

Cirkumstellära fenomen runt nyfödda stjärnor.

Examensarbete av Sten Andersson, Kungliga Tekniska Högskolan.
Utfört vid Stockholms Observatorium, Saltsjöbaden.

Innehåll:

- I - Vetenskaplig redogörelse
- II - Specwork
- III - Appendix

I - Vetenskaplig redogörelse

1. Introduktion

T-Tauri stjärnor är unga stjärnor vars spektra karaktäriseras av starka emissionslinjer. Linjerna tros uppkomma under infall (ackretion) av gas som ligger runt stjärnan i en disk. Denna disk roterar differentiellt pga. gravitationen (hastigheten avtar med avståndet). Den differentiella hastigheten skapar friktion, vilket leder till att gasen faller inåt stjärnan. Disken når ej ända in till ytan då stjärnans magnetfält fångar upp gasen på ett avstånd från stjärnan som bestäms av magnetfältstyrkan (några stjärnradier). Gasen faller i en båge ner mot de magnetiska polerna, detta sker under acceleration, och frigjord potentiell energi leder till utsändning av elektromagnetisk strålning. Nedfallsområdet kallas ibland heta fläckar eller ringar. Detta område följer med stjärnans rotation runt sin egen axel, och är därför periodiskt vänd mot jorden, om den magnetiska axeln bildar vinkel med rotationsaxeln. Luminositeten ökar vid dessa tidpunkter, vilket är mätbart genom fotometri. (Observation av spektra samt simultan fotometri utföres.) Spektrallinjerna breddas av dopplereffekten (olika områden på stjärnan har olika hastighet relativt jorden). På så vis kan man se olika områden trots ljusets punktkaraktär.

2. Observationer

Under 1994 observerades stjärnan BP-Tauri från NOT (Nordic Optical Telescope), se Tabell 1. Balmerserien $H\alpha$ (6562.8Å), $H\beta$ (4861.3Å), $H\gamma$ (4340.5Å), $H\delta$ (4101.7Å), $H\epsilon$ (3970.1Å) samt linjerna HeI (5875.8Å), $CaII$ (8542.1Å) och $CaII$ (8662.1Å) valdes ut för detaljerade studier. Inom området för HeI i spektrum finns även dubbellinjen $NaID$ (~5895Å).

För att få hög upplösning användes en instrumenttyp som kallas echellespektrometer.

Tabell 1:

Datum	Antal spektra
November 12-13	7
November 19-20	24
November 22-23	2
December 19-20	19

BP-Tauri har spektraltyp K5 och ligger på ett avstånd av 500 ljusår. Dess hastighet relativt solen är +15.8 km/s (avlägsnar sig).

3. Reducering av spektra

Alla spektra fanns ursprungligen i FITS-format (7 linjer * 42 spektra / linje = 294 filer).

Spektra behandlas med ett program som heter MIDAS.

Det blev nödvändigt att programmera vissa rutiner, se appendix.

Behandlingen omfattar följande moment:

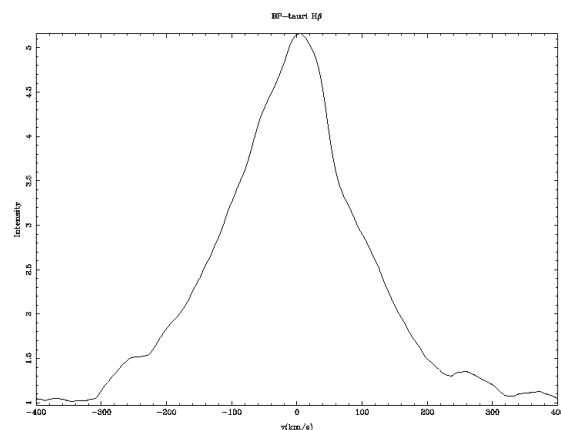
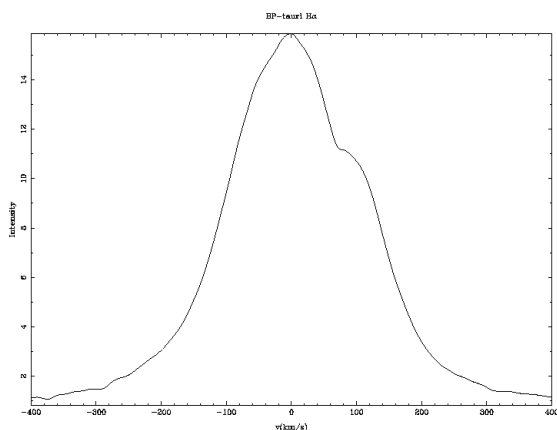
- 1 - Omvandling från FITS-format till MIDAS eget BDF-format.
- 2 - Spektrum måste rensas från spikes. Dessa uppkommer av högenergetiska partiklar.
- 3 - Ta medelvärde av flera punkter i spektra för att göra det mindre brusigt. Ingen viktig information går förlorad då upplösningen med echellespektrometern är långt högre än vad som krävs av den kommande analysen.
- 4 - Våglängdskalibrering.
- 5 - Omvandling från våglängdskala till radialhastighetsskala.
- 6 - Korrigera hastighetsskalan med stjärnans hastighet relativt jorden.
- 7 - Normalisera spektra till brusnivå 1.
- 8 - Rebinna: Omvandla till jämna steg i hastighetsskala, tex. 100,102,104...
- 9 - Föra över spektrum till ascii-filer (lika många i antal som FITS-filerna).

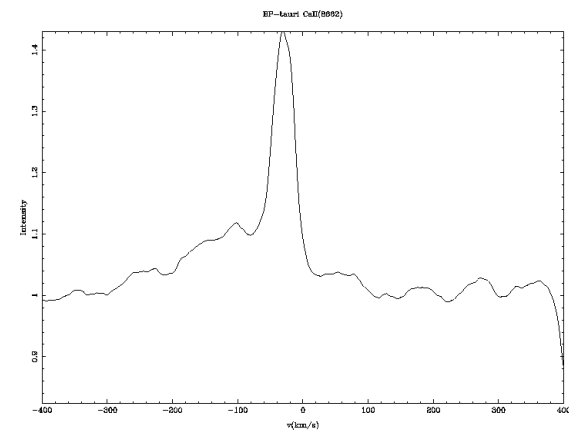
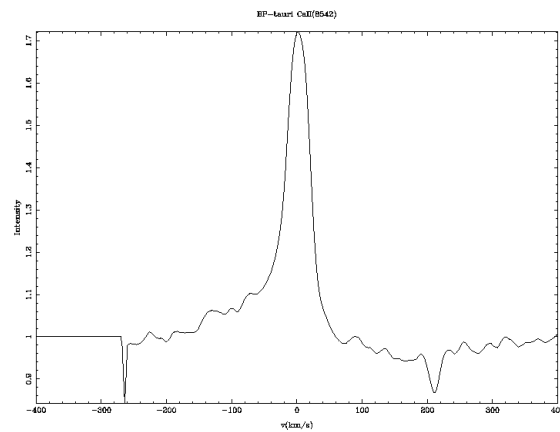
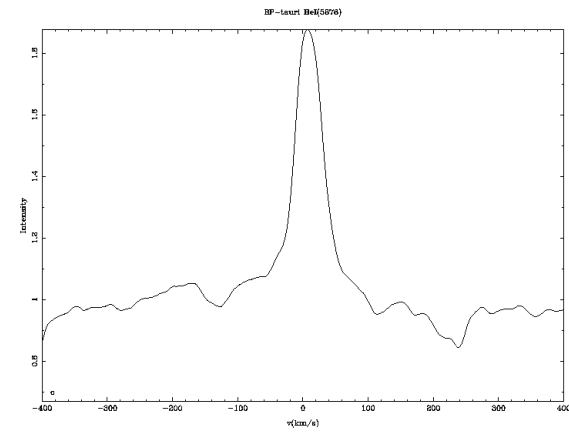
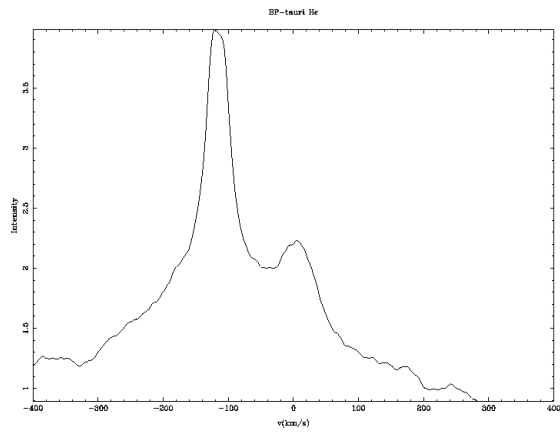
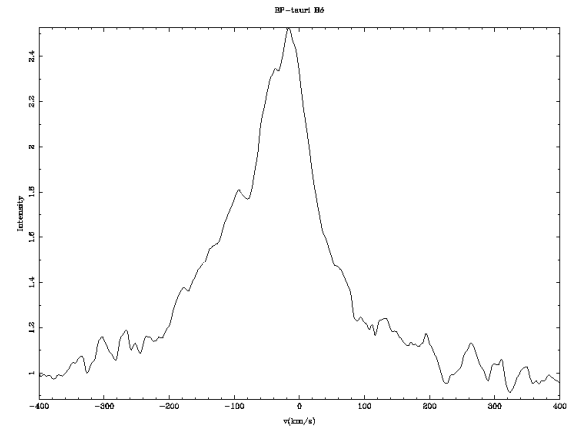
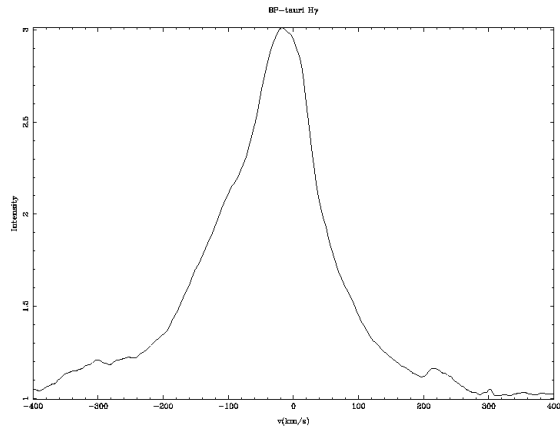
Signal/brusförhållandet var lågt för de flesta linjer, så analysen begränsades.

4. Resultat

För de följande grafiska presentationerna användes programmet specwork, se del II.

4.1 Linjeprofiler





Ovanstående grafer visar medelvärdet av alla spektra för de olika linjerna.
 H ϵ linjen påverkas av en CaII linje som är starkare än H ϵ självt.
 NaID linjen är «gropen» i HeI spektrat på $v \approx 250$ km/s.

Om en stjärna kunde betraktas som ett lysande homogent klot som roterade skulle linjeprofilen vara symmetrisk med avseende på radialhastighet $v=0$ km/s.

Många av profilerna ovan är också sådana, men inte $H\alpha$.

$H\alpha$ har en rödförskjuten «bubbla» från +100 km/s till +150 km/s.

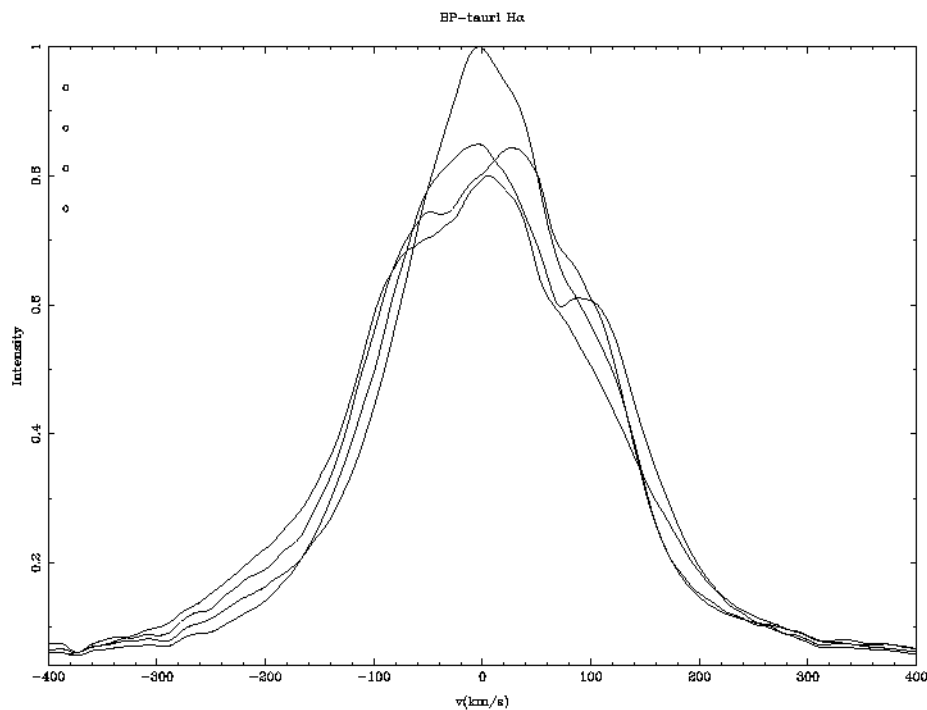
Nedan visas medelvärdet av $H\alpha$ för individuella nätter..

Varje spektrum har dividerats med ekvivalentbredden för att kunna följa ändringar i linjeprofil.

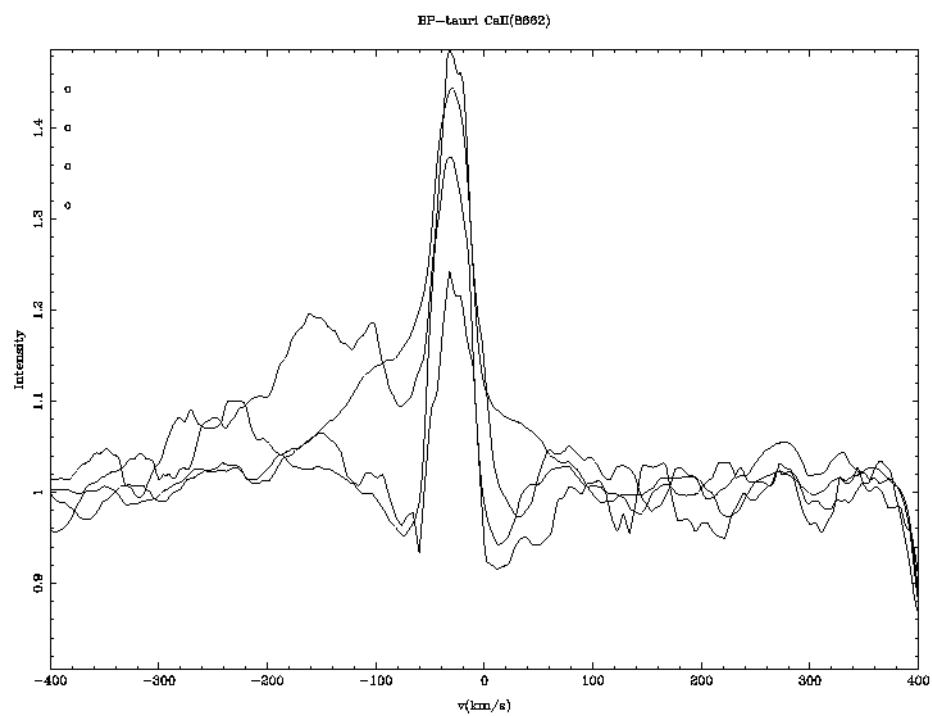
Observera: «Bubblan» är närvarande endast natt 2.

Det är känt sedan tidigare analyser att linjestrukturer återkommer periodiskt.

Genom fotometrin konstateras att luminositeten hos BP-Tauri ökar då «bubblan» framträder.



Liknande spektra för CaII(8662.1) visas nedan.
Natt 2 syns en överlagrad bred komponent.
Centralkomponenten anses vara av kromosfäriskt ursprung.



4.2 Tidsskalan för intensitetsförändringar

Tidsskalan för ändringar i intensiteten kan bestämmas genom en funktion $\Delta I(\Delta t, v)$ (Δt är tidsskillnaden mellan 2 spektra, v radialhastigheten).

Bland 42 spektra finns en stor mängd Δt .

För varje v och alla Δt summerar man ihop alla normaliserade intensitetsskillnader, dessa bildar ΔI .

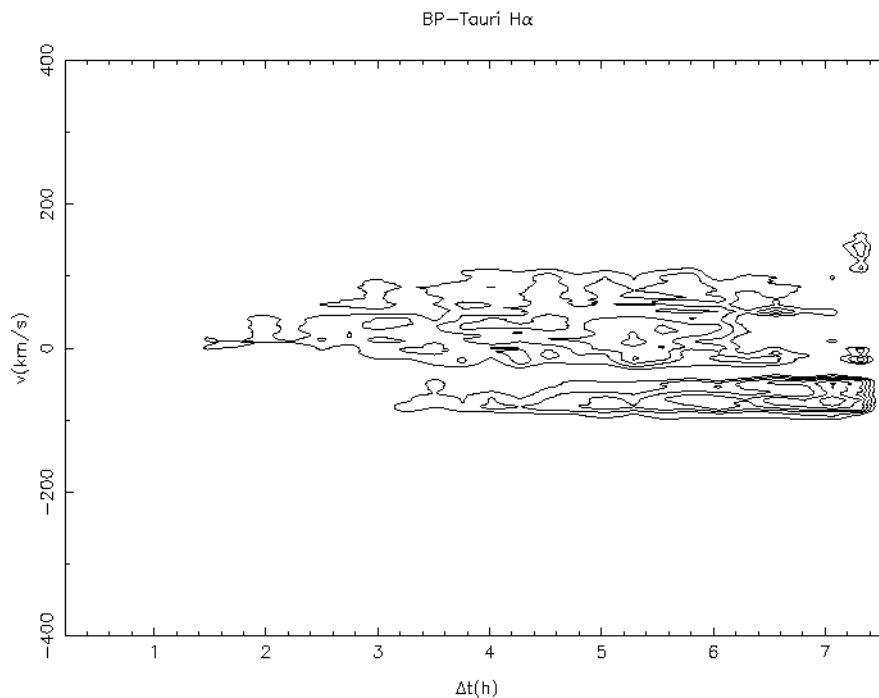
ΔI plottas i ett nivådiagram, se nedan (nivåerna är mellan 0.4 och 1).

Signal/brusförhållandet (S/N) tillåter endast tillförlitlig analys av $H\alpha$ och $H\beta$.

Nedan visas resultatet för $H\alpha$.

Observera: Variationer finns på en tidsskala $\Delta t \approx 3h$, vid låga positiva samt låga negativa radialhastigheter.

$H\beta$ ger liknade resultat.



4.4 Korrelationsanalys

I ett korrelationsdiagram studeras om intensitetsvariationer mellan 2 linjer sker simultant. Om så är fallet är det mycket sannolikt att emissionen vid de specifika linjehastigheterna har samma ursprung.

Korrelationskoefficienten $C(I_x(v_x), I_y(v_y))$ beräknas.

(I_x, I_y = linje på x respektive y-axeln, v_x, v_y = radialhastighet för respektive linje)

Nedan visas grafen för $H\alpha$ - $H\alpha$ (korrelationsnivåerna är mellan 0.6 och 1.0).

$H\alpha$ korrelerar med sig självt från -300 km/s till -50 km/s samt -50 km/s till +300 km/s.

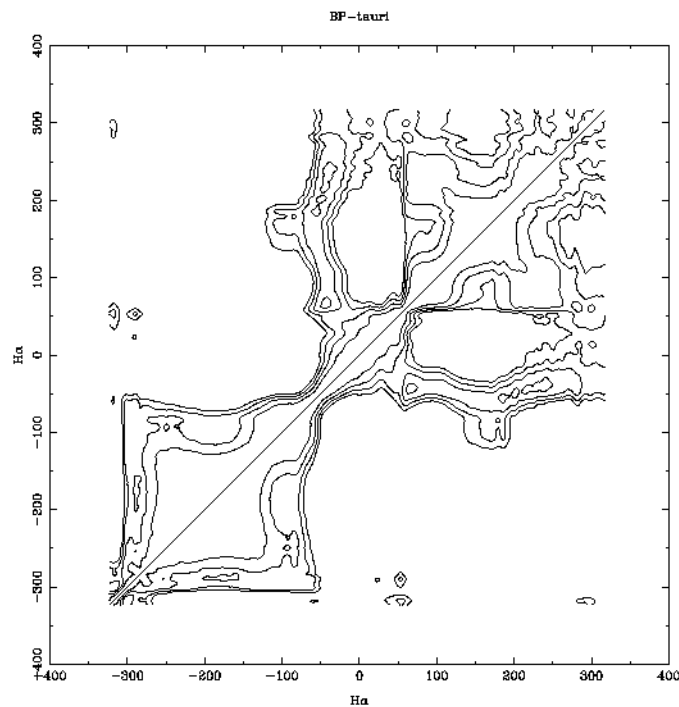
Slutsats: Alla rödförskjutna förändringar har samma ursprung, likaså alla blåförskjutna.

Speciellt intressant är korrelationen mellan $v \sim -50$ km/s och den röda vingen.

(Linjevinge = högra (röda) eller vänstra (blå) delen av centralkomponenten.)

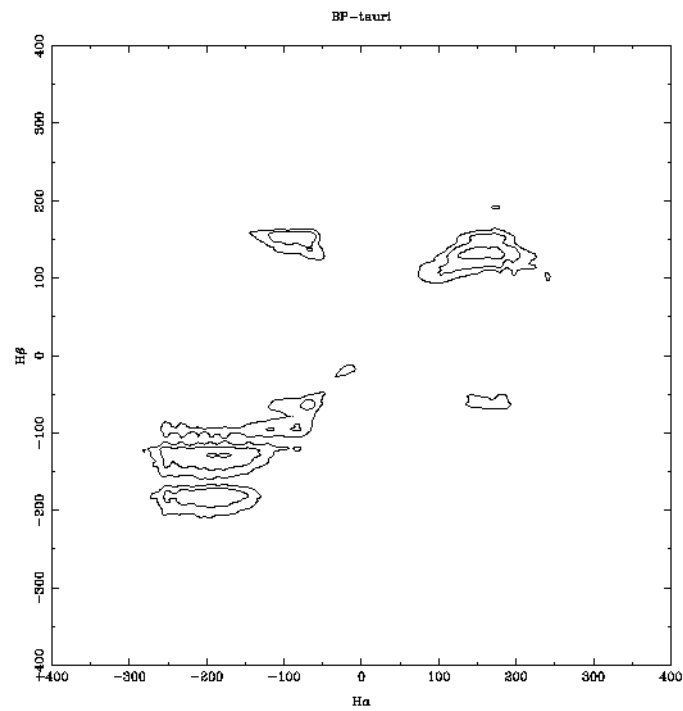
Detta kan lätt inses om emissionen kommer från en magnetosfär.

Däremot är detta svårt att förstå om emissionen kommer från en vind, vilket har antagits tidigare.



Ett korrelationsdiagram för $H\alpha$ - $H\beta$ visas nedan (nivåer som tidigare).
 $H\alpha$ korrelerar med $H\beta$ för lika hastigheter (därför en diagonalliknande struktur).
Korrelationen är starkast vid linjevingarna.

Slutsats: $H\beta$ utstrålningen har samma ursprung som $H\alpha$.



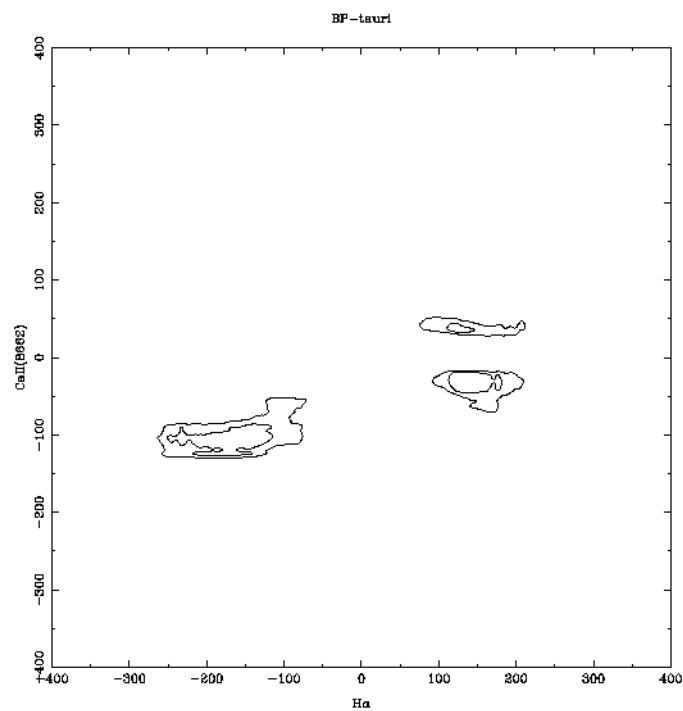
Slutligen ett korrelationsdiagram för $H\alpha$ -CaII(8662).

Den högra dubbelstrukturen är intressant:

$H\alpha$ från +100 km/s till +200 km/s korrelerar med CaII för låga rödförskjutna hastigheter samt ÄVEN för låga blåförskjutna hastigheter.

Ur grafen med de nattliga medelvärdena för CaII(8662) kan man nu sluta sig till att det är den överlagrade komponenten denna dubbelstruktur avser.

Slutsats: Den breda komponenten hos CaII(8662) har sitt ursprung i ackretionen.



5. Slutsatser

Detta kan tolkas enligt följande:

När infallsområdet är vänt mot jorden faller gas ned mot BP-Tauri.

Tidsskalan för detta nedfall beräknat ur diskavstånd, magnetfältstycka mm.
är av storleksordningen 2-3 h.

$H\alpha$ ökar i styrka under nedfallsfasen, rödförskjutet då nedfallet sker bort från observatören.
Detta ger den rödförskjutna bubblan.

När gasen slår ner utsänds $CaII(8662)$.

Denna linje behöver hög energi för att utsändas, därför kan emission uteslutas från disken
eller under begynnelsen av nedfallet (v ökar under nedfallsfasen).

Då $H\alpha$ - $CaII(8662)$ korrelerar och tidsskalan för $H\alpha$ -variationen är 3h
kan man konstatera att detta är starka indikationer på ackretion.

En detaljerad redogörelse för dessa fenomen och relaterade observationer finns publicerad
i avhandlingen «Accretion and time variability of T-Tauri stars»
av E. Gullbring, Stockholms Universitet 1996.

II - Specwork

Specwork - a brief guide

Specwork is a program (in fortran) for viewing/altering astronomical spectra in ascii format.

It requires (besides the program itself) 3 startup files:

specwork.dat (important data)

specwork.time (contains julian dates of the spectras)

specwork.tbl (table with the complete path and name of the spectra)

First, create a directory to keep them in.

specwork.dat

We will illustrate with an example (the lines $H\alpha$ and $H\beta$ of BP-Tauri).

The file should look like this:

title:

BP-Tauri

nline:

2

nspec:

42

wlname:

H-alfa

H-beta

wl:

6562.8

4861.3

pgname:

H\ga

H\gb

Explanation:

title : Name of the object.

nline : Number of lines ($H\alpha$, $H\beta$, etc.).

nspec : Number of spectra per line.

wlname : Name of the lines.

wl : The wavelength of the lines (in Å).

pgname : Name of the lines in PGPLOT.

specwork.tbl

According to specwork.dat it should have 84 rows (2×42) and could look like:
(depending on the path and/or filenames)

```
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Halpha/Halp0001.asc  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Halpha/Halp0002.asc  
...  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Halpha/Halp0041.asc  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Halpha/Halp0042.asc  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Hbeta/Hbet0001.asc  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Hbeta/Hbet0002.asc  
...  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Hbeta/Hbet0041.asc  
/jarlabanke_2/sten/BP-tauri/Hbeta/Hbet0042.asc
```

specwork.time

Contains 42 rows with the julian dates when the spectras were collected:

```
669.4067196  
669.4338616  
...  
705.640069  
705.6615382
```

Now, start specwork by typing «specwork» at the command line.

Main menu:

=====

Object: BP-Tauri

=====

Index - Time(h)

1 0.0	10 168.5	19 171.1	28 174.3	37 867.5
2 0.7	11 168.9	20 171.4	29 174.6	38 868.1
3 1.9	12 169.2	21 172.0	30 174.9	39 868.6
4 2.9	13 169.5	22 172.3	31 175.1	40 869.1
5 4.1	14 169.7	23 172.6	32 219.4	41 869.6
6 5.2	15 170.0	24 172.9	33 219.7	42 870.1
7 6.3	16 170.3	25 173.2	34 866.0	43 0.0
8 167.6	17 170.5	26 173.5	35 866.5	44 0.0
9 168.1	18 170.8	27 173.8	36 867.0	45 0.0

=====

Options:

1 - Continue

2 - Plot Package: Main

3 - Vel Limits: -400.000 400.000

4 - Display Mode: /XW

5 - Mapping: Line Contour

E - Exit

Explanation:

1 : Continue to plot menu, dependent upon option 2.

2 : Choose Main or Correlation Package.

3 : Set the borders for the radial velocity (km/s) in the graph window.

4 : Graphic output to the PGPLOT window in /XW mode and to the file pgplot.ps , in /PS mode.

5 : Options for leveldiagrams.

E : Exit program

Main plot menu:

=====

Options:

- 1 - Plot**
- 2 - Plot Function: Normal**
- 3 - Line: H-alfa**
- 4 - Included spectra: 0**
- 5 - Normalize: No**
- 6 - Subtract Spectra: No (0)**
- 7 - Bias: 0.**
- 8 - Velocity Shift: 0.**
- 9 - Intensity Shift: 0.**
- A - Cursor**
- B - Create ascii files**
- M - Up**

Explanation: (IS = included spectra, these are specified)

1 : Plot!

2 : Type of plot:

Normal = Plot IS.

Variance = If IS consists of mean value spectras, a variance diagram can be viewed.

Countour = View spectra in chronological order (leveldiagram).

Wtm = Wavelength - timematrix diagram (leveldiagram).

3 : Line (A star(*)) is displayed when no choice has been made).

4 : Specify spectra (mean and/or individual, =IS).

5 : Divide spectra with their equivalent width.

6 : Subtract one of the IS (will be excluded from plot) from all other IS.

7 : Display IS with a step i y-position between them.

8 : Displace IS in x-position (velocity).

9 : Displace IS in y-position (intensity).

A: Read positions from graph with cursor.

B : Write spectra to disk.

M : Back to main menu.

Correlation plot menu:

=====

Options:

1 - Plot

2 - x, y-line: H-alfa H-beta

3 - Correlation: Positive

4 - Cursor

M - Up

Explantion:

1 : Plot!

2 : Lines for x- and y-axis (2 stars (*)) are displayed when no choice has been made).

3 : Switch between Positive/Negative correlation.

4 : Read positions from graph with cursor.

M : Back to main menu.

III - Appendix