

# SPECTROSCOPIE DE MICĂ REZOLUȚIE LA 5 STELE DIN CLASA B

Daniel BERTEȘTEANU\*

**Key words:** spectroscopy, eruptive stars, Balmer lines, emission lines, luminous blue variables.

## Detalii tehnice:

Capturile au fost realizate în nopțile de 11-12 august 2017. Pentru obținerea spectrelor am folosit un spectroscop Star Analyser 100 iar extragerea și analiza profilelor spectrale am realizat-o în programul de spectroscopie BASS.

- telescop: Skywatcher 130mm, F5;
- camera: Qhy 163m;
- spectroscop: Star Analyzer;
- coeficient de dispersie: 1.47 nm/px;
- expunerile au variat între 1-12 secunde în funcție de magnitudinea stelei țintă;

## Procedura de lucru:

Capturile raw au fost procesate în programul BASS astfel:

- aliniere și stacking - pentru creșterea raportului SNR;
- calibrare - inițial pe o stea de tip A0V (Vega, Castor etc.) pentru aflarea coeficientului de dispersie; stelele din această clasă au profile de absorbție ale hidrogenului foarte ușor de identificat și sunt ideale pentru calibrare; coeficientul de dispersie rămâne același pentru toată seria de capturi câtă vreme setup-ul nu este dezamblat; ulterior, profilele particulare care nu prezintă linii Balmer evidente pot fi recalibrate folosind linii spectrale particulare din spectrele de referință sau din atlasele/bazele online de spectre.
- în cazul liniilor metalice discrete și de mică amplitudine am verificat prezența lor comparându-le cu cele de referință din atlasele și bazele de date disponibile online<sup>1</sup>
- obținerea curbei de răspuns a instrumentului;

### 1. Stele din clasa B- Albireo- $\beta$ Cygni:

Din această clasă fac parte stele foarte fierbinți și cu luminozitate mare pe care le vedem în nuanțe de bleu și care emit puternic în ultraviolet. O parte dintre ele le vedem cu ușurință pe cer și sunt foarte cunoscute: roiul Pleiade, stelele principale din Orion (Rigel, Saiph și Bellatrix), Regulus, Spica, Alpheratz sau Albireo.

Clasa B este caracterizată de liniile de absorbție ale heliului neutru (HeI), care ating un maxim la subclasa 2 și dispar spre ordinele 8-9. Liniile Balmer sunt slabe la stelele din subclase de ordin mic (0-5) și devin din ce în ce mai puternice spre subclase mari (cf R. Walker, vezi nota nr 7).

În imaginea 1 avem spectrul componentei albastre (beta 2 Cyg) a stelei Albireo în care observăm următoarele lucruri:

- maximul intensității este undeva în albastru violet, dovadă a culorii pe care o vedem când privim steaua prin telescop și a temperaturii foarte mari a acesteia.<sup>2</sup>
- curba intensității scade pe măsură ce ne apropiem de violet deoarece senzorul CCD al camerei nu este sensibil la lungimi de undă așa de mici.
- liniile de absorbție ale hidrogenului din seria Balmer sunt foarte evidente, deci vorbim de o stea care se află la sfârșitul seriei B, în grupa 9; de aceea are caracteristici spectrale asemănătoare cu stelele din grupa A.

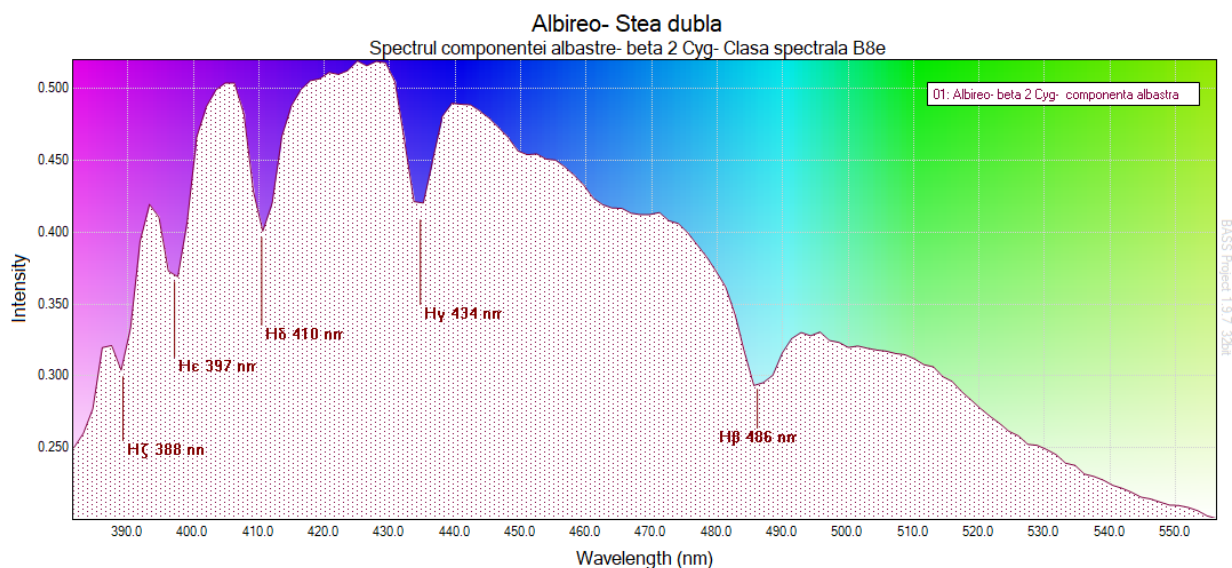
---

\*Profesor la Liceul Teoretic “Școala Mea” și la Centrul de Excelență “Education Beyond Borders” din București. Profesor asociat la Școala Germană “Hermann Oberth” și la Astroclubul București.

<sup>1</sup> Richard Walker, Spectral Atlas for Amateur Astronomers, 2012; Bază de spectre online: [atlas.obs-hp.fr/elodie/](http://atlas.obs-hp.fr/elodie/)

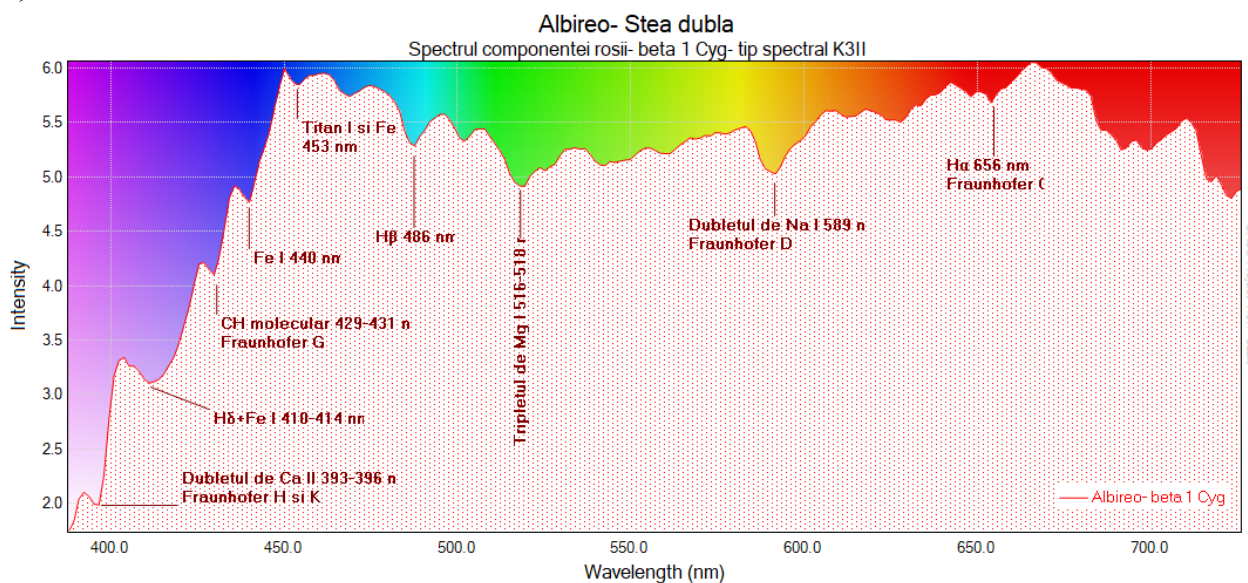
<sup>2</sup> Ochiul uman nu este sensibil la violet și de aceea nu vedem stelele violet, percepția lor fiind de albastru-bleu; pe de altă parte, ochiul nostru este foarte sensibil la verde iar Soarele are maximul pe la 500-550 nm ceea ce corespunde cu culoarea verde. Totuși, nu vedem Soarele verde deoarece verdele fiind în mijlocul spectrului vizibil, se asociază și cu celelalte culori iar suma tuturor este interpretată de creier ca fiind alb-galben.

- liniile Balmer sunt destul de largi ceea ce înseamnă că viteza de rotație a steii este foarte mare:  $\sim 215 \text{ km/s}^3$



Graficul nr. 1 *Spectrul componentei steii albastre beta 2Cyg (Albireo)*

În continuare, iată spectrul celeilalte componente a sistemului Albireo și anume componenta roșie.



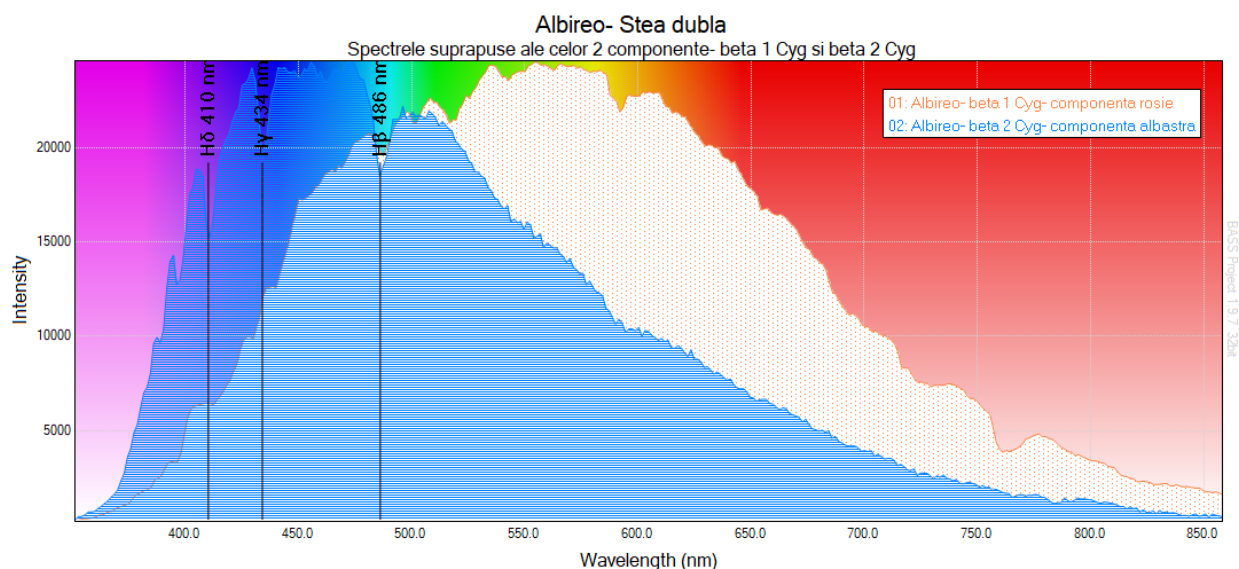
Graficul nr. 2 *Spectrul componentei steii roșii beta 1Cyg (Albireo)*

Spre deosebire de componenta albastră, în graficul 2 vedem un profil cu totul diferit:

- maximul intensității spre roșu, deci steaua este mult mai rece; privită prin telescop, beta 1 Cyg are nuanțe portocalii iar împreună cu albastrul perechii sale, Albireo, este una dintre cele mai observate și mai îndrăgite stele duble de pe cer atât de astronomii amatori cât și de către public.
- liniile Balmer absente;
- linii metalice abundente;
- liniile Fraunhofer destul de bine conturate - caracteristice stelelor de clasă G cum este și Soarele nostru.

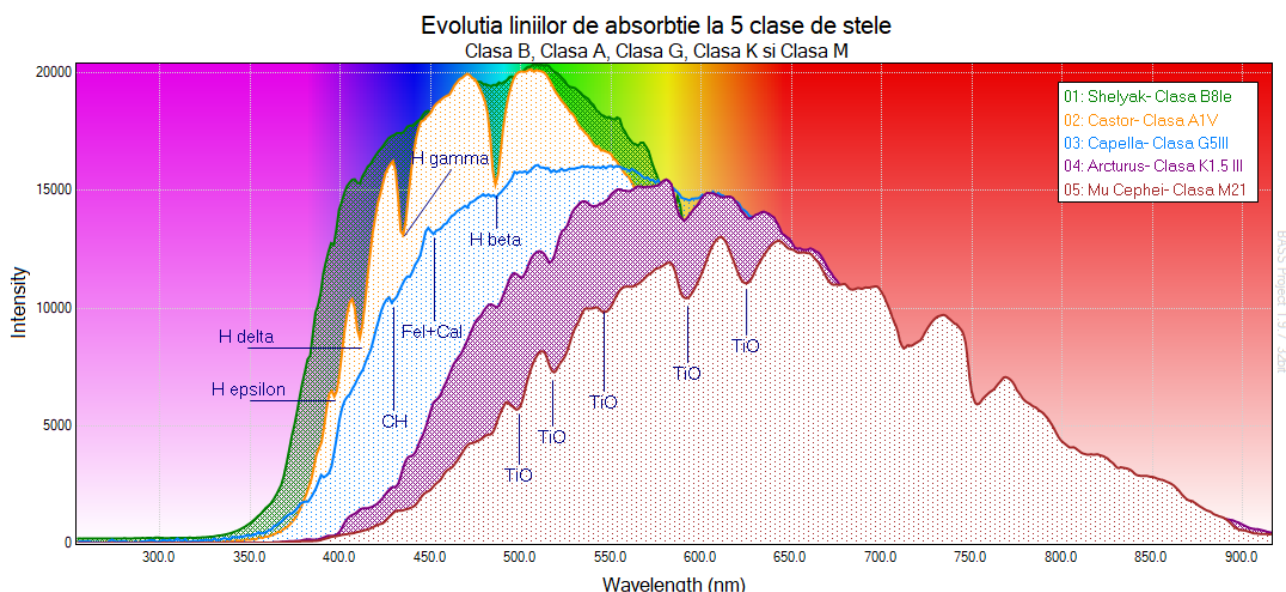
Pentru a diferenția mai bine cele două profile, iată-le suprapuse în graficul nr. 3:

<sup>3</sup> Comparați această valoare cu viteza de rotație ecuatorială a Soarelui:  $\sim 2,1 \text{ km/sec}$ .



Graficul nr. 3 *Spectrele sistemului Albireo suprapuse*

Pentru a evidenția schimbările în morfologia profilului spectral datorate scăderii temperaturii fotosferelor stelare, voi compara profilul unei stele de tip B cu cel al unor stele din alte clase. Acest lucru ne permite să observăm apariția anumitor linii de absorbție pentru anumite elemente chimice cum ar fi hidrogenul, liniile metalice de fier și calciu sau cele moleculare de CH și TiO. În graficul numărul 4 avem profilul unei stele de clasă B comparat cu profilele a 4 stele din clase inferioare, din care putem evidenția următoarele:



Graficul nr. 4 *Evoluția liniilor spectrale la 5 clase de stele*

- pe măsură ce trecem de la clasa B la clase inferioare maximul curbei spectrale se deplasează către lungimi de undă mai mari, dovadă a scăderii temperaturilor de suprafață și a culorilor diferite pe care le percepem când privim aceste stele. Cea mai fierbinte stea din seria analizată este Shelyak iar cea mai rece este Mu Cephei: prima strălucește în nuanțe de bleu iar ultima în roșu-grena.
- cele mai vizibile linii de absorbție ale hidrogenului din seria Balmer se pot observa la stelele din clasa A (Castor).
- la clasa de stele G se evidențiază liniile metalice de Fe, Ca și cele de CH (Fraunhofer G la 429nm).
- clasele inferioare de stele se caracterizează prin fotosfere cu temperaturi scăzute ceea ce permite liniilor moleculare de CH și TiO să se evidențieze din ce în ce mai puternic creând profile în "dinți de fierăstrău".

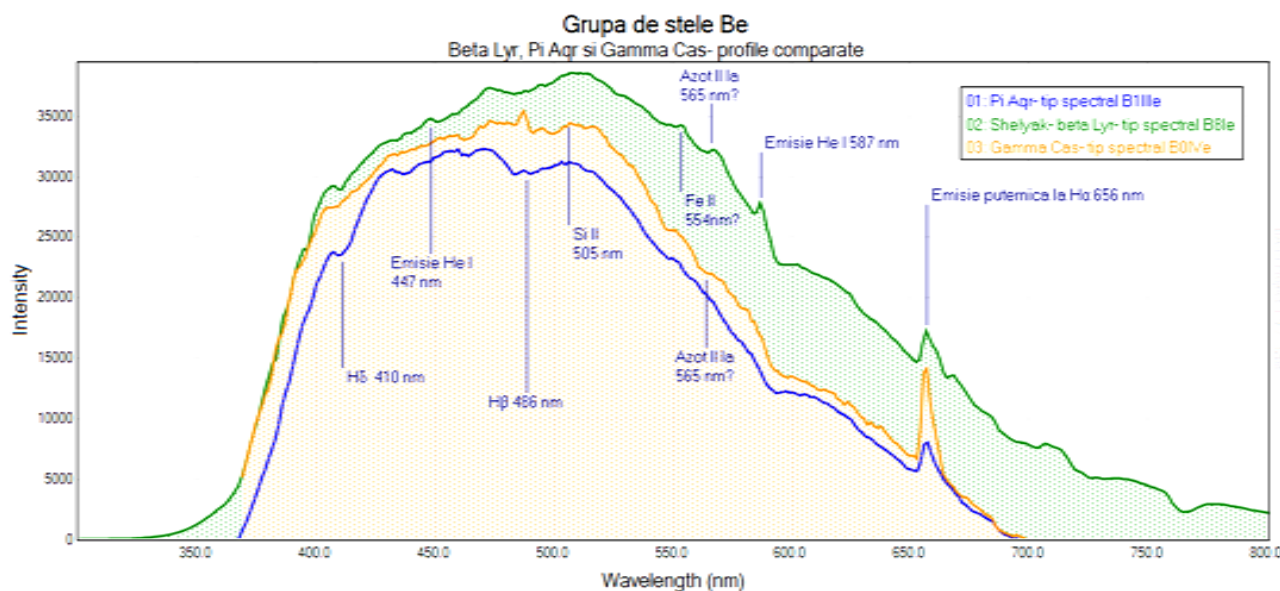
## 2. Stelele de tip Be:

Aceste stele sunt un tip de stele B caracterizate de linii de emisie<sup>4</sup> ale hidrogenului și heliului foarte puternice generate de un disc de gaz aflat la ecuatorul lor.<sup>5</sup> El este generat episodic, se rotește cu viteze foarte mari și conține în principal atomi de hidrogen și heliu puternic excitați de radiația intensă a acestor stele. Pe lângă emisiile de  $H_I$  și  $He_I$ , acest disc emite puternic în X și infraroșu.<sup>6</sup>

Datorită vitezei mari de rotație a discului de gaz, liniile de emisie ale hidrogenului sunt puternic afectate de efectul Doppler. Lumina emisă din partea de disc care vine spre noi este deviată spre albastru iar cea emisă din partea discului care se depărtează de noi spre roșu; efectul în spectru este apariția unor linii duble de emisie ale hidrogenului și heliului.

Din păcate, rezoluția mică a spectroscopului folosit nu a permis evidențierea acestui fenomen în spectrele studiate. În graficul nr. 5 este profilul spectral suprapus a 3 stele de tip Be-Sheliak,  $\pi$  Aqr și  $\gamma$  Cas- în care observăm următoarele:

- în ansamblu toate au spectre asemănătoare deci confirmăm că sunt din aceeași clasă.
- dintre toate stelele din imagine,  $\gamma$  Cas pare cea mai fierbinte deoarece profilul ei se oprește undeva la 700nm, la celelalte continuând dincolo de el. Se confirmă deoarece ea este de ordin 0 deci este cea mai fierbinte din clasa ei.
- Sheliak pare cea mai rece; într-adevăr, este de ordin 8;
- la  $\pi$  Aqr, profilul prezintă cele mai puține linii de emisie; posibil ca discul de gaz din jurul ei să nu fie atât de dens sau steaua să fie într-o perioadă mai liniștită în comparație cu  $\gamma$  Cas. Sau este posibil să emită dar din direcția noastră de observare să nu vedem acest lucru.
- toate 3 prezintă emisii puternice la  $H\alpha$  (656nm); înseamnă că temperatura discului de gaz din jurul lor trebuie să fie cuprinsă între 7500-10000°K;
- doar  $\gamma$  Cas emite și în  $H\beta$  la 486nm deci în discul de gaz înconjurător, electronii pot face tranziții de la  $n=4$  la  $n=2$ ; la siliciu 505nm vedem o absorbție, lucru caracteristic pentru stelele B mai fierbinți;



Graficul nr. 5 Spectrele stelelor Beta Lyr, Pi Aqr și Gamma Cas - profile comparate

<sup>4</sup> De aici și indicativul literei "e" a acestor stele;

<sup>5</sup> Prima stea de tip Be- $\gamma$  Cassiopeiae a fost descoperită în 1868 de către astronomul italian Angelo Secchi care se întreba încă de pe atunci ce este cu liniile strălucitoare din spectrul acestor stele.

<sup>6</sup> cf R. Walker, p. 23;

### 3. Stelele Be de tip P Cygni:

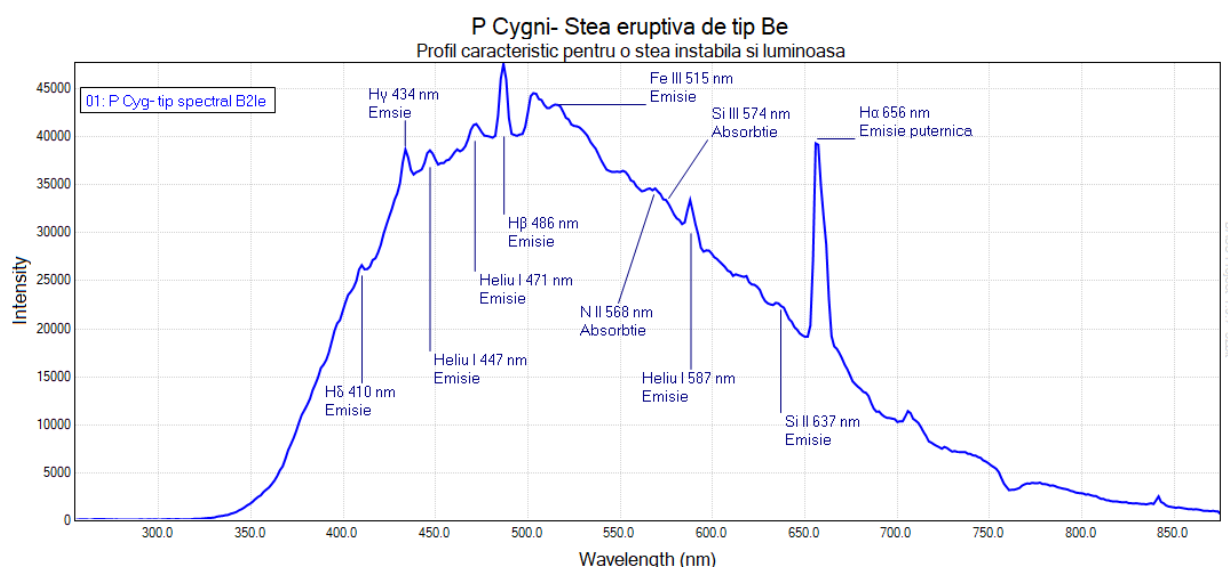
O altă categorie de stele Be sunt cele care prezintă profil de tip P Cygni și care sunt descrise în literatura de specialitate ca stele de tip LBV (Luminous Blue variables)<sup>7</sup>. Ele au în comun faptul că sunt stele eruptive, instabile, care degajă cantități impresionante de materie stelară în spațiu și au episoade foarte luminoase (Fig.5). Pe 18 august 1600, P Cyg a avut un asemenea episod eruptiv și-a intensificat strălucirea și a devenit o novă-Nova Cygni 1600- pe la magnitudinea 3. După 6 ani magnitudinea trecuse de 5; în sec XIX episodul eruptiv s-a repetat. Din acest tip de stele fac parte și cunoscutele Eta Carinae și S Doradus din emisfera sudică.

Ejecția de material produce în spectru linii de emisie cuplate la bază cu mici linii de absorbție (profilul de tip P Cyg) asemănătoare unei imagini în oglindă. Fenomenul apare datorită faptului că electronii din gazul emis în direcția noastră (și care au viteze mai mari) vor face tranziții la nivele superioare și vor produce absorbții deviate spre albastru, în timp ce fotonii emiși tangențial direcției noastre și pe care îi percepem ca având viteză mai mică, vor produce linii de emisie deviate spre roșu.

Stelele de tip LBV produc un vânt solar deosebit de puternic și pierd prin ejecția de material “câteva sute de mii de mase solare pe an”.<sup>8</sup> Vă recomand să accesați linkul de la nota 8 de subsol pentru a afla mai multe despre acest tip exclusivist de stele - viitoare supernove - și a vă face o idee despre enormitatea existenței lor.

Din nou, rezoluția mică a spectroscopului folosit nu a permis evidențierea acestui fenomen în spectrul stelei P Cyg studiat. Chiar și așa, în graficul nr. 6 putem observa următoarele lucruri:

- puternice linii de emisie - trebuie să se afle ceva consistent în jurul acestei stele și suficient de aproape ca electronii să poată face tranziții.
- puternice linii de emisie ale hidrogenului; învelișul de gaz care a generat aceste linii trebuie să se afle la temperaturi cuprinse între 7500-10000°K pentru a genera aceste linii.
- linia de absorbție pentru siliciu mică dar prezentă - absorbțiile pentru siliciu caracterizează întreaga clasă B de stele;
- emisii de fier la 515nm și absorbții la azot - discul conține aceste elemente;



Graficul nr. 6 P Cygni - stea eruptivă de tip Be

### Concluzii și perspective:

Profilele spectrale studiate ne relevă principalele caracteristici ale clasei de stele B cum ar fi puternicele linii de absorbție/emisie corespunzătoare heliului și hidrogenului. Legătura dintre

<sup>7</sup> cf R. Walker, p. 39;

<sup>8</sup> Sursa AAVSO: [https://www.aavso.org/vsots\\_pcyg](https://www.aavso.org/vsots_pcyg)



profilul spectral și temperatura stelelor a putut fi evidențiată foarte clar. Pe lângă acestea, am putut observa linii mai discrete de fier, sulf, azot și CaH în stele precum P Cyg care se află o distanță considerabilă față de noi<sup>9</sup>. Este uimitor că dintr-un apartament din București de unde scriu această analiză, cu instrumente entry level de amatori și o expunere de doar 12 secunde am putut găsi aceste elemente aflate atât de departe. Este o dovadă că și amatorii pot contribui în mod real la marea astronomie, cel puțin prin educație și popularizare care în peisajul autohton al țării noastre nu sunt deloc puțin lucru!

### **Bibliografie:**

A.E.Roy & D.Clarke, 2003- *Astronomy, Principles and practice*, ediția 4, CRC Press, Bristol;  
M. Kachelrieß, 2011- *A Concise Introduction to Astrophysics*, Institutt for fysikk NTNU, Trondheim Norway;  
Richard Walker, 2012, *Spectral Atlas for Amateur Astronomers*; Cambridge University Press;

### **Resurse online utilizate:**

<https://www.aavso.org/>  
[http://ned.ipac.caltech.edu/level5/ASS\\_Atlas/MK\\_contents.html](http://ned.ipac.caltech.edu/level5/ASS_Atlas/MK_contents.html)  
<http://astronomy.nmsu.edu/geas/lectures/lecture19/slide02.html>  
<http://www.astro.sunysb.edu/astro/about.html>  
[spiff.rit.edu/classes/](http://spiff.rit.edu/classes/)  
<https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/spectral1.html>  
<https://courses.lumenlearning.com/astronomy/>

## **LOW RESOLUTION SPECTROSCOPY OF FIVE B CLASS STARS**

The spectroscopy is a very powerful technique in astronomy because it can give information about the temperature and chemical composition of the cosmic objects. With the aid of spectroscopy, we can classify the asteroids and find organic molecule in comets, we can search for binary systems in very close pairs of double stars, we can analyze the nature of the bright deep sky sources like nebula, novae, supernovae and quasars or we can find out the rotational speed of the galaxies. Through spectroscopy we can also perform quantity and quality analysis about the composition of the interstellar environment, of the sun's corona or about the hot gas disc around the eruptive stars.

When we see the stars with naked eye or by telescope, the stars don't seem very different. All we can see is the difference of color between them: some have a blue color, most of them are white and others are orange. Very few stars are garnet. In this study, I will present you a collection of spectral profiles on a few B class stars. By analyzing them, we can obtain valuable information.

Beyond their observational value, beyond recording and confirming what we already know about stars from professional astronomers studies, the main purpose of this study is motivational and educational. The study shows us that spectroscopy is affordable at the amateur level, it can be made with cheap instruments, its results are spectacular and it integrates perfectly in the astronomical citizen science projects.

---

<sup>9</sup> Estimată la 6000 de ani lumină; sursa citată <http://stars.astro.illinois.edu/sow/pcyg.html>