

combinație posibilă QZ. Menționăm că nu se folosește litera J (spre a se evita confuzia cu I).

Datele observaționale au scos în evidență o serie mare de tipuri de stele variabile, fiecare categorie având particularitățile sale comune pentru stelele respective. De aceea, pentru a ne putea face o impresie asupra acestor grupe precum și asupra celor mai importante caracteristici fizice ale lor, vom prezenta aici o privire de ansamblu, utilizând în acest scop lucrarea publicată recent (1972) de către profesorul W. Strohmeier.

## 1. Stele pulsante

Cea mai mare grupă de stele variabile este alcătuită din stelele care pulsează, acest fapt fiind cauza principală a variației strălucirii observate. Stelele din această categorie sînt cele mai numeroase, ele se mai numesc și *cefeide* după numele primei stele care a fost descoperită din această clasă. Este vorba de steaua  $\delta$  Cephei.

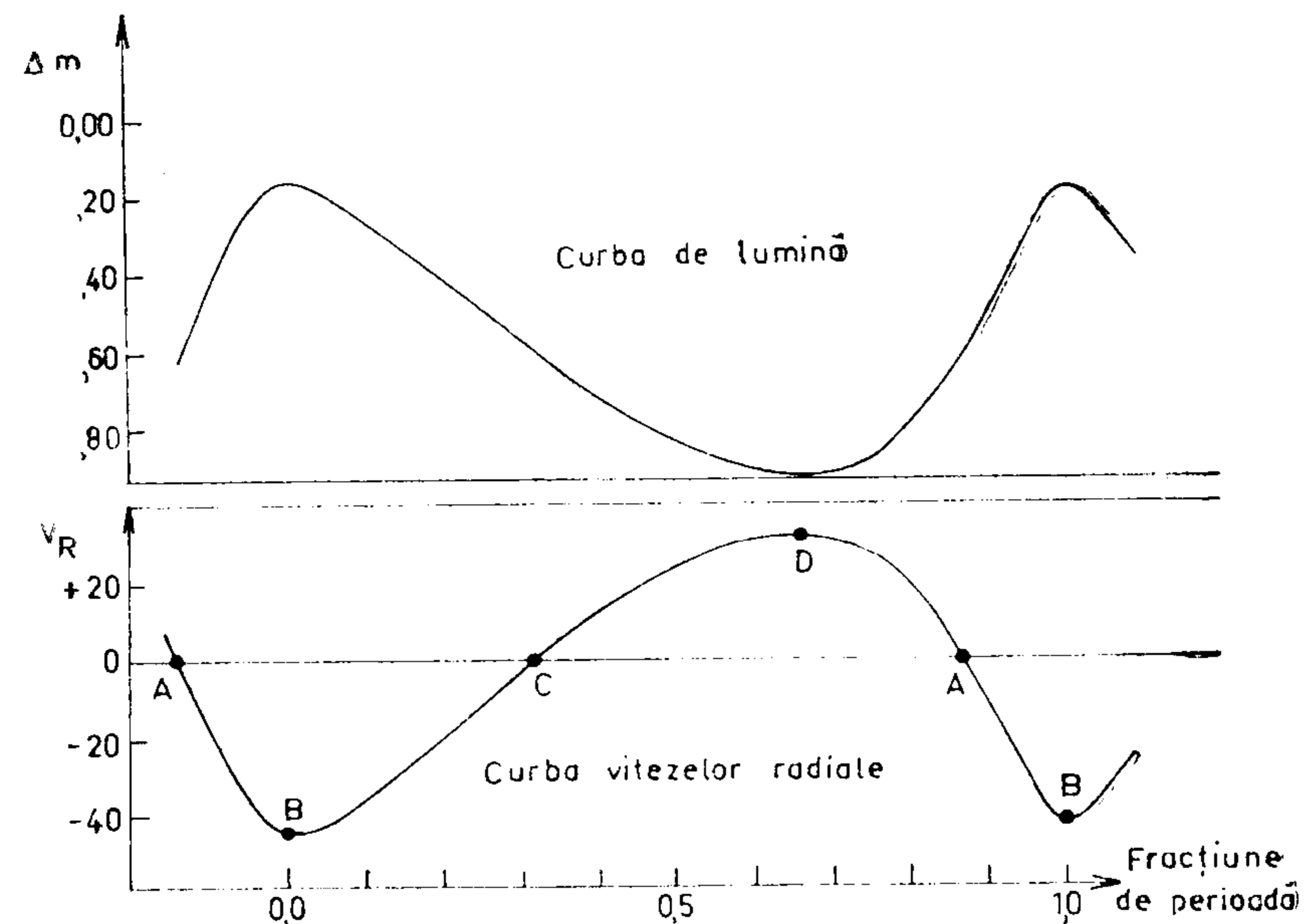
Deși stelele pulsante sînt foarte îndepărtate de noi, ele radiază destulă energie pentru a putea fi văzute ca obiecte destul de luminoase. În general ele sînt stele galbene și aparțin claselor spectrale F și K. În figura 22.1 este reprezentată curba de lumină și cea a vitezelor radiale pentru o stea cefeidă tipică.

Curba de lumină se obține reprezentînd strălucirea stelei în funcție de timp. Strălucirea este exprimată de obicei în magnitudini aparente sau absolute iar timpul poate fi exprimat în zile sau în fracțiuni de perioadă.

Curba vitezelor radiale se obține dacă se face o reprezentare grafică a vitezei radiale, exprimată în kilometri pe secundă, în funcție de timp. Viteza radială indică apropierea sau îndepărtarea învelișului stelar față de observator.

Variația vitezelor radiale este interpretată ca un rezultat al pulsațiilor straturilor superficiale; cînd steaua se dilată emisfera care este orientată spre noi se apropie de observator iar liniile spectrale sînt deplasate spre violet. Apoi, cînd steaua se contractă, ele se deplasează spre roșu — suprafața vizibilă a stelei îndepărtîndu-se de noi.

În momentul cînd steaua se contractă, viteza radială este pozitivă și rămîne tot pozitivă pînă cînd steaua a încetat de a se mai contracta, ajunge la viteza zero cînd dimensiunile ei sînt minime — punctul A de pe figura 22.1. De aici mai departe urmează ca steaua să se dilate, să crească în dimensiuni și să aibă viteză radială negativă cu atît mai mare cu cît se apropie mai repede de observator. În modul acesta, curba vitezelor radiale trece de la A la B unde avem viteza cea



22.1 Comparație între curba de lumină și curba vitezelor radiale ale unei stele variabile

mai mare cu semn negativ dar unde steaua mai continuă să se dilate. De la B la C vitezele radiale rămîn tot negative dar mai mici în valoare absolută pînă cînd steaua ajunge la dimensiuni maxime, punctul C pe figura 22.1. În punctul C s-a terminat expansiunea și începe contracția, în punctul D avem viteza maximă de contracție iar în punctul A am regăsit steaua în starea ei cu dimensiuni minime, și așa mai departe.

O curbă a vitezelor radiale asemănătoare cu aceea din figura 22.1 se poate obține și atunci cînd steaua nu se contractă dar se deplasează în spațiu pe o orbită în jurul unui centru de greutate. Despre acest fel de curbe ale vitezelor radiale ne vom ocupa în capitolul următor.

După cum se poate vedea pe figura 22.1, strălucirea unei cefeide este maximă atunci cînd steaua se dilată mai rapid iar strălucirea minimă este atunci cînd steaua se contractă mai rapid. Prin urmare, curba vitezelor radiale se poate considera ca o imagine reflectată a curbei de lumină. Pentru explicarea acestei situații există o serie de considerații cu privire la teoria pulsațiilor, asupra cărora nu putem insista aici.

Cum au început să pulseze cefeidele? Cum sînt întreținute pulsațiile? Cum se vor opri pulsațiile? Acestea sînt iarăși o serie de întrebări care constituie preocupări de seamă pentru acest domeniu de cercetare astronomică.

În mod teoretic se arată că pentru stelele care pulsează se poate scrie o formulă matematică între durata perioadei de pulsație și densitatea medie a stelei considerate. Astfel

$$P = 0,12 \sqrt{\rho_0 / \rho} \text{ zile} \quad (22.1)$$

Această relație este stabilită și cu ajutorul datelor observaționale, ceea ce confirmă legătura dintre teorie și practică.

O relație importantă s-a obținut și între perioadă și luminozitate. Această relație a fost pusă în evidență, mai întii pe cale experimentală. Observînd galaxia neregulată numită Micul Nor al lui Magellan (stelele respective putînd fi considerate la aproximativ aceeași distanță) Miss Leavitt a constatat că există o corelație strînsă, de fapt o dependență funcțională, între durata perioadei și strălucirea observată. De aici rezultă că, dacă se constituie o astfel de relație pentru stelele la care se cunosc distanțele, se obține magnitudinea absolută  $M_v$  și se poate construi graficul  $M_v = f(P)$ . Apoi, determinînd valoarea lui  $P$  din observații, se poate interpola pe graficul disponibil, mărimea corespunzătoare  $M_v$ , iar prin utilizarea relației (21.3) se determină paralaxa și, prin aceasta, distanța stelei.

După cum am mai amintit, clasa de stele care pulsează este foarte vastă și ridică foarte multe probleme. De aceea, ea a fost împărțită în mai multe subclase, asupra acestora din urmă facem cîteva precizări în cele ce urmează.

— *Cefeidele clasice (C)* sînt stelele care au caracteristicile comune cu steaua  $\delta$  Cephei despre care am amintit mai sus. Acestea au perioadele cuprinse între 1,5 și 80 zile, iar amplitudinea curbelor de lumină se află între 0,1 și 2 magnitudini. Au spectrul vizibil între clasele F și K.

— *Cefeide de tip W Virginis (CW)* au perioadele cuprinse între 1 și 50 zile. Curbele de lumină se caracterizează printr-o strălucire aproape constantă la maximul acesteia, sau pe ramura descendentă la fracțiunea 0,4 din perioadă socotită de la momentul maximului. În cazul stelelor cu perioadele cuprinse între 1 și 10 zile, curbele de lumină nu se prea pot deosebi de curbele cefeidelor clasice. Spectrul lor se caracterizează prin prezența liniilor luminoase ale hidrogenului cînd strălucirea stelei crește spre maxim, dar chiar la maxim, intensitatea liniei de emisie apare deja slăbită.

— *Stelele de tip RR Lyrae (RR<sub>a</sub>, RR<sub>b</sub> și RR<sub>c</sub>)* au amplitudinile de variație a strălucirii cuprinse între 0,5 și 1,5 magnitudini. După aspectul curbelor de lumină, în această categorie de stele putem distinge trei subgrupe.

a) Stele de tip RR<sub>a</sub> Lyrae care au curbele de lumină asimetrice, cum este însuși prototipul acestora, steaua RR Lyrae, perioadele fiind grupate în jurul valorii medii 0,5 zile.

b) Stelele de tip RR<sub>b</sub> Lyrae sînt asemănătoare cu tipul RR<sub>a</sub>, deosebirile mici care există se referă la durata perioadei și mărimea amplitudinii.

c) Stelele de tip RR<sub>c</sub> Lyrae au curbele de lumină aproape simetrice, steaua tipică fiind SX Ursae Majoris. Au perioadele foarte apropiate de valoare medie 0,3 zile. Curbele de lumină se aseamănă cu o sinusoidă.

Stele RR Lyrae în general sînt stele gigante cu perioadele cuprinse între 0,05 și 1,2 zile. În unele cazuri perioadele acestora sînt variabile și se poate constata și o variație a formei curbelor de lumină. În legătură cu acestea se studiază efectul Blajko care constă tocmai în corelația dintre aceste variații.

— *Stelele de tip Mira Ceti (M)* sînt în general lung periodice, avînd perioadele cuprinse între 80 și 1.000 zile. Singura deosebire între acestea și stelele denumite lung periodice este amplitudinea curbelor de lumină. La stelele de tip Mira Ceti, amplitudinile sînt cuprinse în jurul valorii 2,5 magnitudini în timp ce stelele numite lung periodice au amplitudinile mai mici de 2,5 magnitudini.

Perioadele stelelor de tipul Mira Ceti sînt în general variabile, spectrele sînt caracterizate prin benzile corespunzătoare la TiO în infraroșu. Liniile de emisie aparțin elementelor: H, K și calciul ionizat. Tipurile spectrale sînt M și N.

— *Stelele de tip RV Tauri (RV)* au perioadele cuprinse între 30 și 150 zile iar amplitudinile între 0,5 și 3 magnitudini. Spectral se încadrează între clasele G și M. Curbele de lumină se caracterizează prin mari neregularități în formă și în durata perioadei. Neregularitățile amintite apar ca fenomene secundare ce se suprapun peste cele principale, de aceea ele constituie numai un fenomen trecător. Perioadele sînt definite ca intervale de timp între două maxime succesive.

În timpul creșterii strălucirii apar liniile intense ale hidrogenului iar în timpul descreșterii strălucirii se formează liniile de absorbție ale hidrogenului care dispar numai cu puțin timp înainte de minim.

— *Stelele de tipul  $\beta$  Canis Majoris (C) sau stele  $\beta$  Cephei* sînt o grupă mică de stele, pînă acum se cunosc vreo 18 stele și încă 8 sînt bănuite să aparțină la această clasă. Au perioadele cuprinse între 0,1 și 0,3 zile iar amplitudinile curbelor de lumină sînt de aproxima-

tiv 0,1 magnitudini. Tipul spectral este gB2, prefixul g indicînd faptul că sînt stele gigante.

Stelele din această categorie au variații mari și rapide în curbele vitezelor radiale ceea ce le aseamănă cu stelele RR Lyrae sau cu cefeidele. Se poate observa o creștere rapidă a perioadelor.

Aproximativ jumătate din stelele acestei grupe au două perioade iar celelalte au numai o perioadă. Curba de lumină este aproape sinusoidală. Au culori variabile, aproape toate sînt mai albastre la maxim decît la minim.

Steaua EN Lacertae este de tipul  $\beta$  Cephei dar spectroscopic s-a constatat că aceasta este alcătuită din două componente. Astfel de stele sînt foarte importante pentru studii de evoluție stelară.

— *Stelele  $\delta$  Scuti (Sc)* au perioadele de circa 0,6 zile iar amplitudinile variației în curbele de lumină sînt de aproximativ 0,2 magnitudini. Tipul spectral este dF unde prefixul *d* înseamnă că este vorba de o stea pitică. În diagrama H—R aceste stele se găsesc departe de secvența principală. Curbele de lumină se aseamănă mult cu cele corespunzătoare clasei RR<sub>c</sub> Lyrae.

Cele mai regulate curbe de lumină se pot interpreta ca un rezultat al interacțiunii dintre prima armonică și perioada fundamentală, denumirile respective fiind luate din teoria pulsației.

— *Stelele variabile semiregulate (SR)* se caracterizează prin aceea că variația de strălucire este în mare măsură periodică dar, din timp în timp, această periodicitate este perturbată de diferite neregularități. Formele curbelor de lumină sînt foarte diferite iar amplitudinile nu sînt mai mari de 1—2 magnitudini. Uneori pot apare chiar periodicități ale neregularităților curbei de lumină. Perioadele sînt cuprinse între 30 și 1.000 zile. Aceste stele aparțin clasei spectrale M.

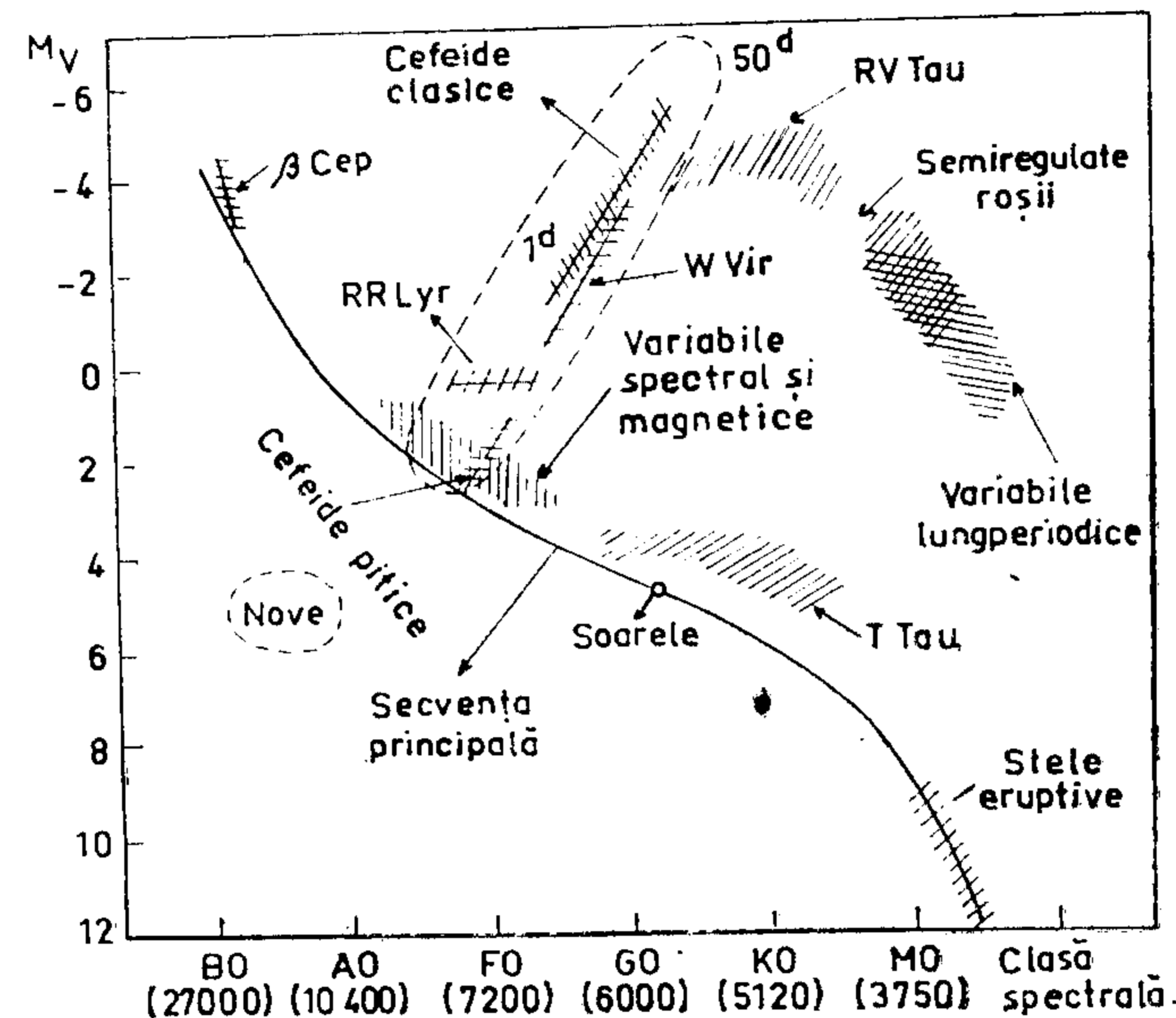
— *Stelele variabile neregulate (I)* au adesea foarte mari amplitudini în curbele de lumină dar aspectul acestora este neregulat. Perioadele, cînd se pot evalua, se află între 50 și 300 zile.

Pe figura 22.2 sînt indicate pozițiile unor stele variabile pe diagrama H—R.

## 2. Stele cu explozii

### a) Stele Nove

Avînd în vedere definiția dată pentru o stea variabilă, stelele nove pot fi incluse în această categorie de stele deoarece aici se pot observa mari variații de strălucire. Un astfel de fenomen a fost observat în anul 1054 în constelația Taurus cînd un obiect, pe neașteptate



22.2 Poziția stelelor variabile pe diagrama H—R

a devenit mai strălucitor decât Venus. Cu timpul însă strălucirea stelei „musafir” a scăzut și a devenit inobservabilă.

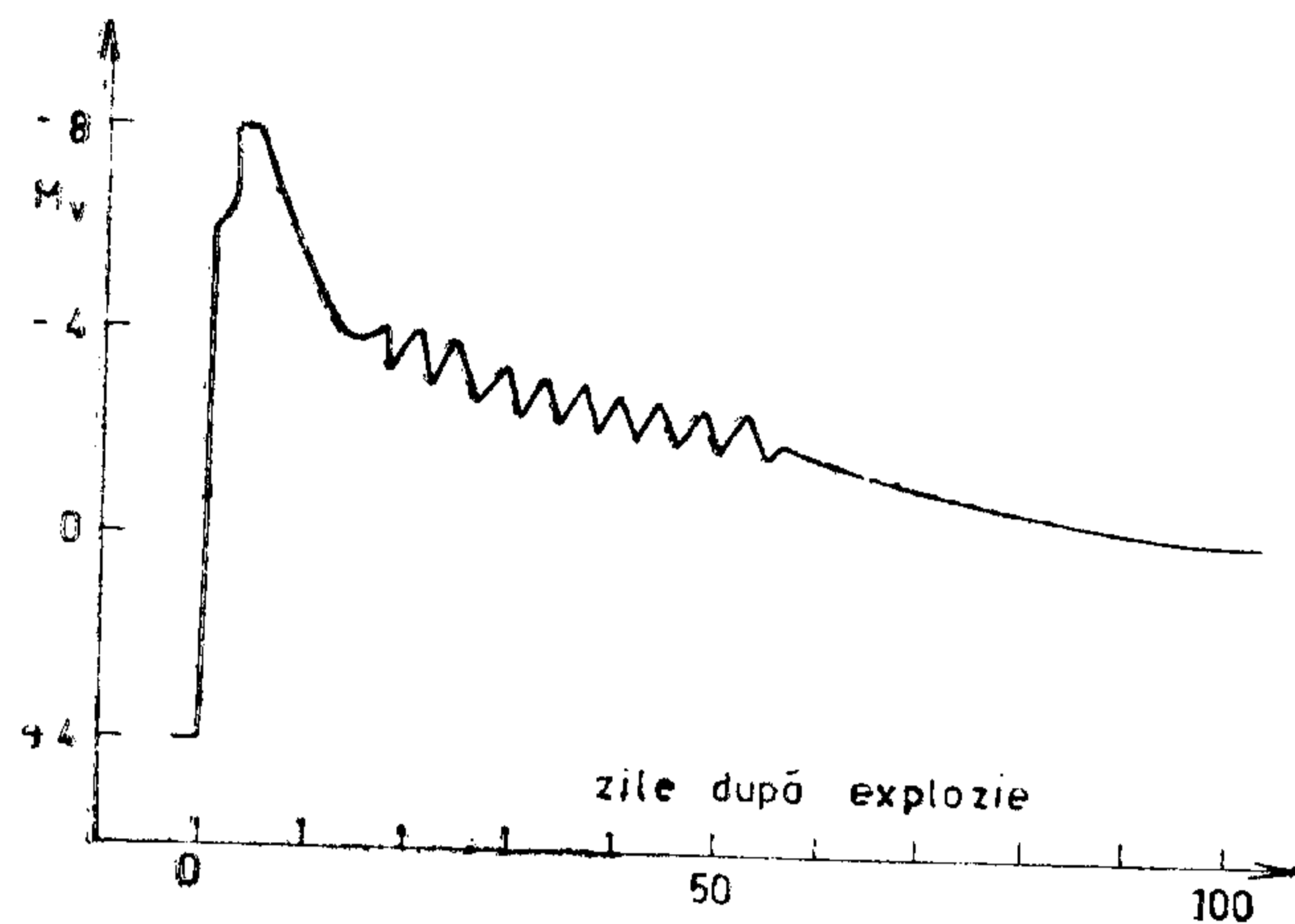
În anul 1572, Tycho Brahe a observat o stea în Cassiopeia care, de asemenea, pe neașteptate, a devenit atât de luminoasă încît putea fi văzută în timpul zilei, dar care mai tîrziu, cam după un an, a slăbit atât de mult încît nu se mai vedea.

Stelele de acest fel se numesc stele „Nove” care, în limba latină, înseamnă stele noi, deși este cunoscut că acestea sînt explozii ale unor stele care au existat și mai înainte dar care nu erau ușor de observat din cauza strălucirii lor slabe pe care o aveau inițial.

Denumirea unei stele nove se face fie după constelația unde a apărut și anul exploziei de exemplu Nova din Perseu 1901 sau cu notația utilizată pentru stelele variabile, GK Persei.

Curba de lumină a uneia dintre stelele nove se caracterizează printr-o creștere foarte rapidă, avînd o scurtă stagnare la circa 1—2 magnitudini înainte de maxim.

După maxim, urmează descreșterea strălucirii care, la început, este mai rapidă iar pe urmă devine din ce în ce mai lentă iar la 3—4 magnitudini mai jos de maxim, strălucirea descrește încet și are o



22.3 Aspectul curbei de lumină la o novă tipică

serie de fluctuații pe un anumit interval de timp. În figura 22.3 este reprezentată schematic curba de lumină a uneia dintre stelele nove, creșterea strălucirii are loc cu circa 12–13 magnitudini în raport cu starea stelei dinaintea exploziei.

În puținele cazuri în care s-au putut efectua observații spectroscopice, s-a constatat că novele prezintă un spectru de absorbție corespunzător clasei A cu linii întunecate și deplasate spre ultraviolet. Interpretarea doppleriană a deplasării liniilor obscure arată o viteză radială de apropiere de mii de kilometri pe secundă.

Caracteristicile observate în curba de lumină și în curba vitezelor radiale explică fenomenul de novă printr-o explozie stelară, deși încă nu este cunoscută destul de bine cauza exploziei. Aceasta poate dura aproximativ 100–250 zile.

În mod obișnuit, o stea pre-novă sau post-novă, este o stea variabilă care se găsește situată pe diagrama H–R la stînga și sub secvența principală.

Masele stelelor nove sînt necunoscute, evaluări grosolane indică mase de ordinul unei mase solare, iar din tipul spectral se evaluează temperaturile de ordinul a  $50.000^{\circ}\text{K}$ . De aici și din luminozitatea observată se deduce raza acestora de circa 0,1 raze solare.

În timpul exploziilor, stelele nove aruncă o cantitate de masă care este aproximativ egală cu  $10^{-3}$  ori masa stelei. În timpul fazei de novă, aceste stele sînt situate pe diagrama H–R mai sus de stelele cele mai luminoase de la începutul secvenței principale.

Există o serie de stele nove la care strălucirea crește numai cu

aproximativ 8 magnitudini față de cele 12 magnitudini observate la novele amintite mai sus. Aceste stele au explozii mai mici dar care se repetă după cîteva decade, în medie ele au un ciclu de aproximativ 30 de ani. Acest tip de stele se numesc *nove cu repetiție* și au ca reprezentant pe T Coronae Borealis.

Există o serie de stele asemănătoare cu novele dar la care strălucirea crește numai cu 3–4 magnitudini și apoi scade repede la un minim constant pînă la următoarea erupție care se produce la cîteva săptămîni față de precedentă. Aceste stele se numesc stele de tip U Geminorum.

## b) Supernove

Printre cele mai violente explozii cunoscute în natură sînt acelea ale stelelor supernove. Acestea sînt de aproximativ cîteva mii de ori mai strălucitoare decît o novă obișnuită sau de circa 100 miliarde de ori mai luminoase decît Soarele. Creșterea strălucirii în curba de lumină are loc foarte rapid iar descreșterea este mult mai lentă.

Pînă acum se cunosc numai trei supernove în Galaxia noastră observate în timpurile istorice: Supernova din 1054, Nova lui Tycho Brahe din 1572 și Nova lui Kepler din 1604. Celelalte peste 200 supernove cunoscute aparțin altor galaxii.

Gazele ejectate de Nova anului 1054 au constituit cunoscuta Nebuloasă Crab care prezintă foarte mare importanță pentru cercetările de astrofizică. Aceasta este una dintre cele mai puternice surse de radiație radio și este prima sursă de acest fel care a fost identificată pe cer cu un obiect optic. Această radiație provine de la electronii care circulă cu viteze mari în cîmpul magnetic, adică este o *radiație sincrotron*.

În afară de nove și supernove, mai există o serie de stele variabile care sînt înconjurate cu învelișuri gazoase. Printre acestea sînt stelele de tipul P Cygni în care liniile hidrogenului din seria Balmer apar ca linii de emisie, liniile de absorbție găsindu-se în partea violetă a spectrului. Liniile observate aici sînt asemănătoare cu acele ale novelor după maximumul de strălucire și sînt cauzate de deplasarea unui strat în expansiune.

Spre deosebire de nove, stelele P Cygni ejectează gaz în mod continuu într-o perioadă mare de timp, dar cu viteze mai moderate.

Tot aici am mai putea aminti stelele din clasa spectrală W, adică stelele de tip Wolf-Rayet care au temperaturile între  $50.000$  și  $100.000^{\circ}\text{K}$ . Liniile spectrale de emisie și cele de absorbție pun în evidență efectul pe care îl are un nor gazos care este în expansiune și care înconjoară stelele respective.

### 3. Stele variabile în contracție gravitațională

Un grup de 11 stele cu linii de emisie și asociate cu o nebuloasă, au fost numite stele de tip T Tauri. În 1945 erau cunoscute 11 stele iar în prezent (1974) numărul acestora este de aproape 200. Interesul deosebit pe care-l prezintă aceste stele este că ele sînt în curs de contracție gravitațională din materialul difuz din care s-au format. Sînt stele foarte tinere în curs de formare. Aparțin claselor spectrale cuprinse între F și K sau chiar M și au linii de emisie ale hidrogenului ( $H_\alpha$ ) și ale calciului ionizat. Strălucirea lor variază în mod neregulat și neprevizibil, cu fluctuații de 2—3 magnitudini.

Stelele de tip T Tauri sînt mult mai luminoase decît stelele secvenței principale de același tip spectral.

Se pare că stelele de tip T Tauri sînt încă gravitațional legate de nebuloasa din care s-au format. Steaua FU Orionis este un exemplu de legătură dintre o stea și mediul interstelar. În 1936 magnitudinea acestei stele a trecut de la 16,0 la 10,1 iar în 1937, strălucirea stelei a fost de magnitudinea 9,7.

De asemenea, obiectele Herbig-Haro care se aseamănă cu stelele de tip T Tauri, sînt considerate de natură semi-stelară. Din caracteristicile acestora, se trage concluzia că stelele de tip T Tauri și-au început istoria lor ca fiind obiecte Herbig-Haro.

### 4. Stele cu erupții

În anul 1948, Luyten a descoperit variabilitatea stelei UV Ceti. Apoi au fost descoperite alte stele asemănătoare, astfel că în 1959 s-a stabilit ca acestea să formeze o nouă clasă de stele variabile. Variabilitatea acestor stele este cauzată de unele creșteri extrem de rapide ale strălucirii (minute sau chiar secunde). Din această cauză, ele au fost numite *stele cu erupții* sau stele de tip UV Ceti. Erupțiile sînt întîmplătoare iar amplitudinile pot să varieze considerabil.

Din observarea comportării liniilor spectrale, s-a ajuns la concluzia că erupțiile acestei categorii de stele sînt determinate de activitatea cîmpului magnetic și de anumite fenomene magneto-hidrodinamice.

*Observație.* Avînd în vedere scopul urmărit aici, noi am prezentat numai cele mai importante stele variabile intrinseci. În studii mai detaliate se pot întîlni mai multe tipuri de stele variabile cu diferite caracteristici care nu au fost amintite mai sus.

## CAPITOLUL XXIII

### STELE DUBLE ȘI MULTIPLE SISTEME PLANETARE ÎN UNIVERS

În primul capitol am prezentat aspectul bolții cerești și am arătat că există stele care se văd situate foarte apropiate una de alta avînd aspectul unei stele duble. Am amintit atunci că unele dintre acestea sînt *duble optic* din cauză că direcțiile de la observator spre ele sînt foarte apropiate, formează un unghi foarte mic. Tot atunci am subliniat faptul că există și stele *duble fizic* unde distanța reală dintre componente este atît de mică încît una se găsește în cîmpul gravitațional al celeilalte.

Importanța stelelor duble este cu atît mai mare cu cît odată cu perfecționarea tehnicii de observație, numărul acestora crește mereu, scăzînd numărul stelelor care mai pot fi considerate ca obiecte singurătate.

Avînd în vedere rolul mare pe care îl au stelele duble și multiple în cercetările astronomice și în cunoașterea Universului, vom prezenta aici cîteva dintre cele mai importante caracteristici ale lor.

După natura observațiilor, prin care se pot pune în evidență stelele duble și multiple, vom distinge următoarele categorii: *stele duble vizuale*, *stele duble spectroscopice* și *stele duble fotometrice*.

#### 1. Stele duble vizuale

Cînd, cu ajutorul unei lunete sau al unui telescop, cele două componente ale unei stele duble se pot vedea separate, spunem că avem de a face cu o *stea dublă vizuală*. Natura duplicității reale, adică natura stelei duble fizice (numai despre acestea vom vorbi aici), este confirmată abia atunci cînd se poate pune în evidență mișcarea unei componente în jurul celeilalte, sau mișcarea ambelor componente în jurul centrului comun de greutate.

Din mai multe observații care constau în determinarea pozițiilor celor două stele componente, se poate determina orbita relativă a unei componente în jurul celeilalte. De aici rezultă concluzia că cele două stele componente, sînt relativ îndepărtate în spațiu, una de