notadas pulsações com frequências muito baixas, cujas origens podem ser fotosféricas ou no disco circunstelar;
- Durante as erupções, surgem frequências adicionais, com valores similares às do modo-g persistente mencionado acima.

Os Discos das Estrelas Be

Uma vez que o disco se formou e está bem definido, após uma erupção que reabasteceu o material do disco, este permanece em rotação Kepleriana, geometricamente fino e em

³ A rotação de uma estrela pode ser medida observando-se o alargamento das linhas espectrais e, a partir disso, obteremos a taxa de rotação projetada, $V \sin i$ e, possivelmente, informações sobre a rotação diferencial e o escurecimento da borda estelar. Uma vez que é o efeito Doppler que produz o alargamento das linhas espectrais, apenas o componente da linha de visada da velocidade de rotação está envolvido. O ângulo i está entre a linha de visada e o eixo de rotação da estrela. As regiões polares tem $i = 0$, sem alargamento rotacional; a faixa equatorial tem $i = 90$ graus, com alargamento rotacional máximo. O período de rotação pode ser medido detectando-se a modulação rotacional causada por uma superfície não uniforme na estrela. Espectroscopicamente, vemos a rotação no alargamento das linhas espectrais (Gray, D.F., <https://physics.uwo.ca/~dfgray/rotation.html>, acessado em 16 de maio de 2022).

equilíbrio hidrostático vertical. Sua evolução posterior é então ditada por processos viscosos. Enquanto o material com propriedades Keplerianas estiver sendo adicionado à parte interna do disco, o material e o momento angular serão transportados para fora. Em um disco alimentado de forma constante, o material transportado para fora acabará por cruzar um raio crítico e deixar o sistema. Assim que a injeção de massa desaparece, o disco gradualmente se transforma em um modo de acreção, com matéria retornando ao corpo estelar (Rivinius et al., 2013).

O modelo de disco de decreção viscoso tem explicado satisfatoriamente a variabilidade V/R em estrelas Be e as variações fotométricas observadas na formação e decaimento do disco. Os bancos de dados fotométricos de longo prazo, como OGLE (<https://ogledb.astrouw.edu.pl/~ogle/photdb/>) ou MACHO (Hog et al., 1995), possuem grande potencial para serem pesquisados, e os bancos de dados espectroscópicos, como o BeSS, estão se atualizando.

Um tema interessante é o da evolução das estrelas Be. À medida que uma estrela Be evolui além da sequência principal, a queda na rotação da superfície devido à expansão interromperá o mecanismo Be e o disco circunstelar se dissipará. No entanto, o fato de a estrela evoluída ter sido uma estrela Be pode afetar a evolução pós-sequência principal, pelo menos porque a rotação rápida alterou a evolução estelar e química. De acordo com Yoon et al. (2006) e Georgy et al. (2009), as estrelas Be e Oe mais massivas podem se tornar variáveis S Dor, especialmente com baixa metalicidade. Essa hipótese carece de confirmação.

A fotometria das estrelas Be

Considerando-se que as estrelas Be geralmente são caracterizadas pelas linhas de emissão em seus espectros – e especialmente pela variabilidade temporal dessas características espectroscópicas – elas também exibem variabilidade fotométrica em múltiplas escalas de tempo. Embora ainda não tenham sido amplamente comparadas e analisadas quanto a esse comportamento, Labadie-Bartz et al. (2017) analisaram as variações de brilho de um grande número de estrelas Be conhecidas. Os dados fotométricos foram obtidos a partir do levantamento de trânsito exoplanetário KELT (Kilodegree Extremely Little Telescope), com uma cadência típica de 30 minutos, uma linha de base de até dez anos, precisão fotométrica de cerca de 1% e cobertura de cerca de 60% do céu. Esses autores relatam que:

- As estrelas Be são altamente variáveis, com maior variabilidade fotométrica observada em tipos espectrais precoces;
- Cerca de um quarto das estrelas Be têm erupções fotométricas em intervalos semirregulares;
- Uma periodicidade intermediária, superior a dois dias, é comum em 38% dos dados amostrados;
- Ao combinar dados KELT com espectros do banco de dados BeSS, detectou-se evidências de que erupções fotométricas correspondem a eventos de criação ou incremento de disco;
- oscilações globais do disco manifestam-se em variabilidade V/R e também podem modular o brilho do sistema estrela-disco Be;
- Alguns sistemas listados como estrelas Be clássicas no banco de dados BeSS foram classificados erroneamente como tal;
- Trabalhos futuros são recomendados para aumentar as estatísticas com tamanhos de amostra e linhas de base maiores, para investigarem maior detalhe os sistemas particularmente interessantes e de forma a permitir análises mais completas dos tipos de variabilidade das estrelas Be.

Pode-se verificar na Tabela I, com base nos dados disponíveis no BeSS até maio de 2022, que a população de estrelas Be visíveis no hemisfério sul tem sido muito menos observada do que nas latitudes mais altas. Portanto, seria altamente desejável realizar,

concomitantemente, a fotometria e a espectroscopia de estrelas Be austrais selecionadas segundo critérios objetivos, para acompanhar suas variações espectrais e de magnitude por um período significativo de tempo.

Tabela 1. *Estrelas tipo Be ou similares no BeSS.*

Objetos e Espectros	Hemisf. Norte	Hemisf. Sul	Total
Be Clássicas	34%	66%	1,946
Clássicas ou Herbig?	6	4	10
Herbig Ae/Be	29	25	54
B[e]	9	2	11
Estrelas emissivas em H-α	708 (35%)	1.313 (65%)	2.021
Estrelas Be Setentrionais	85%		
Estrelas Be Austrais	15%		
Espectros por Pros	24%		
Espectros por Amadores	76%		
Total de Registros Espectrais	259.389		

Das 1.313 estrelas Be, Herbig Ae/Be e B[e] disponíveis no banco de dados BeSS até o momento (16 de maio de 2022), visíveis no hemisfério sul celeste, 673 objetos (51%) não tiveram um único espectro depositado; 429 têm 1 a 5 espectros. Noventa e três estrelas do sul foram extensivamente estudadas, com 50 ou mais espectros. Del Sco (HD 143275) tem 6.069 espectros.

Várias ferramentas online foram disponibilizadas por astrônomos amadores europeus e podem fornecer um caminho seguro para seus colegas do hemisfério sul enfrentarem o desafio. Entre eles destacam-se:

- BeSS, Base de Dados Espectrais de Estrelas Be, o qual contém o catálogo completo de estrelas Be Clássicas, estrelas Herbig Ae/Be e supergigantes B[e]. Reúne espectros obtidos por astrônomos profissionais e amadores. A base de dados é mantida no laboratório LESIA do Observatoire de Paris-Meudon; até esta data (15 de maio de 2022), há 2.330 estrelas Be no catálogo do BeSS e 399.560 espectros de estrelas Be depositados, dos quais 98% referem-se a estrelas Be Clássicas, 1,66% são de estrelas Herbig Ae/Be, e 0,44% são espectros B[e]. Aproximadamente 10% dos 180 observadores registrados no BeSS depositaram mais de 93% dos dados espectrais. Em 2019, 86 publicações utilizaram dados extraídos do BeSS (<http://basebe.obspm.fr/basebe/>);
- ArasBeAm, lançado em fevereiro de 2007, criado por um grupo de amadores. O objetivo da iniciativa é coordenar observações espectroscópicas amadoras de estrelas Be, para ter a melhor cobertura no tempo e nas estrelas. O principal objetivo do programa ArasBeAm é detectar e rastrear erupções. Registros de qualquer tipo são bem-vindos, assim como a evolução de médio e longo prazo nos perfis das linhas Balmer, principalmente H- α . ArasBeAm é diariamente sincronizado com os dados do BeSS (<http://arasbeam.free.fr/>).

Observações finais

Em retrospecto:

- As estrelas Be formam um subconjunto de estrelas não gigantes do tipo B que giram rapidamente, exibindo emissão de linhas atribuída a um disco circunstelar gasoso em movimento Kepleriano;
- Este disco viscoso e circunstelar de decreção é formado e posteriormente sustentado por erupções com ejeção de massa;
- Se o fluxo de material da estrela Be é interrompido, o disco se dissipa;
- Rotação estelar quase-crítica combinada com pulsação não radial (NRP) pode desempenhar

um papel no mecanismo de transferência de massa;

- A variabilidade das estrelas em seus brilhos e as características espectrais em uma grande variedade de escalas de tempo, de horas a décadas, fornecem informações sobre a física dessas mudanças;
- A periodicidade em escalas de tempo mais curtas, entre horas e dias, é normalmente atribuída ao NRP estelar;
- Erupções e oscilações quase-periódicas são normalmente encontradas em escalas de tempo intermediárias, de dias a meses, embora as erupções possam durar anos.

Por serem relativamente fáceis de observar, e por sua natureza ter sido parcialmente estabelecida, as estrelas Be são bons sistemas para investigar questões astrofísicas cruciais. Uma enorme quantidade de informações sobre as estrelas Be já está disponível, mas estas ainda guardam segredos que podem ser desvendados através da cooperação entre astrônomos amadores e profissionais. Nesse sentido, o que conta para a comunidade de astronomia amadora com acesso aos céus austrais é que muito pode ser feito em relação às observações de estrelas Be com instrumentos menores e mais simples, preferencialmente por registro simultâneo de dados fotométricos e espectrométricos.

Bibliografia

- Balona, L. A., 1995, *Tests of the Pulsation and Starspot Models for the Periodic Be-Stars*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 277(4):1547–1554. Bibcode:1995MNRAS.277.1547B. doi:10.1093/mnras/277.4.1547.
- Carrier, F.; Burki, G.; Burnet, M., 2002, *Search for duplicity in periodic variable Be stars*. Astronomy and Astrophysics 385 (2): 488. Bibcode:2002A&A...385..488C. doi:10.1051/0004-6361/20020174.
- Collins, G. W. II, 1987, *The use of terms and definitions in the study of Be stars*. In: IAU Colloq. 92: *Physics of Be Stars*, p 3.
- Georgy, C., Meynet, G., Walder, R., Folini, D., Maeder, A., 2009, *The different progenitors of type Ib, IcSNe, and of GRB*. Astronomy and Astrophysics 502:611–622, DOI 10.1051/0004-6361/200811339
- Hog, E., Novikov, I. D., Polnarev, A. G., 1995, *MACHO photometry and astrometry*. Astronomy and Astrophysics, 294:287-294.
- Hummel, W., 1994, *Line formation in Be star envelopes. 1: Inhomogeneous density distributions*. Astronomy and Astrophysics 289:458–468.
- Jaschek, M., Slettebak, A., Jaschek, C., 1981, *Be star terminology*. Be Star Newsletter (4):9–11.
- Jerzykiewicz, M., Kopacki, G., Pigulski, A., Kołaczkowski, Z., Kim, S.-L., 2011, *A CCD Search for Variable Stars of Spectral Type B in the Northern Hemisphere Open Clusters. VIII. NGC 6834*". ActaAstronomica 61 (3):247–273. arXiv:1110.4064. Bibcode: 2011AcA....61..247J.
- Labadie-Bartz, J., Pepper, J., McSwain, M. V., Bjorkman, J. E., Bjorkman, K. S., Lund, M. B., Rodriguez, J. E., Stassun, K. G., Stevens, D. J., James, D. J., Kuhn, R. B., Siverd, R. J. and Beatty, T. G., 2017, *Photometric Variability of the Be Star Population*, Astronomical Journal, 153:252 (21pp).
- Lamers, H. J. G. L. M., Zickgraf, F. J., de Winter, D., Houziaux, L., Zorec, J., 1998, *An improved classification of B[e]-type stars*. Astronomy and Astrophysics 340:117–128.
- McAlister, H. A., ten Brummelaar, T. A., Gies, D. R., Huang W., Bagnuolo, W. G. Jr, Shure, M. A., Sturmman, J., Sturmman, L., Turner, N. H., Taylor, S. F., Berger, D. H., Baines, E. K., Grundstrom, E., Ogden, C., Ridgway S. T., van Belle, G., 2005, *First Results from the CHARA Array. I. An Interferometric and Spectroscopic Study of the Fast Rotator α Leonis (Regulus)*. Astrophysical Journal 628:439–452, DOI 10.1086/430730.
- Neiner, C., de Batz, B., Cochard, F., Floquet, M., Mekkas, A., Desnoux, V., 2011, *The Be Star Spectra (BeSS) Database*. Astronomical Journal 142:149
DOI 10.1088/0004-6256/142/5/149, <http://basebe.obspm.fr/>. Retrieved 14 May 2022.

- Otero, S. A.; Watson, C.; Wils, P., *Variable Star Type Designations in the VSX*. AAVSO Website. American Association of Variable Star Observers. Retrieved in 14 May 2022.
- Petit, V., Owocki, S. P., Wade, G. A., Cohen, D. H., Sundqvist, J. O., Gagné, M., MaízApellániz, J., Oksala, M. E., Bohlender, D. A., Rivinius, T., Henrichs, H. F., Alecian, E., Townsend, R. H. D., ud-Doula, A., MiMeS Collaboration, 2013, *A magnetic confinement versus rotation classification of massive-star magnetospheres*. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 429:398–422, DOI 10.1093/mnras/sts344.
- Pringle, J. F., 1992, *Circumstellar Discs*. In: Nonisotropic and Variable Outflows from Stars, Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 1992, In: Drissen, L., Leitherer, C., Nota, A. (eds.), 22:14. <https://adsabs.harvard.edu/full/1992ASPC...22...14P> (Accessed in May, 14, 2022).
- Rivinius, T., Carciofi, A. C., Martayan, C., 2013, *Be Classic Stars – Rapidly Rotating B Stars with Viscous Keplerian Decretion Disks*. The Astronomy and Astrophysics Review. 21(69):1-86, arXiv:1310.3962v1 [astro-ph.SR] 15 Oct 2013.
- Samus, N. N., Kazarovets, E. V., Durlevich, O. V., Kireeva, N. N., Pastukhova, E. N., 2017, *VizieR Online Data Catalog: General Catalogue of Variable Stars (Samus+ 2007-2017)*. VizieR On-line Data Catalog: B/GCVS. Astronomy Reports, 61 (1):80-88, DOI: 10.1134/S1063772917010085.
- Townsend, R. H. D., Owocki, S. P., Howarth, I. D. (2004) *Be-star rotation: how close to critical?* Monthly Notes of the Royal Astronomical Society 350:189–195, DOI 10.1111/j.1365-2966.2004.07627.x.
- Walker, G. A. H., Kuschnig, R., Matthews, J. M., Reegen, P., Kallinger, T., Kambe, E., Saio, H., Harmanec, P., Guenther, D. B., Moffat, A. F. J., Rucinski, S. M., Sasselov, D., Weiss, W. W., Bohlender, D. A., Bozic, H., Hashimoto, O., Koubsky, P., Mann, R., Ruzdjak, D., Skoda, P., Slechta, M., Sudar, D., Wolf, M., Yang, S., 2005, *Pulsations of the Oe Star ζ Ophiuchi from MOST Satellite Photometry and Ground-based Spectroscopy*. Astrophysical Journal 623:L145–L148, DOI 10.1086/430254.
- Yoon, S. C., Langer, N., Norman, C., 2006, *Single star progenitors of long γ -ray bursts. I. Model grids and redshift dependent GRB rate*. Astronomy and Astrophysics 460:199–208, DOI 10.1051/0004-6361:20065912.

Nota: O autor agradece a Tasso Augusto Napoleão a revisão e as sugestões gentilmente oferecidas na versão em Português deste artigo, o qual também foi publicado em Inglês na *Variable Stars South Newsletter 2022-3* (<https://www.variablestarssouth.org/vss-newsletter-july-2022>) e em Espanhol no *Boletín n. 8 da Sección Estrellas Variables CODE/LIADA, Liga Iberoamericana de Astronomía* (<https://sites.google.com/site/codeliada/boletín-de-estrellas-variables>).