



# LUND UNIVERSITY

## Snabba atomer och lysande stjärnor

Litzén, Ulf; Forkman, Bengt; Holmin Verdozzi, Kristina

*Published in:*  
Fysik i Lund i tid och rum

2016

*Document Version:*  
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

*Citation for published version (APA):*  
Litzén, U., Forkman, B. (Red.), & Holmin Verdozzi, K. (Red.) (2016). Snabba atomer och lysande stjärnor. I *Fysik i Lund i tid och rum* Gidlunds förlag i samarbete med Fysiska institutionen, Lunds universitet.

*Total number of authors:*  
3

*Creative Commons License:*  
CC BY

### General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:  
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

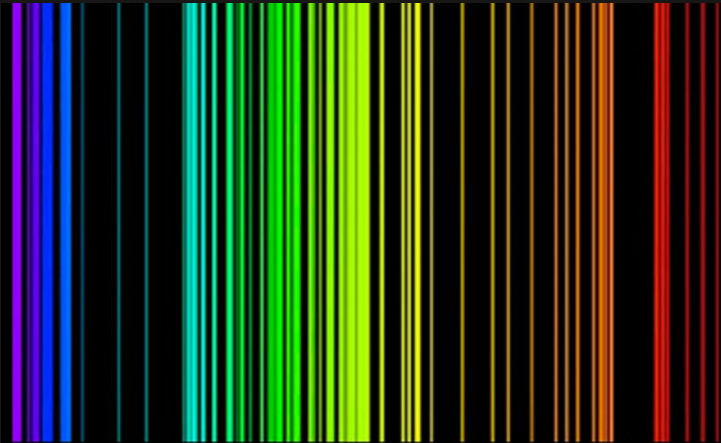
Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117  
221 00 Lund  
+46 46-222 00 00



## Snabba atomer och lysande stjärnor

Hur spektrallinjer berättar om  
exciterade atomers livstider och  
den kemiska sammansättningen  
hos stjärnor.

# Atomspektroskopi – en Lundatradition

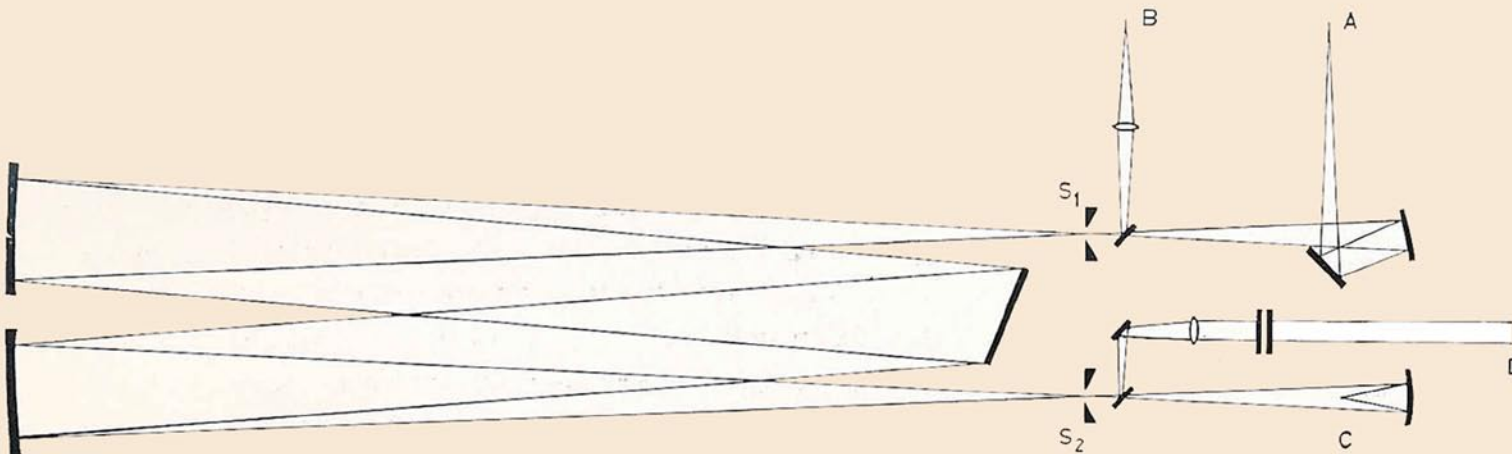
Undersökningar av atomernas spektra har en lång tradition i Lund. Rydbergs och Siegbahns arbeten grundlade kunskapen om atomernas struktur.

Siegbahns efterträdare Koch studerade hur elektriska fält påverkar spektrum och Edlén's analyser av spektra från komplexa atomer och högt laddade joner ökade kunskapen om atomstrukturen.

Vid LTH:s tillkomst byggde Minnhagen upp en forskningsavdelning som arbetade med atomspektroskopi.

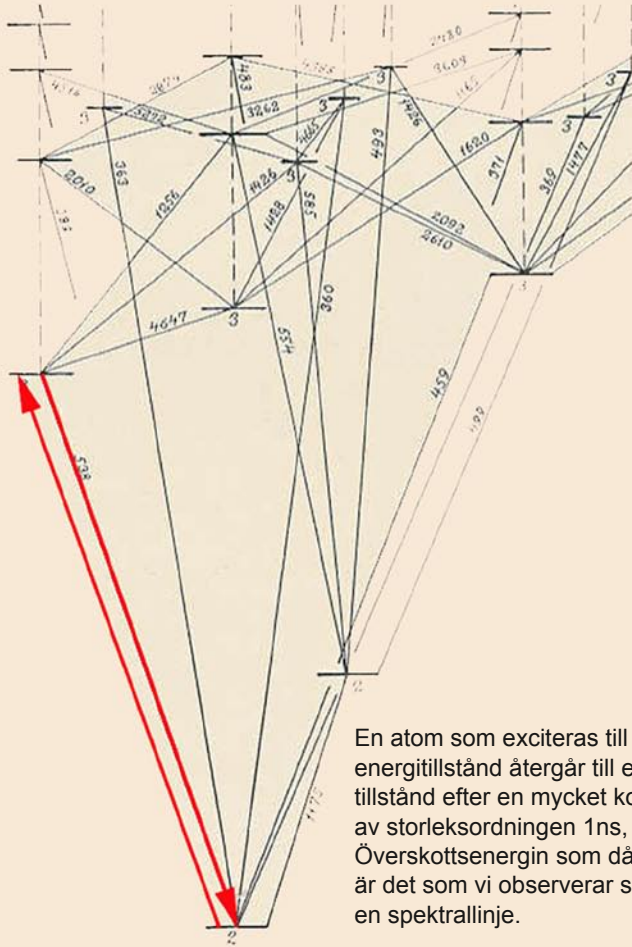


Röntgenspektrum, fotografisk upptagning av Siegbahn.



Spektrometer för infraröd strålning, konstruerad 1969 i Lund.

# Atomära livstider



Indrek Martinson 1937-2009

Bengt Edlén efterträddes 1975 av Indrek Martinson. Han utökade spektroskopiforskningen med mätning av atomära livstider. Indrek, som doktorerat i kärnfysik i Stockholm (med Manne Siegbahn som handledare), hade under ett år som post-doc i Tucson, Arizona lärt sig en ny mätmetod kallad beam-foil-spektroskopi.

## Beam-foil-spektroskopi

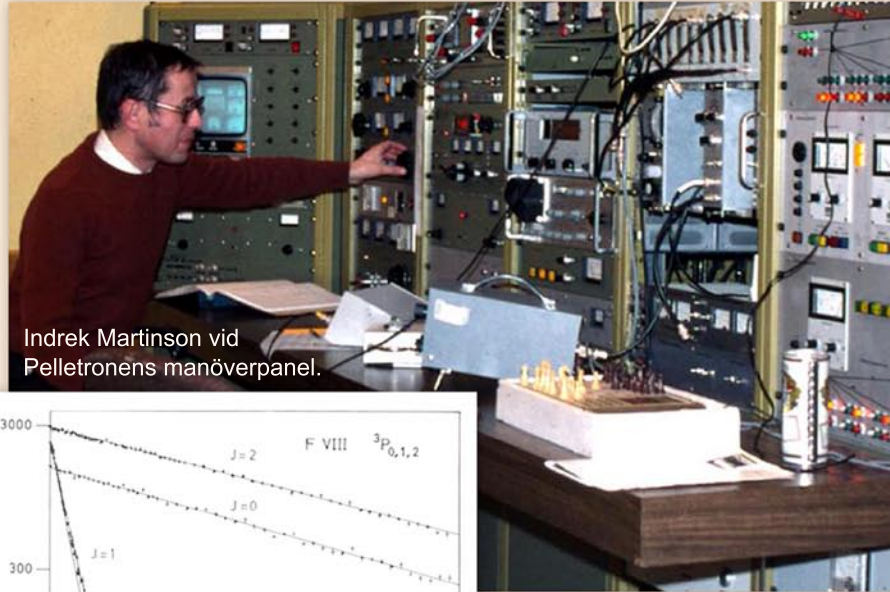
I beam-foil-metoden exciteras jonerna vid passage genom ett tunt kolfolie. Intensiteten hos de emitterade spektrallinjerna avklingar längs jonernas väg, och när man känner jonernas hastighet kan man bestämma det exciterade tillståndets livstid. I stället för att mäta en mycket kort tid mäter man alltså en sträcka på några cm, en mycket enklare mätning.

Utrustning för beam-foil-spektroskopi sattes upp vid Fysicums pelletron-accelerator där joner accelererades till hastigheter på 10 000 km/s.

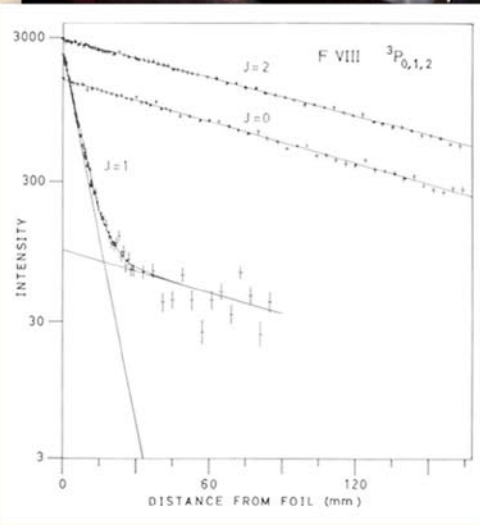
Carbon foil

En stråle av litiumjoner passerar genom ett tunt kolfolie och två olika sönderfall kan observeras, ett kortlivat (5 ns) i blått ljus, och ett mera långlivat (46 ns) i grönt.

# Livstidsmätningar



Indrek Martinson vid Pelletronens manöverpanel.

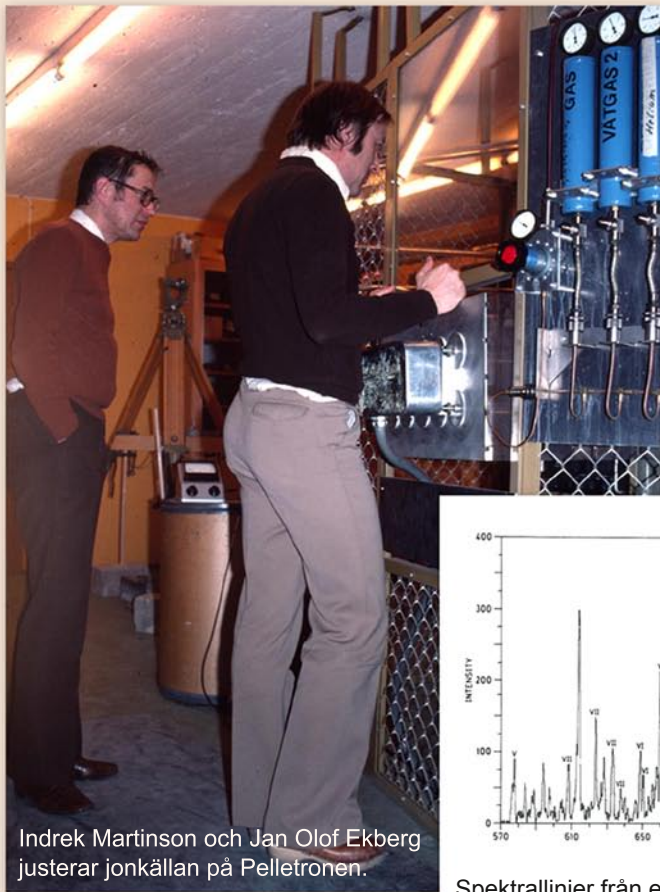


Figuren visar mätningar av tre tillstånd i jonen  $F^{+7}$ . Enligt elementär teori skulle de ha samma livstid. Experimentet visar att ett tillstånd,  $J=1$ , har en mycket kortare livstid än de två andra, som också de har lite olika livstider. Omfattande teoretiska beräkningar förklarar att skillnaderna beror på elektronens och kärnans rotation.

Mätningarna av atomära livstider vid Pelletronen kombinerades med teoretiska studier. Med hjälp av de noggranna mätningarna kunde man testa olika teoretiska modeller och beräkningsmetoder.

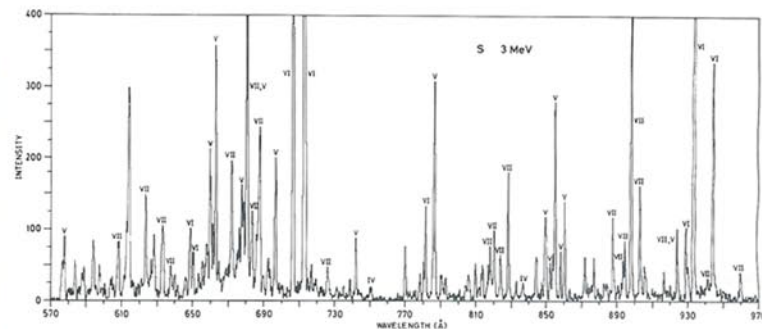


# Högt laddade joner



Indrek Martinson och Jan Olof Ekberg justerar jonkällan på Pelletronen.

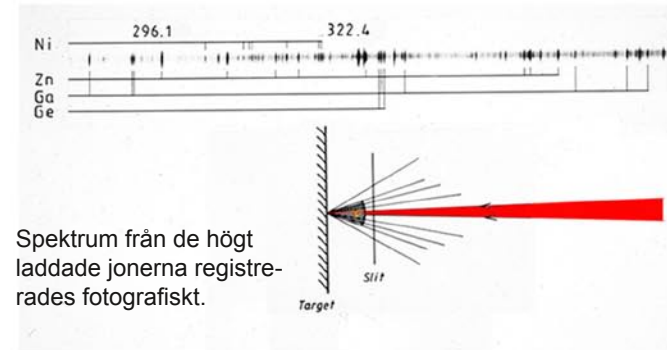
När jonerna passerar genom kolfoliet slits en eller flera elektroner bort, och jonernas laddning ökar. Beam-foil-metoden kunde därför användas också för att analysera strukturen hos högt laddade joner exempelvis, fluor och svavel.



Spektrallinjer från en stråle med svaveljoner,  $S^{3+}$ ,  $S^{4+}$ ,  $S^{5+}$ ,  $S^{6+}$ .

## Laserproducerade plasmor

Energistrukturen hos högt laddade joner studerades också med en högenergilaser som gav pulser med effekten 1 GW. Laserljuset fokuserades med en lins mot det ämne som skulle undersökas. Pulsenergin var så hög att materialet förångades till ett plasma, med temperaturen en miljon grader, där atomerna förlorade upp till 20 elektroner.



Lundaspektroskopisten Ulf Litzén vid högenergilasern.



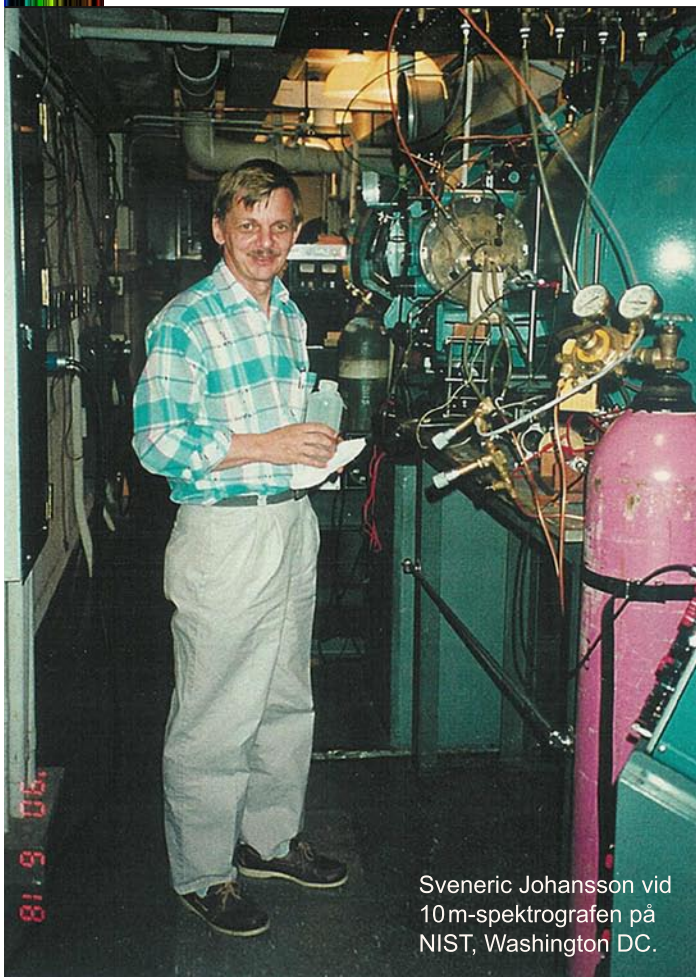
# Plasmadiagnostik

Spektroskopiavdelningen deltog i den internationella fusionsforskningen med doktorander och post-docs vid de stora internationella laboratorierna JET i England och Princeton i USA. Experimenten syftade till att utvinna energi vid kollisioner mellan deuterium- och tritiumatomer vid temperaturer på tiotals miljoner grader.

Spektroskopisterna i Lund mätte förekomsten av föroreningar genom att analysera spektrum från det heta plasmat. Sådana mätningar är viktiga, eftersom redan en mycket liten halt av tyngre atomer sänker temperaturen och stoppar fusionsreaktionen.



Joint European Torus, JET.



Sveneric Johansson vid  
10m-spektrografen på  
NIST, Washington DC.

1970 började Sveneric Johansson som forskarstuderande hos Bengt Edlén med uppgift att undersöka strukturen hos joniserat järn,  $\text{Fe}^+$ .

I spektra hos en del stjärntyper finns många spektrallinjer från järn. Svenerics nya mätningar visade att det finns ännu mer järn i dessa stjärnor än man tidigare trott.

Efter doktorsexamen byggde Sveneric upp en forskargrupp med en verksamhet som kallades laboratorieastrofysik, för undersökningar av atomer som är speciellt intressanta inom astronomi.

# Hubble Space Telescope

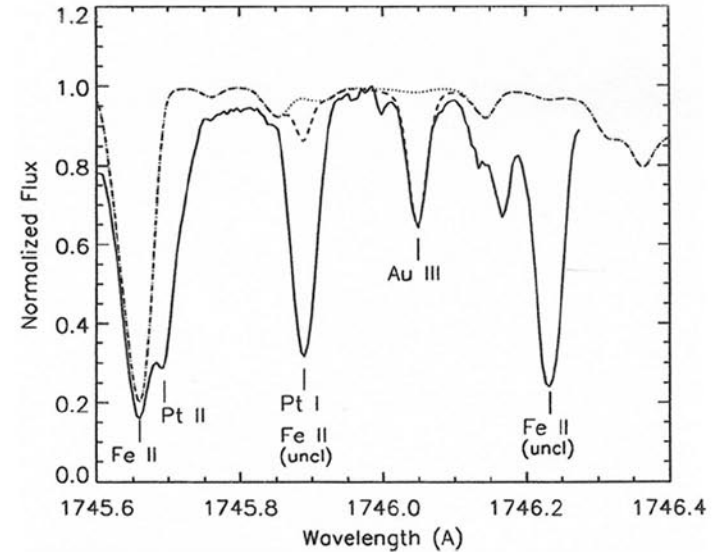
Sveneric Johansson tillbringade ett år som gästforskare och expert på atomspektroskopi vid NASA Space Flight Center. När rymdteleskopet Hubble 1990 sändes upp i sin bana, fick forskargruppen i Lund god tillgång till observationstid.

Eftersom teleskopet befann sig ovanför jordens atmosfär kunde man nu för första gången se detaljerade spektra av stjärnor i ultraviolett. Gruppen i Lund arbetade nu inte bara med laboratoriespektra, utan analyserade också stjärnspektra.



En stjärnas spektrum visar vilka grundämnen som finns i stjärnan. Om man känner atomära data tillräckligt bra från laboratorieexperiment kan man bestämma halten av grundämnena och många andra egenskaper hos stjärnan.

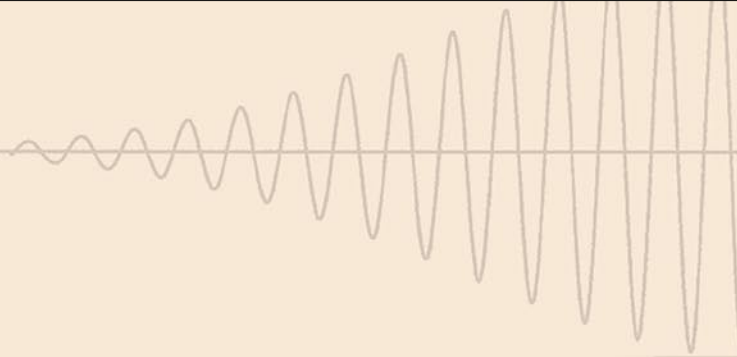




Detaljer i UV-spektrum hos Chi Lupi med spektrallinjer från Au, Pt och Fe.

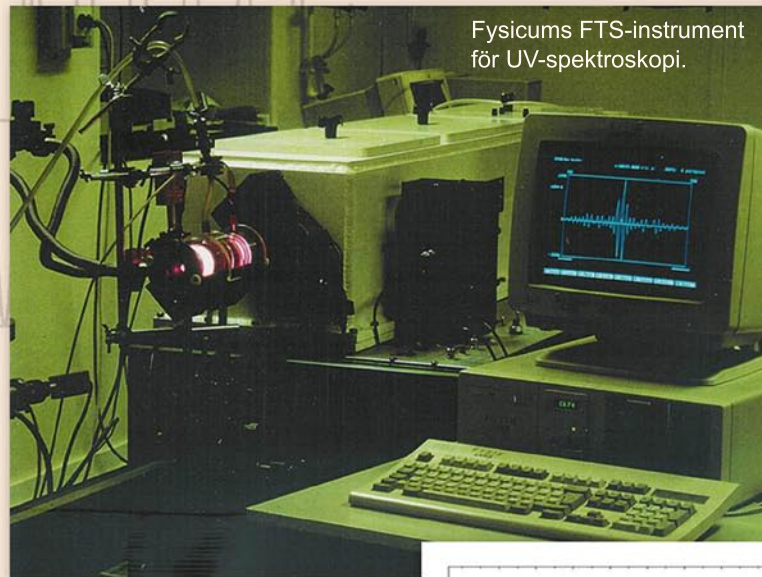
I Lund analyserades bland annat stjärnor med mycket höga halter av tunga grundämnen, t.ex. guld och platina. Man fann t.ex. att halten guld och platina i stjärnan Chi Lupi tycks vara 30 000 gånger högre än i vårt planetsystem. Den ovanliga sammansättningen kan bero på processer som ger en anrikning av tunga element i stjärnans yttersta delar. För första gången någonsin hittade man tallium, Tl, i en stjärna.

# Fouriertransformspektroskopi



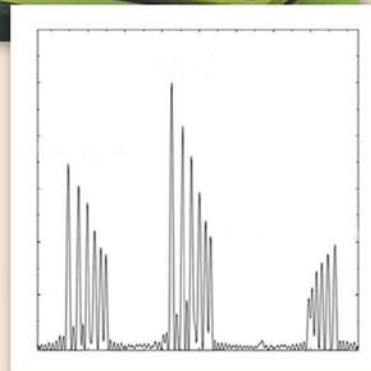
Noggranna våglängdsmätningar från laboratoriet behövs för identifiering av spektrallinjer i ett stjärnspektrum, där det finns mängder av linjer från olika ämnen. För att bestämma halten av ett grundämne i stjärnan måste man i laboratoriet även mäta linjernas intensitet.

En ny precisionsmetod för spektroskopiska mätningar är fouriertransformspektroskopi, FTS, där man använder en interferometer med mycket hög upplösning. Det interferogram man registrerar är fouriertransformen av spektret, som sedan beräknas i en dator.



Fysicums FTS-instrument för UV-spektroskopi.

FTS ger mycket hög upplösning, och man kan se struktur hos spektrallinjer som beror på atomkärnans rotation.



I bilden tre linjer hos Pr<sup>+</sup> (grundämnet Praseodym).



## Intensitetsmätningar

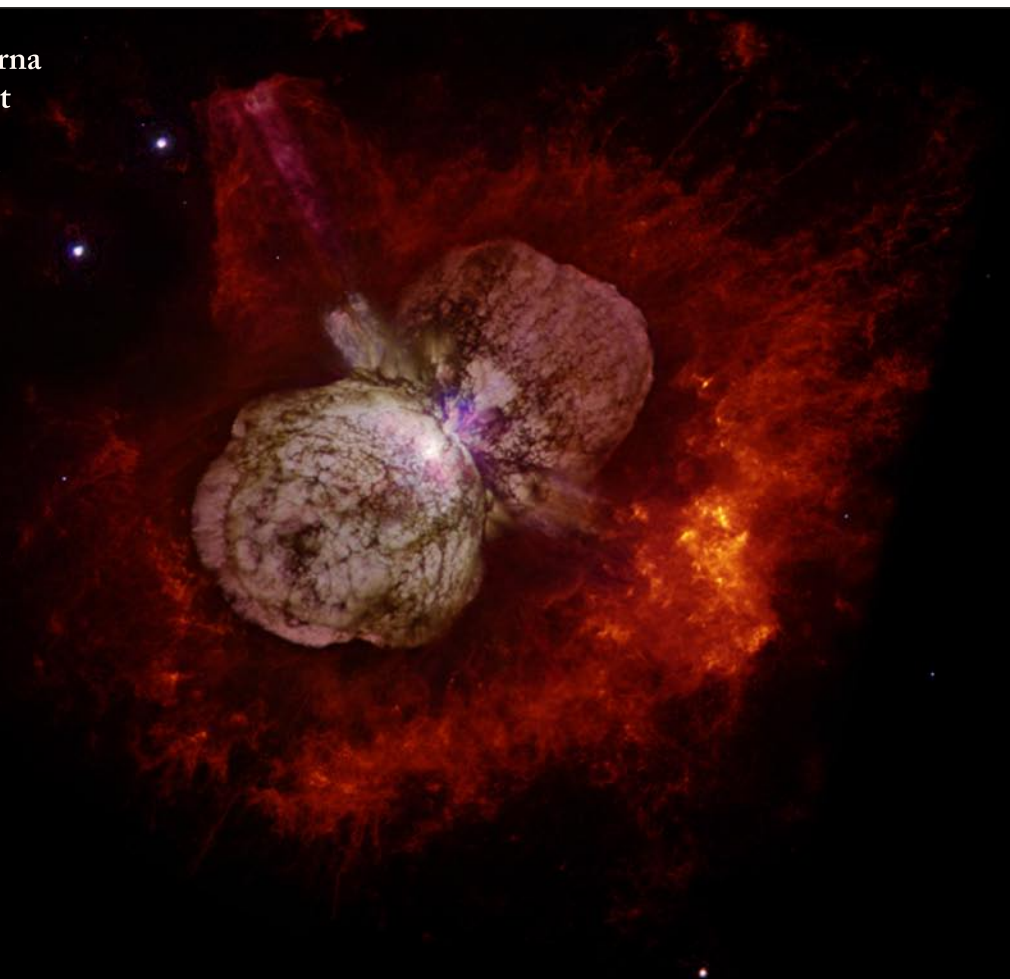
Henrik Hartman mäter absorption i ett Fe-plasma vid MAX-lab.

Parametrar som bestämmer spektrallinjers intensitet mäts också på MAX-lab och Lasercentrum i Lund. Vid lagringsringen CRYRING i Stockholm mäts mycket långa livstider som motsvarar förbjudna, mycket osannolika spektrallinjer, som observeras i nebulosor.

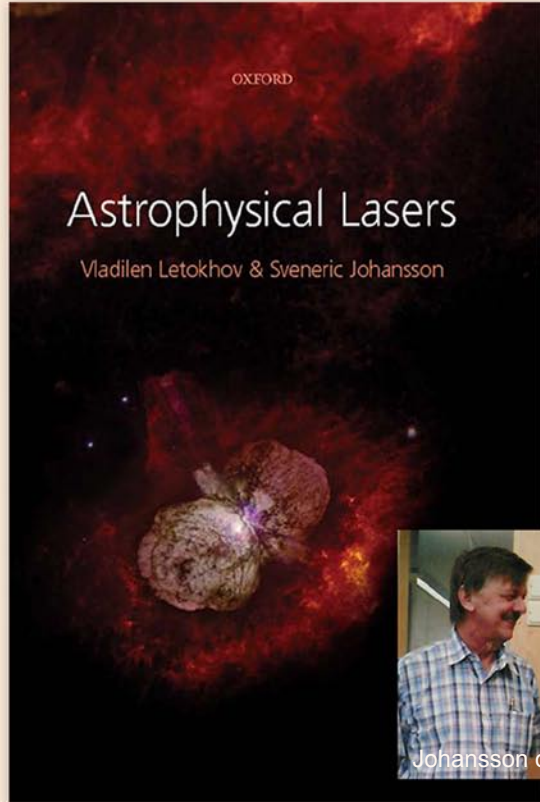


## Eta Carinae

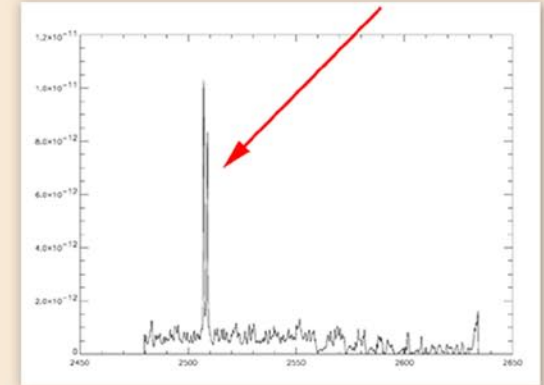
Eta Carinae är en av de tyngsta stjärnorna i Vintergatan. År 1837 observerades ett utbrott som varade i flera år, och för en tid gjorde stjärnan till en av de starkast lysande på södra stjärnhimlen. Stora gasmoln kastades ut i form av två trattformade lobber. I ett plan mellan loberna finns ett antal lysande gasbubblor. I Lund analyserades det linjespektrum som emitterades från bubblorna. Observationerna gjordes med rymdteleskopet Hubble.



# En laserstjärna?



I boken *Astrophysical Lasers*, som publicerades postumt 2010 – Sveneric Johansson avled 2008 och Vladilen Letokhov 2009, beskriver de sin forskning.



I spektrum från gasbubblorna runt Eta Carinae kunde Sveneric Johansson bland annat identifiera ett stort antal linjer från  $\text{Fe}^+$ . Två av dessa linjer är här mycket starkare än alla andra, medan de i laboratoriet inte är särskilt framträdande.

Sveneric och den ryske laserexperten Vladilen Letokhov kunde visa att intensiteten hos de två linjerna tyder på att det finns stimulerad emission eller laserstrålning i bubblorna.