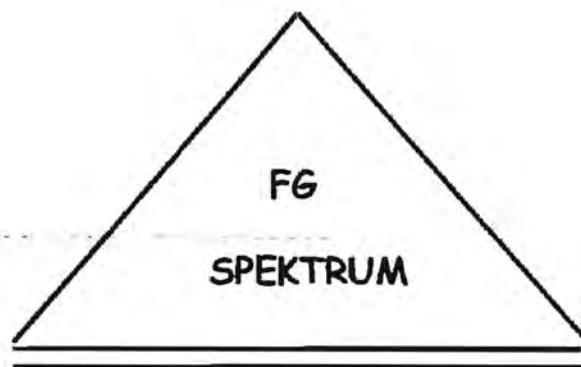




Mitteilungsblatt der

Fachgruppe

S P E K T R O S K O P I E

der Vereinigung der
Sternfreunde e.V.

Rundbrief Nr. 20 (2000)

Einzelheft: 3,50 DM (plus Porto)
Herausgeber: Ernst Pollmann
Charlottenburgerstraße 26c
51377 Leverkusen

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Stefan Griesing	Spektralanalytische Untersuchungen an Fixsternen	1
Prof. Dr. E. Geyer	Die instr. Entwicklung der Astrospektroskopie (III)	13
Richard Gray	Interpreting Observed Stellar Spectra	20
Ernst Pollmann	Unser FG-Rundbrief ab 2001	26

Spektralanalytische Untersuchungen an Fixsternen

(von Stefan Griesing, Max-Planck-Gymnasium, Saarlouis)

Platzierung an zweiter Stelle im Landeswettbewerb „Jugend forscht 1998“

Fachgebiet: Geo- und Raumwissenschaften

Kurzfassung:

Schon in grauer Vorzeit richteten die Menschen ihre Blicke gegen das Firmament. Beim Anblick der Sterne kamen ihnen Fragen in den Sinn wie:

Was ist die Natur dieser Lichtpunkte?

Woraus bestehen sie?

Leuchten sie ewig?

Noch 1835 kommentierte der Französische Philosoph Auguste Comte solche Fragen folgendermaßen: „Niemals werden die Astronomen in der Lage sein, die chemische Zusammensetzung oder mineralogische Struktur der Sterne zu ergründen oder gar ihre Temperatur zu messen.“

Hier irrte er gewaltig! Denn schon ein halbes Jahrhundert später wußten die Astronomen dank der Einführung der Spektralanalyse besser Bescheid über die Zusammensetzung und Temperatur der Sterne als die Geologen über den Zustand des Erdkerns.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese frühen astrophysikalischen Beobachtungen mit relativ einfachen Mitteln nachzuvollziehen.

1. Einleitung

Die Anfänge der Spektroskopie gehen auf Isaak Newton zurück. Indem ihm 1667 die Farbaufspaltung von Sonnenlicht mittels eines Dispersionsprismas gelang, konnte er zeigen, daß sich weißes Licht in die Regenbogenfarben aufspalten läßt. 1802 entdeckte William Wollaston dunkle Linie im Sonnenspektrum, die 1814 von Joseph von Fraunhofer katalogisiert wurden.

Deren Bedeutung wurde aber erst 1859 offensichtlich, als die Chemiker Gustav Robert Kirchhoff und Robert Wilhelm Bunsen herausfanden, daß solche Linien von heißen Gasen ausgesendet werden. Dabei emittiert ein bestimmtes Element nur ganz spezifische Linien. Kirchhoff und Bunsen begründeten damit einen neuen Forschungszweig der Astronomie: die Astrophysik, der wir einen Großteil unseres Wissens über das Weltall zu verdanken haben.

Erste Spektraluntersuchungen an Fixsternen wurden ebenfalls zu dieser Zeit durchgeführt. In den 80er Jahren des vorigen Jahrhunderts entwickelten E. C. Pickering und A. Cannon das Harvard - Klassifikationsschema zur Einordnung von Sternspektren. Es enthält die Klassen O, B, A, F, G, K, M („Oh be a fine girl kiss me“); wobei diese Folge eine Temperatursequenz von ca. 30 000 K bis 3 000 K „Oberflächen“ - Temperatur darstellt. Zur feineren Gliederung wurden diese Klassen später noch von 0 bis 9 unterteilt; so ist

z.B. ein G2 Stern etwas heißer als ein G8 Stern. Mit der vorliegenden Arbeit will ich zeigen, daß schon mit relativ einfachen Mitteln erfolgreich Spektralanalyse betrieben und die Harvard Klassifikation nachvollzogen werden kann.

2. Die Entstehung der Spektrallinien

Nach dem Bohrschen Atommodell stehen den Elektronen nur ganz bestimmte Bahnen (um den Atomkern) zur Verfügung, die diskreten Energieniveaus entsprechen. Im Normalfall halten sich die Elektronen auf der energetisch niedrigsten Bahn, also im sogenannten Grundzustand auf. Wird solchen Atomen jedoch Energie zugeführt (z.B. durch Elektronenstoß oder Stöße mit thermisch bewegten Atomen eines Gases oder durch Einstrahlung von Lichtquanten) so werden sie in einen angeregten Zustand überführt, d.h. die Elektronen springen auf höherenergetische Bahnen. Nach ca. 10^{-8} s fällt ein angeregtes Elektron jedoch wieder zurück und gibt dabei die Energiedifferenz zwischen Grund- und angeregtem Zustand in Form von Licht einer bestimmten Wellenlänge ab. Im Spektrum wird eine Emissionslinie sichtbar.

Es sei noch angemerkt, daß die Elektronen nur ganz bestimmte Energiebeträge aufnehmen und abgeben können, da die Energieniveaus der angeregten Zustände festgelegt sind.

Beispiel Wasserstoffatom:

Der 2. Bahn ist etwa die Energie 10,19 eV zugeordnet; der 3. Bahn 12,07 eV. Springt ein Elektron von der 3. Bahn (angeregter Zustand) auf die 2. Bahn zurück, so wird die Energie

$$\Delta W = 12,07 \text{ eV} - 10,19 \text{ eV} = 1,88 \text{ eV} \approx 3,012 \cdot 10^{-19} \text{ J frei.}$$

Es entsteht eine Spektrallinie der Wellenlänge

$$\lambda = \frac{h}{\Delta W} \cdot c \approx 656,3 \text{ nm} \quad (H_\alpha : \text{Literaturwert: } 656,3 \text{ nm})$$

λ : Wellenlänge

h : Plancksches Wirkungsquantum ($6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$)

c : Lichtgeschwindigkeit ($3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$)

Voraussetzung ist, daß dem Atom die Anregungsenergie $\Delta W = 3,012 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ zugeführt wurde. Die Elektronen können aus einem angeregten Zustand auf verschiedene energieärmere Bahnen zurückfallen. Alle Sprünge, die auf derselben Bahn enden, führen zur Aussendung von Linien, die zu einer bestimmten Serie gehören. Die folgende Abbildung gibt ein Beispiel für das Wasserstoffatom.

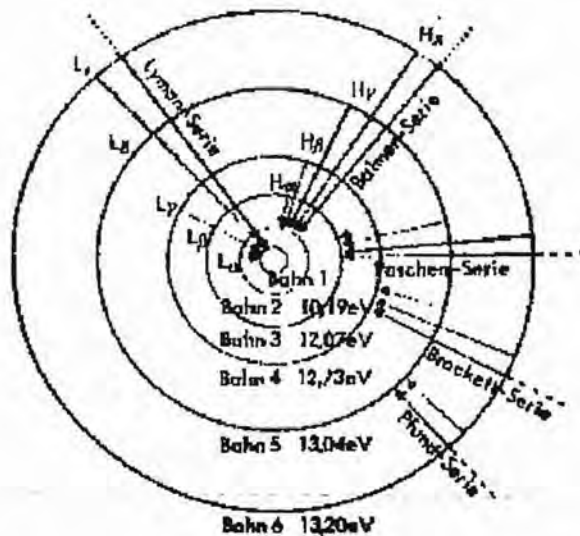


Abbildung 1: Spektralserien des Wasserstoffs aus [4]

Die Stärke der Spektrallinien ist abhängig

- von der Anzahl der Atome im angeregten Zustand (bei neutralen Atomen proportional zur Linienstärke)
- von der Anzahl der Atome im ionisierten Zustand (bei neutralen Atomen umgekehrt proportional zu Linienstärke).

Wegen der bei steigender Temperatur rasch zunehmenden Ionisation erreichen die Spektrallinien des Wasserstoffs schon bei Sternen mit 10 000 K „Oberflächen“-Temperatur ihre maximale Intensität.

3. Arten von Spektren

Als *kontinuierliches Spektrum* bezeichnet man das Farbband von violett bis rot (vergleiche Regenbogen); es wird von allen glühenden festen und flüssigen Körpern und auch von leuchtenden Gasen mit hohen Dichten und Temperaturen ausgesandt. Die Intensitätsverteilung hängt dabei von der Temperatur des Strahlers ab.

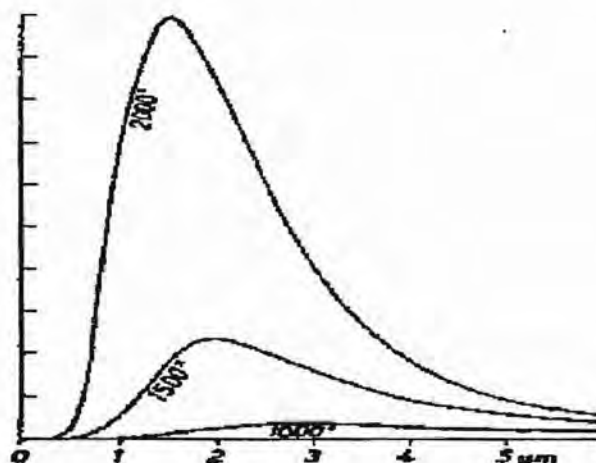


Abbildung 2: Intensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge für verschiedene Temperaturen [2]

Sie gehorcht dem Planckschen Strahlungsgesetz:

$$E(\lambda, T) = 2 \frac{h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot T}} - 1}$$

Ein *Emissionslinienspektrum* wird von einem heißen Gas geringer Dichte ausgestrahlt. Die Entstehung ist im vorigen Abschnitt ausführlicher beschrieben.

Bei Sternen findet man allerdings ein *Absorptionslinienspektrum*, d.h. man sieht dunkle Linien auf einem kontinuierlichen Untergrund. Dabei entsteht der kontinuierliche Teil der Strahlung in der Photosphäre eines Sterns. Durchläuft dieser eine kühlere Schicht der Sternatmosphäre, so absorbieren deren Bestandteile bestimmte Energiebeträge $W = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ die als Anregungsenergien genutzt werden. Bei der anschließenden Reemission wird das Licht in alle möglichen Richtungen ausgestrahlt, so daß nur ein entsprechend geringerer Bruchteil beim Betrachter ankommt.

4. Versuchsplanung

Es gibt zwei Methoden, Licht in seine Farben zu zerlegen:

- mit Hilfe eines Beugungsgitters, bei dem das Spektrum mittels Interferenz erzeugt wird oder
- mit Hilfe eines Prismas, bei dem das Spektrum auf Grund der Dispersion entsteht.

Sowohl Gitter als auch Prisma haben Vor- und Nachteile.

Vorteile des Gitters: Linearität, d.h. gleiche Strecken im Spektrum entsprechen gleichen Wellenlängenintervallen

Nachteile des Gitters: Verteilung des Lichts auf mehrere Maxima, von denen nur eines verwendet wird

Vorteil des Prismas: kein Lichtverlust, da das Licht nur gebrochen und nicht gebeugt und somit auf mehrere Maxima aufgeteilt wird

Nachteil des Prismas: wellenlängenabhängige Dispersion, also keine Linearität

Nach sorgfältigem Abwägen entschied ich mich für ein Prisma, da mir die hohe Lichtausbeute den Nachteil der fehlenden Linearität mehr als aufzuwiegen schien. Es stellte sich aber die Frage, welches Prisma für meinen Zweck geeignet ist.

Grundsätzlich gilt: die Glassorte und die Größe des brechenden Winkels bestimmen die Winkeldispersion (Maß für die Auffächerung des Lichts) und damit, in Verbindung mit der Brennweite der Abbildungsoptik und dem Auflösungsvermögen des Films, die spektrale Auflösung.

Je größer nämlich der brechende Winkel und der Brechungsindex des Glases sind, desto höher ist die Winkeldispersion. Leider sind Prismen aus hochbrechenden Glassorten wie z.B. Schwerflint mit $n = 1,69$ sehr teuer, besonders, wenn sie einen großen brechenden Winkel aufweisen.

Für meine Untersuchungen benötigte ich jedoch keine allzu große spektrale Auflösung, und so entschied ich mich für ein 45° Kronglasprisma, das zudem noch leichter zu beschaffen war als ein Flintglasprisma.

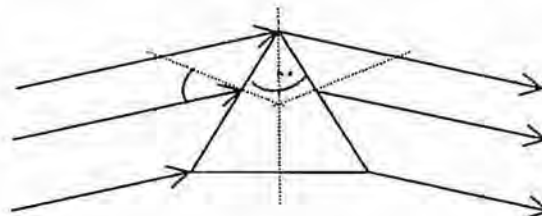
Als nächstes galt es sich Gedanken über die Dimension des Prismas zu machen. Das von mir verwendete CARL - ZEISS - SONNAR 2.8 / 180 mm hat einen Linsendurchmesser von 62 mm, den ich möglichst vollständig ausnutzen wollte. Bei symmetrischem Durchgang des Lichts durch ein Prisma gilt für den Eintrittswinkel α , der auch gleich dem Austrittswinkel ist:

$$\sin \alpha_{\lambda} = n_{\lambda} \cdot \sin (\gamma / 2)$$

n_{λ} : Brechungsindex bei der Wellenlänge λ (hier 1,52 bei $\lambda = 546 \text{ nm}$)

γ : brechender Winkel (hier 45°)

Hieraus ergibt sich α zu $35,6^{\circ}$. Bei gegebenem Linsendurchmesser läßt sich jetzt graphisch oder rechnerisch die Kantenlänge des Prismas bzw. umgekehrt bei gegebener Kantenlänge der gerade noch ausgeleuchtete Objektdurchmesser ermitteln.



Aus den Angeboten wählte ich ein Prisma mit 70 mm Kantenlänge aus, das einen Objektdurchmesser von 53 mm ausleuchtet. Somit ging in Verbindung mit dem eingesetzten 2fach Telekonverter lediglich eine Blende verloren.

Mit dem gegebenen Prisma ließ sich dann auch die Spektrenlänge auf dem Film errechnen. Dabei geht man davon aus, daß der Bereich von 369 nm bis 706 nm abgebildet wird. Die Spektrenlänge L ergibt sich aus:

$$L = 2 \cdot f \sin \Delta \alpha$$

$$= 2 \cdot f \cdot \sin \left(\frac{\gamma}{2} \right) \cdot (\arcsin n_{369} - \arcsin n_{706}) \approx 7,95 \text{ mm}$$

f : Brennweite des Teleobjektivs (360 mm mit Konverter)

Bei 12facher Vergrößerung ergab sich daraus eine Spektrenlänge von knapp 9,6 cm auf dem Positiv.

Als nächstes galt es eine Film- und Entwicklerkombination zu finden, die folgende Eigenschaften erfüllen sollten:

- hohe Empfindlichkeit
- geringer Schwarzschildeffekt (Abnahme der Empfindlichkeit mit zunehmender Belichtungszeit)
- hohe Feinkörnigkeit und Schärfe
- kontrastreiche Wiedergabe der Linien

Farbfilme kamen von Anfang an nicht in Frage, da sie wesentlich weicher als Schwarzweißfilme arbeiten. In dem Schwarzweißfilm KODAK T-MAX 100 (100 ASA Grundempfindlichkeit) hatte ich ein äußerst feinkörniges und scharfes Fotomaterial gefunden, das

zudem ein sehr günstiges Schwarzschildverhalten aufweist. Der ideale Astrofilm also – wenn nicht die relativ geringe Empfindlichkeit wäre. Umfangreiche Versuche führten zu der Entdeckung einer Entwicklerkombination, die die Empfindlichkeit auf 800 ASA erhöhte und zudem den gewünschten hohen Kontrast erzeugt: ich entwickelte in Tetenal NEOPRESS HC 1+31 / Tetenal DOKUMOL 1+7 jeweils 10 Minuten bei 20° C.

5. Technik der Spektralfotografie

Ein Prisma erzeugt von Sternen nur ein fadenförmige Spektren, die nicht gut ausgewertet werden können. Um verbreiterte Spektren zu erhalten ging ich wie folgt vor:

Zuerst montierte ich die Kamera so auf der parallaktischen Fernrohrmontierung, daß die Sterne bei Drehung der Rektaszensionsachse sich im Kamerasucher parallel zur langen Seite des Kleinbildformats bewegten. Dann wurde das Prisma mit einer selbst gebauten Halterung so vor das Objektiv montiert, daß dessen brechende Kante parallel zum Himmelsäquator ausgerichtet war. Bei dieser Prismenorientierung liegt das Spektrum parallel zur kleinen Seite des Kleinbildformats.

Während der Belichtung schaltet man periodisch die Nachführung ab und aktiviert sie anschließend wieder für den gleichen Zeitraum, aber mit doppelter Nachführgeschwindigkeit. Das fadenförmige Spektrum überstreicht also innerhalb der Periode zweimal ein bestimmtes Streckenintervall, das der Breite des Spektrums auf dem Negativ entspricht.

Für das Erkennen der Linien reicht eine Breite von ca. 0,5 mm aus. Bei einer 12fachen Nachvergrößerung hat das Spektrum somit eine Breite von 6mm auf dem Positiv. Es sei noch angemerkt, daß für Spektralaufnahmen, wie für alle anderen astronomischen Aufnahmen auch, ein möglichst dunkler Himmel von Vorteil ist. Aus diesem Grund fuhr ich in einer kalten Januarnacht auf den Saargau, um die vorliegenden Aufnahmen zu machen.

6. Technik der Auswertung

Wie bereits erwähnt, hängt beim Prisma die Winkeldispersion von der Wellenlänge ab. Um Wellenlängen von Spektrallinien bestimmen zu können, ist es nötig, den Verlauf der Winkeldispersion in Abhängigkeit von der Wellenlänge zu ermitteln. Zur Erstellung einer solchen Dispersionskuve geht man folgendermaßen vor:

Auf der Ordinate eines Koordinatensystems wird linear die Wellenlänge aufgetragen. Gleiche Wellenlängenintervalle entsprechen also hier gleichen Abschnitten auf der y-Achse. Als Abszisse dient das Spektrum eines A-Sterns dessen starke Wasserstofflinien sich leicht identifizieren lassen. Nun errichtet man z.B. in H_β ($\lambda = 486,1 \text{ nm}$) das Lot. Der Schnittpunkt mit $y = 486,1 \text{ nm}$ ergibt einen Punkt der Dispersionskurve.

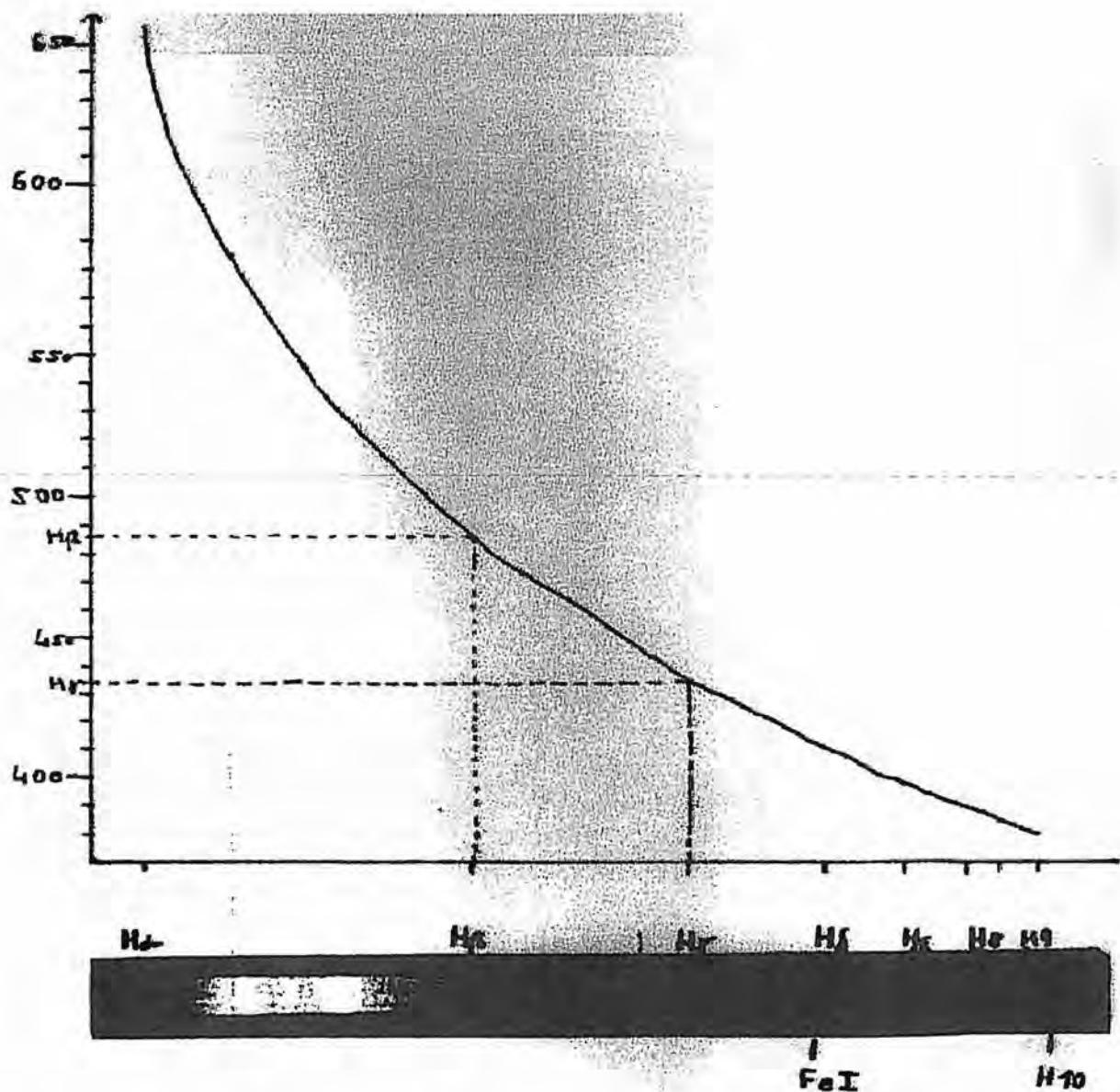


Abbildung 3: Dispersionskurve gewonnen aus Spektrum vom 9 Aur (Eichstern)

Die Praxis hat gezeigt, daß mittels dieser Dispersionskurve die Wellenlängen mit einer Genauigkeit von etwa 1nm bestimmt werden können. Die Genauigkeit wurde aus dem Vergleich von 36 vermessenen Linien mit den Literaturwerten gewonnen (maximale Abweichung 2,5 nm , minimale Abweichung 0,1 nm). Die photometrischen Registrierkurve wurden mittels eines an einem x-y Schreiber befestigten Photowiderstand gewonnen, auf den das vergrößerte Spektrum projiziert wurde.

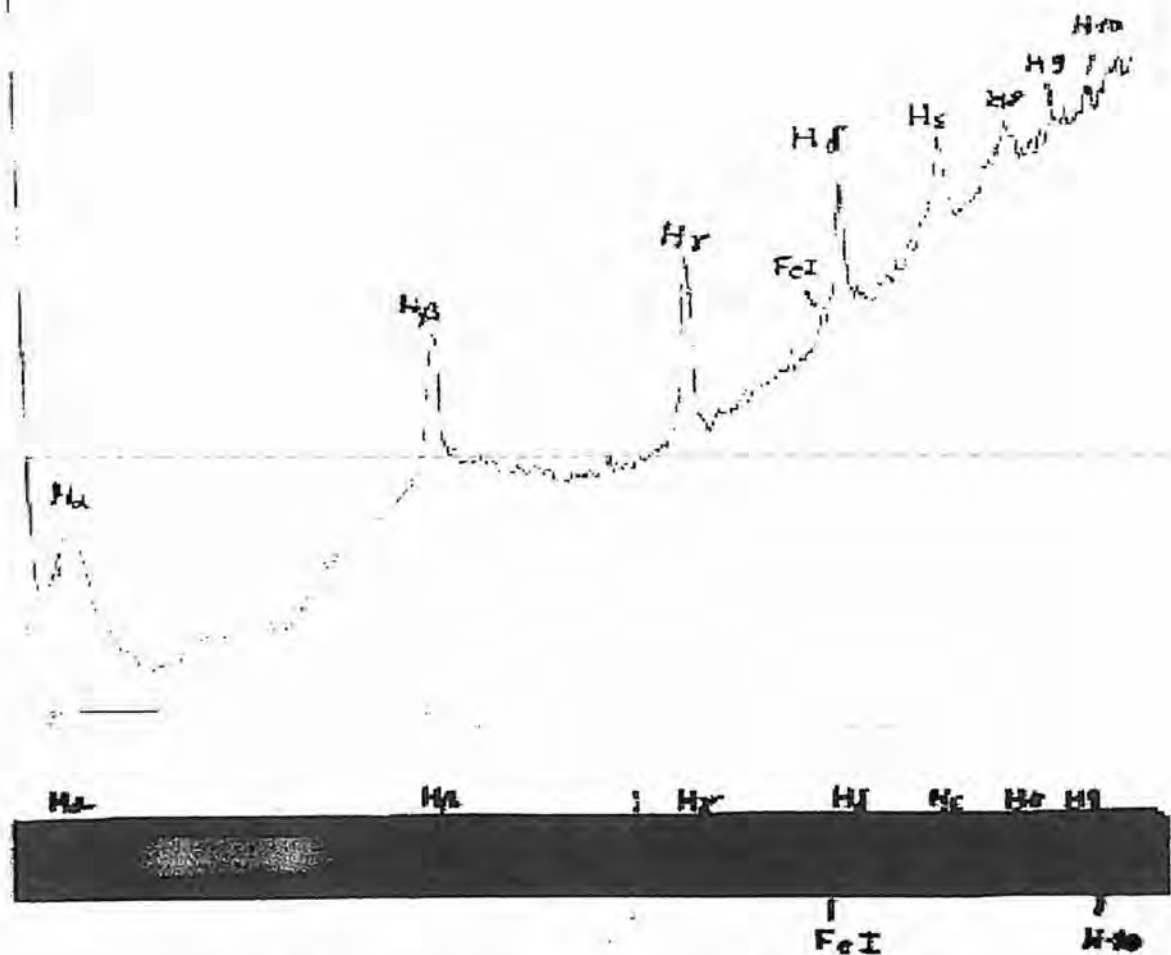
7. Ergebnisse

Im folgenden sind nun die Ergebnisse der einzelnen, von mir untersuchten Sterne angeführt. Bei den im Text vorkommenden Abkürzungen bedeutet

I : neutrales Atom, z.B. Ca I = neutrales Kalzium

II: einfach ionisiertes Atom, z.B. Ca II = einfach ionisiertes Calcium.

Die Zitate in diesem Kapitel entstammen alle [3].

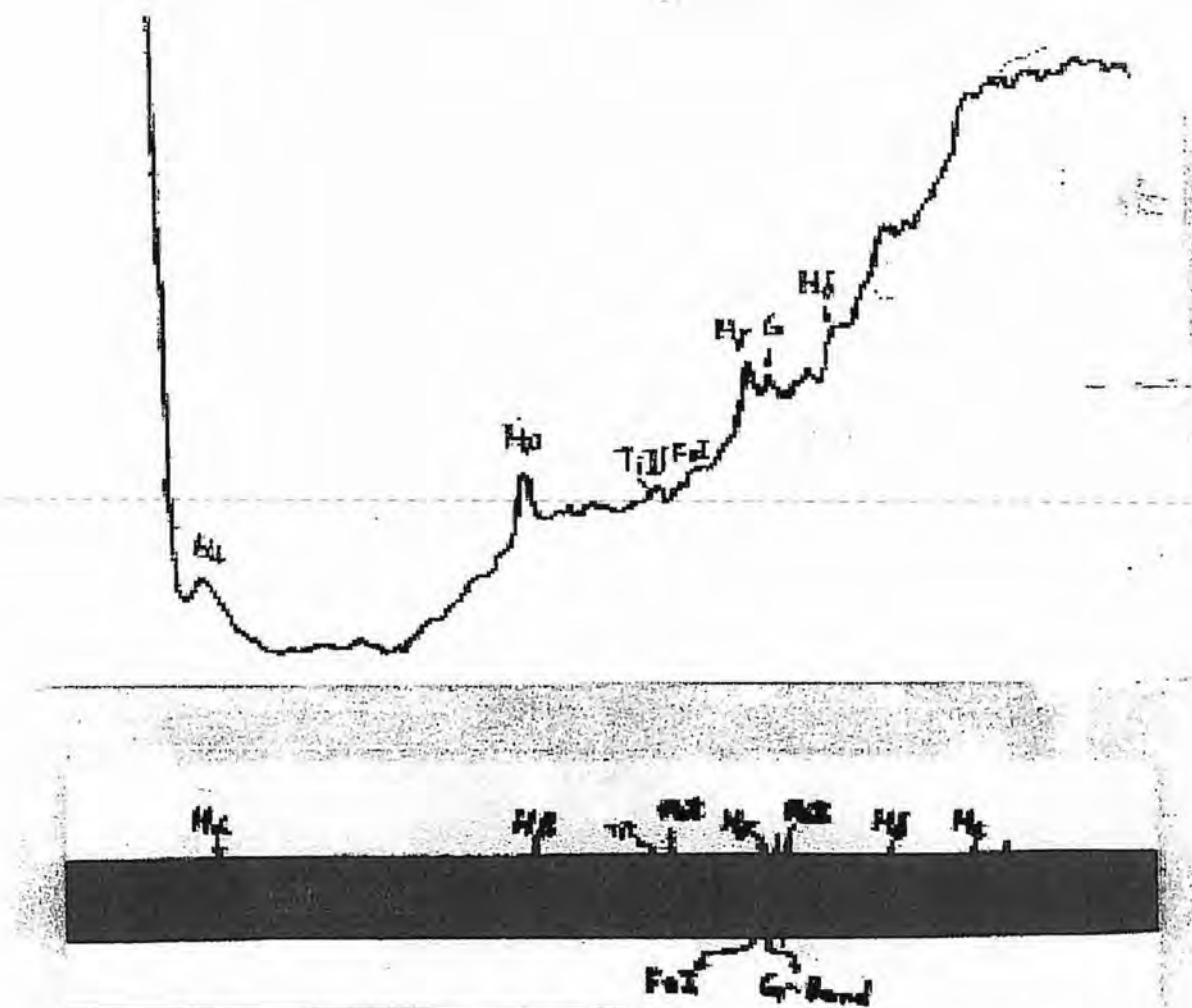


9 Aurigae: Spektraltyp A0; Temperatur ca. 10 000 K

Balmerserie des Wasserstoff in Maximaler Stärke. Linien von Fe I und Ca I treten auf, deren Intensitäten durch die Klasse A hindurch ansteigen.

In meiner Aufnahme konnte ich die Wasserstofflinien H_α , H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ sowie die im UV liegenden Linien H8, H9 und H10 identifizieren. Außerdem konnte ich noch eine Eisenlinie nachweisen. Die erkannten Linien von 9 Aur im einzelnen:

Verursacher	λ (Literatur) in nm	λ (gemessen) in nm	Kommentar
H I	656,3	(656,3)	H_α , Eichwert
H I	486,1	(486,1)	H_β , Eichwert
H I	434,1	(434,1)	H_γ , Eichwert
Fe I	414,4	414	
H I	410,2	(410,2)	H_δ , Eichwert
H I	397,0	(397,0)	H_ϵ , Eichwert
H I	388,9	(388,9)	H8, Eichwert
H I	383,5	(383,5)	H9, Eichwert
H I	379,8	(379,8)	H10, Eichwert



α Canis Minoris (Prokyon): Spektraltyp F5; Temperatur ca. 7 000 K

Wasserstofflinien immer noch dominierend, aber mit abnehmender Intensität. Linien des Ca II zunehmend. Linien neutraler Metalle, besonders von Eisen.

Die Dominanz der Wasserstofflinien kann ich bestätigen. Die Linien des Ca II jedoch konnte ich nicht registrieren (vermutlich wegen zu kurzer Belichtungszeit), wohl aber eine Eisen- und eine Titanlinie nachweisen. Auch das G - Band konnte ich registrieren.

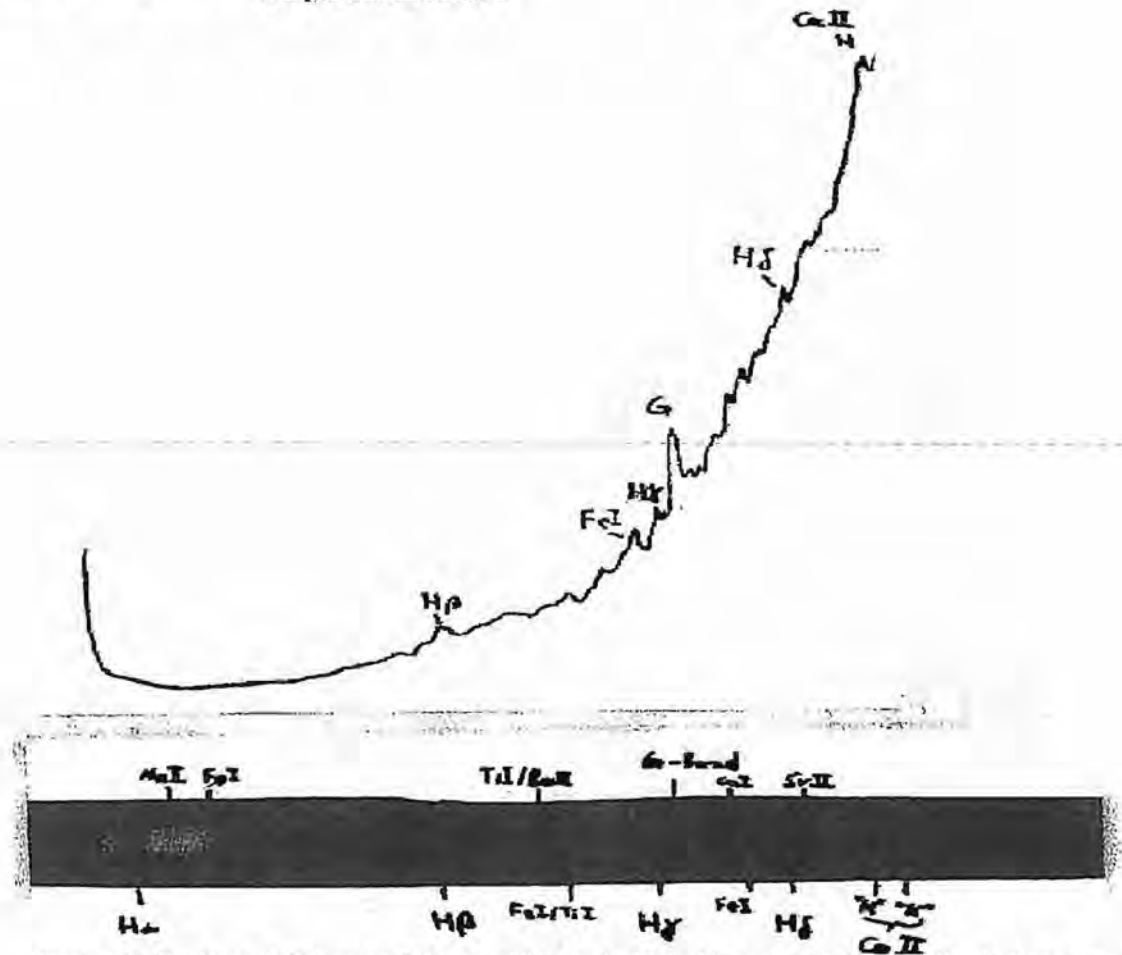
Die erkannten Linien von *α CMi* im einzelnen:

Verursacher	λ (Literatur) in nm	λ (gemessen) in nm	Kommentar
H I	656,3	(656,3)	H α , Eichwert
H I	486,1	(486,1)	H β , Eichwert
Ti I	453,6	456	
Fe I	452,9	453	
H I	434,1	(434,1)	H γ , Eichwert
Fe I	432,5	432	
G - Band	430,8	430	
Fe I	429,2	429,5	
H I	410,2	(410,2)	H δ , Eichwert
H I	397,0	(397,0)	H ϵ , Eichwert

α Aurigae (Capella):

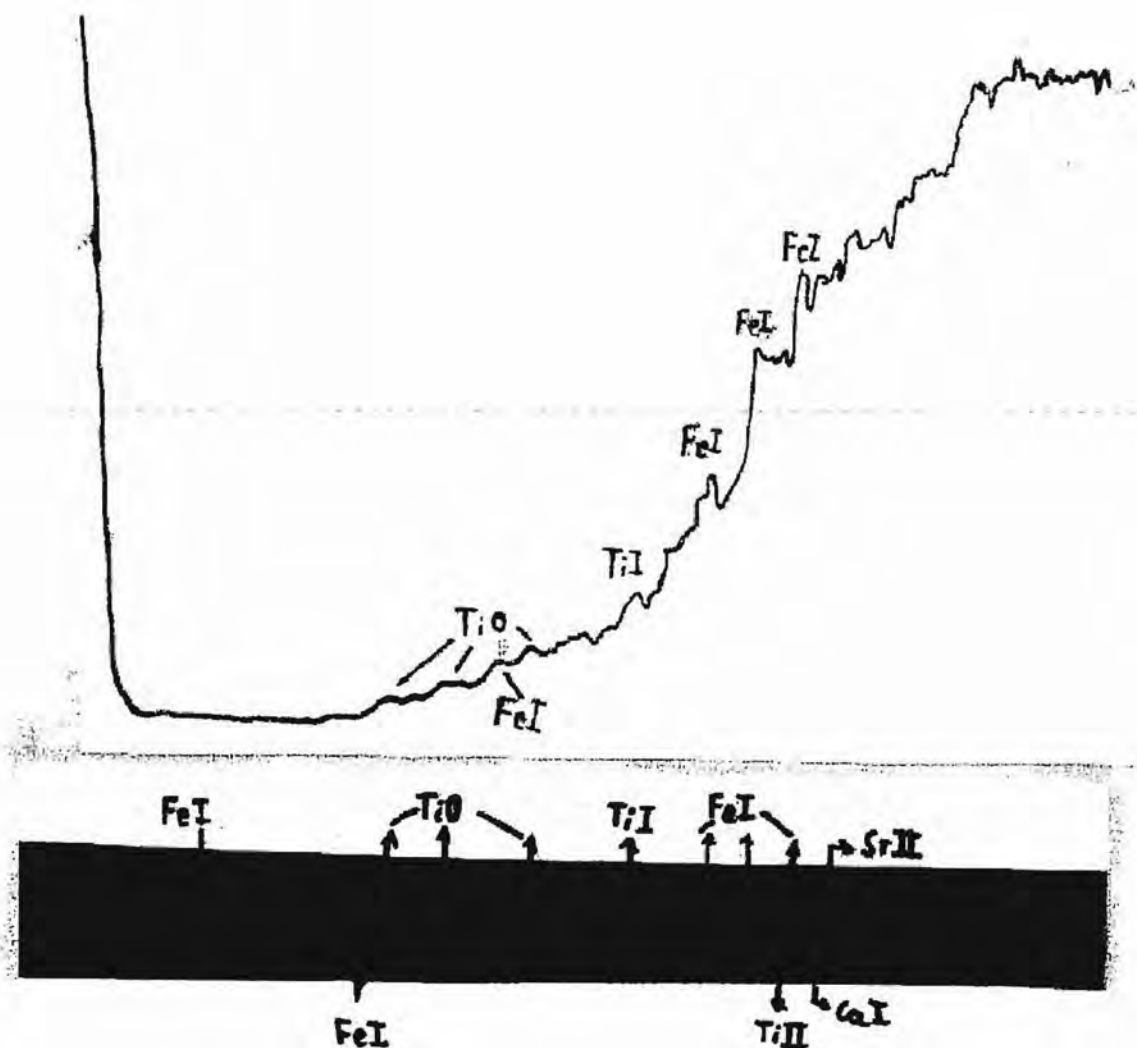
Spektraltyp: G8

Temperatur: ca. 5200 K



Linien des Ca II stark. Wasserstofflinien mäßig stark. Viele Linien neutraler Metalle. Auftreten von Linien der Moleküle CN und CH. Auffällig sind die Linien des Ca II und vor allem das G-Band. Von den Wasserstofflinien konnte ich $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ und $H\delta$ identifizieren. Wegen des begrenzten Auflösungsvermögens des Spektrographen ist bei einigen Linien eine eindeutige Elementzuordnung nicht mehr möglich. Ich konnte aber sehr viele Metalllinien finden, sowohl von neutralen, als auch von einfach ionisierten Metallen. Moleküle konnte ich keine nachweisen. Die erkannten Linien im von α Aur einzelnen:

Verursacher	λ (Literatur) in nm	λ (gemessen) in nm	Kommentar
Na	588,9 / 589,6	588	Fraunhofer I/D2
Fe I	561,6	561	
Fe I	495,8	496	
Fe I	489,1	490	
Ti I / Br II	453,0 / 455,4	455	
Fe I / Ti I	452,8 / 453,0	543	
Fe I	437,6 - 440,5	438	
H	434,1	434	$H\gamma$
G - Band	430,7	430	sehr stark
Fe I / Cr I	427,2 / 429,1	428	
Ca I	422,7	422	
Fe I	418,8	419	
H	410,2	411	$H\delta$
Sr II	407,8	409	
Ca II	396,9	397	Fraunhofer H
Ca II	393	393,4	Fraunhofer K



α Tauri (Aldebaran): Spektraltyp K5; Temperatur ca. 4000 K

Ca II in maximaler Stärke. Starke Linien von neutralen Metallen und von Molekülen. In meiner Aufnahme sind die Banden von TiO (Titanoxid) und die Linien von Fe I sehr stark. Außerdem finden sich die Linien einiger weniger Metallionen. Die Ca II Linien konnte ich nicht nachweisen. Die erkannten Linien von α Tau im einzelnen:

Verursacher	λ (Literatur) in nm	λ (gemessen) in nm	Kommentar
Ca I	612,2	610	
Fe I	561,6	562	
Ca I / Fe I	526,2 / 526,5 / 527,0	530	nicht eindeutig
Fe I	525,5	523	
TiO	516,7	517	
TiO	500,3	500	
Fe I	489,1	489	
TiO	476,1	478	
Cr I	465,1	466	
Fe I / Ti I /	463,3 / 464,0 /	461	nicht eindeutig

Cr I	464,6		
Ti I	454,5	455	
Ti I	452,3 / 452,7	452	
Fe I	447,2	447	
Fe I	440,5	440	relativ stark
Fe I	432,5	432	stark
Ti II	430,0	430	
Fe I	426,1	425	stark
Ca I	422,7	423	
Sr II	421,6	420	

8. Abschließende Bemerkung

Obwohl ich nicht alle Spektraltypen an Hand eigener Aufnahmen vorstellen konnte, konnte ich doch zeigen, daß eine Spektralklassifikation schon mit den einfachen Mitteln eines Amateurs erfolgreich vorgenommen werden kann.

9. Danksagung

Für die Unterstützung meiner Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken bei

- dem Jugend Forscht Club Saar e.V.
- meinem Betreuungslehrer Herrn Thomas Klein
- dem VdS Fachgruppenleiter „Spektroskopie“, Herrn Pollmann.

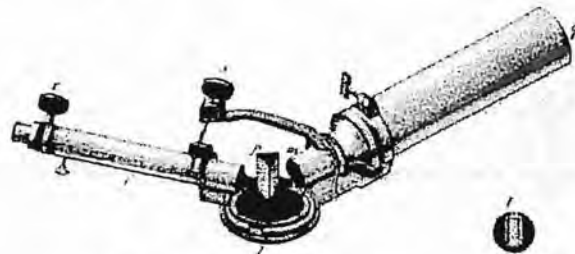
10. Literaturliste

- [1] Böhme, Nessa, Greissner: Praktische Spektralklassifikation für Amateurastronomen" Die Sterne, Bd 59 Heft 2 (S: 110 ff) J. A. Barth, Leipzig 1983
- [2] Gerthsen, Vogel: Physik, 17. Auflage, Sonderausgabe (S. 543) Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 1993
- [3] Gondolatsch, Groschopf, Zimmermann: Astronomie II (S. 371) Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1979
- [4] Herrmann: dtv Atlas zur Astronomie, 9. Auflage (S. 33 ff) Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1987
- [5] Karkoschka: Atlas für Himmelsbeobachter Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart 1988
- [6] Roth (Hrsg.): Handbuch für Sternfreunde, 4. Auflage (S. 622 ff) Springer Verlag, Berlin / Heidelberg 1989
- [7] Schwinge: Kosmos Handbuch Astrofotografie (S. 55 ff) Franckh Kosmos Verlag, Stuttgart 1993

Die instrumentelle Entwicklung der Astrospektroskopie (III)

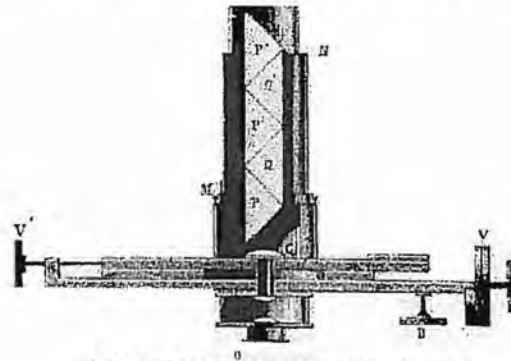
(von Prof. Dr. E. Geyer, Brockscheid)

6. Die frühen Astrospektrometer 1860 - 1890



Donati's spectroscope. 1860

Abb. 9a: Das Florenzer Sternspektroskop von G. B. Donati (1826-1873)



P. Angelo Secchi's Okular-Mikrometer Spektroskop

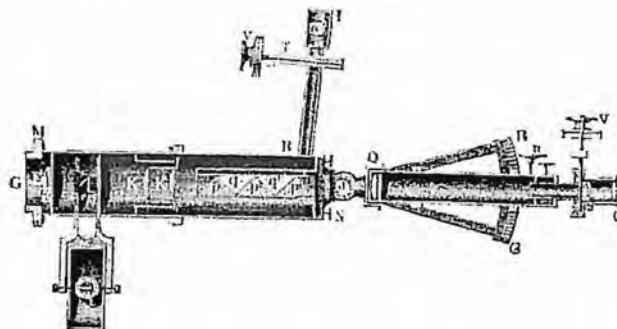
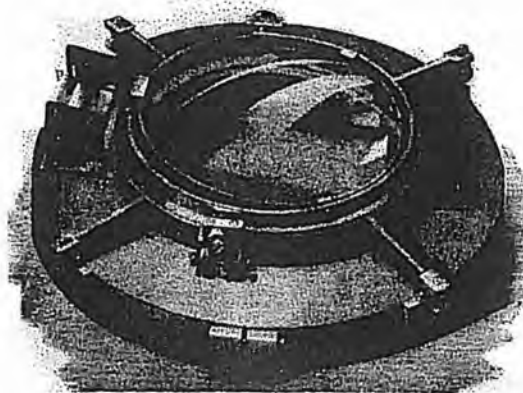


Abb. 9b: A. Secchi's Spektrometer mit Okularmikrometer

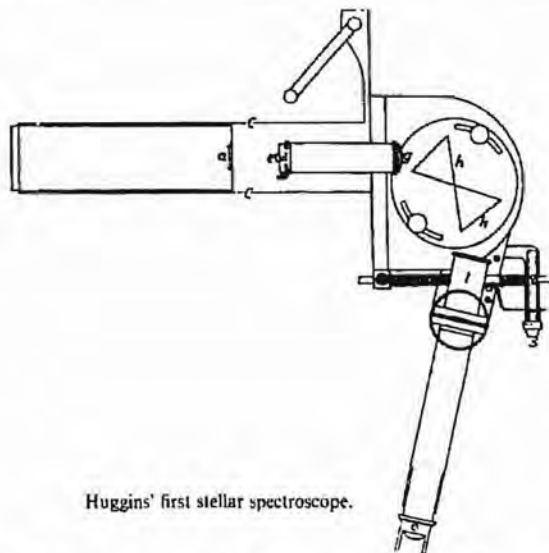
Ab 1862 verwendete Pater *A. Secchi* (1818 - 1878) ein geradsichtiges Okularmikrometer-Spektroskop mit doppeltem Prismensatz nach *G.B. Amici* (1786 - 1863) am 24 cm Merz-Refraktor an der Monte Mario Sternwarte in Rom. Am gleichen Instrument wurde von Secchi das für die damalige Zeit größte (6-zöllige, 12°) Objektivprisma der Fa. Merz / München verwendet. Es besaß die Einrichtung mit einem kleinen Zusatzspiegelprisma den ablenkenden Winkel des großen Prisma zu kompensieren, sodaß der Stern neben seinem Spektrum direkt beobachtet werden konnte.



P. Angelo Secchi's großes Objektiv-Prisma (6 Zoll, 12")

Abb. 9c: A. Secchi's großes Objektivprisma v. Merz (München)

Neben Secchi, der als der Begründer der Spektralklassifikation anzusehen ist, machte sich in England *W. Huggins (1824 - 1910)* um die Astrospektroskopie, vor allem von Gasnebeln und Kometen, verdient. Auch bemühte er sich um die Feststellung der Dopplerverschiebung in Sternspektren.



Huggins' first stellar spectroscope.

Abb. 9d: Huggins' erstes Spektrometer von 1873; zum ersten Mal werden 2 60°-Flintprismen in einem Sternspektroskop hintereinandergeschaltet

Um diese Zeit werden von *J. Jansen (1824 - 1907)* in Paris geradsichtige Spaltspektrometer zur Beobachtung der Sonnenprotuberanzen eingesetzt. Auch bemühte man sich den Doppler Effekt, der bereits akustisch nachgewiesen wurde, an Sternspektren nachzuvollziehen. 1869 erfand *K. F. Zöllner (1834 - 1882)* in Leipzig das Reversions-Spektrometer (Abb. 10) unter Verwendung von Amici-Geradsichtprismen.

The principle of the Reversion Spectrometer invented
by K. F. Zöllner 1889

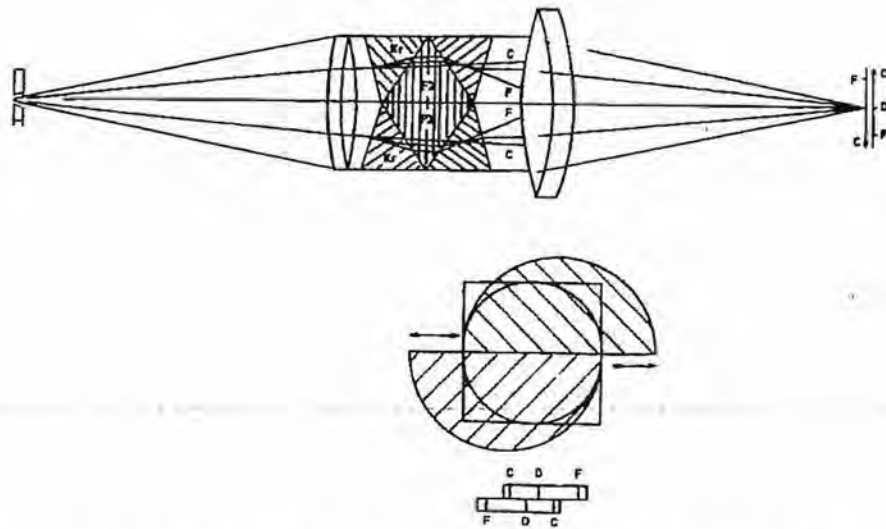


Abb. 10: Prinzip des Zöllner'schen Revisionsspektrometers zur Messung der Radialgeschwindigkeit

Mit diesem Gerät, das an einem Heliometer eingesetzt wurde, gelang der Nachweis der Dopplerverschiebung an der Sonne (Radialgeschwindigkeit des Sonnenrandes) 1871 durch H. C. Vogel (1834 -1898), dem ersten Direktor des Astrophysikalischen Observatoriums in Potsdam.

Mit der Entwicklung der Photographie, vor allem der Trockenplatten ab 1870 wurde das Ende der visuellen Astrospektroskopie eingeläutet. Das letzte große Spektrometer wurde für den großen Refraktor der Lick Sternwarte von der Fa. Brashear um 1890 gebaut (Abb.11) und vor allem von J. Keeler und W.W. Campell für Radialgeschwindigkeitsmessungen an Gasnebeln verwandt. Um diese Zeit fällt die Erfindung auch des Interferometers durch A.A. Michelson (1852 - 1931) und des Fabry-Perrot Platteninterferometers zur genauen Wellenlängenbestimmung der Spektrallinien.

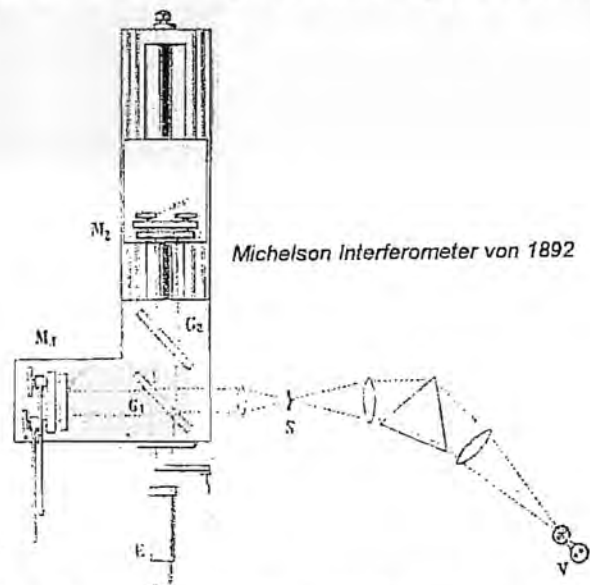


Abb. 11: Michelsons erstes Interferometer von 1892

Die Bedeutung dieser Interferometer für die hochauflösende Sternspektroskopie im IR und für die rationelle Untersuchung von Gasnebel und ihrer Radialgeschwindigkeiten hat sich erst in unserer Zeit ergeben. Diese werden vor allem mit Fokalreduktoren zur Feldspektroskopie ('multi object spectrograph') an Großteleskopen verwendet.

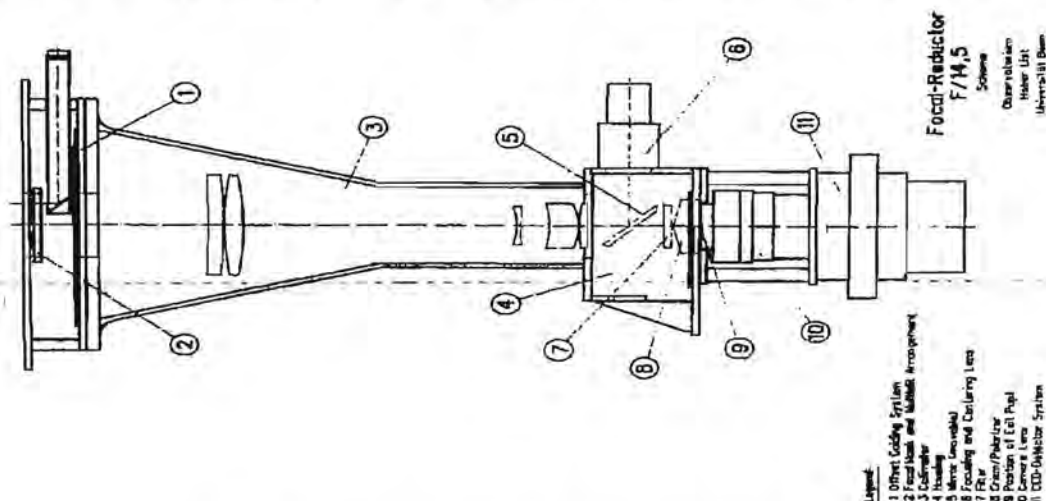


Abb. 12a: Fokalreduktor des Observatoriums Hoher List

7. Die Objektivprismen-Kameras und die spaltlosen Spektrographen:

Die wesentlichen Anordnungen sind in den Abbildungen 12a & 12b zusammengestellt.

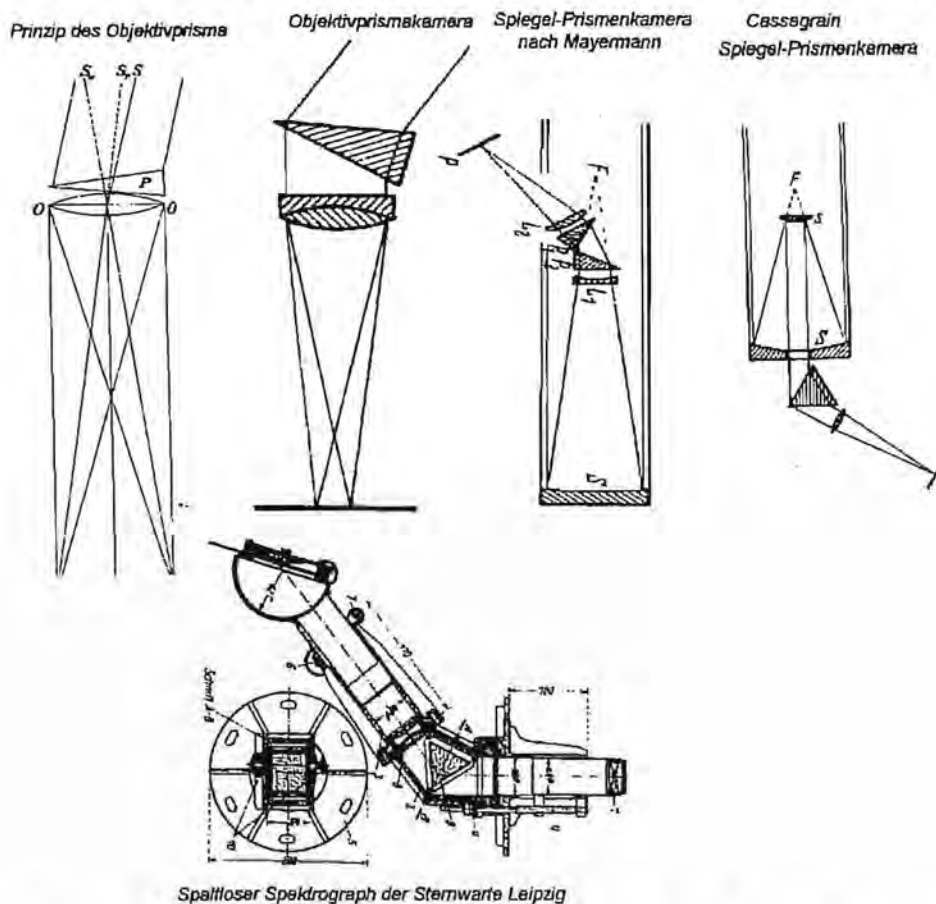


Abb. 12b: Schema von Objektiv-Prismen/Gitter-Anordnungen bzw. spaltloser Spektrographen

8. Die Spektroheliokope:

Das Prinzip des Spektrohelioskop und des ersten Instruments sind in Abb. 13a,b wiedergegeben.

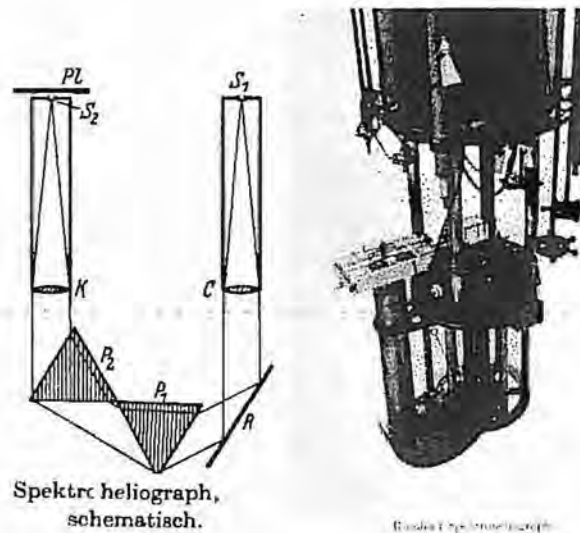


Abb.13a: Prinzip des Heliospektrographen Abb.13b: Der erste Yerkes Heliospektrograph 1903

9. Die Spaltspektrographen ab 1889

Das Vorbild aller weiteren Entwicklungen war der 1. Potsdamer Spaltspektrograph von 1888/89 am 30cm Refraktor, mit dem H. C. Vogel die ersten fotografischen Radialgeschwindigkeiten von Sternen bestimmte. Dieses Spektrographensystem wurde laufend unter Berücksichtigung der damit gemachten Erfahrungen verbessert. Das erste 1896 am Lick Refraktor in Dienst gestellte amerikanische Instrument zeigt Abb. 14.

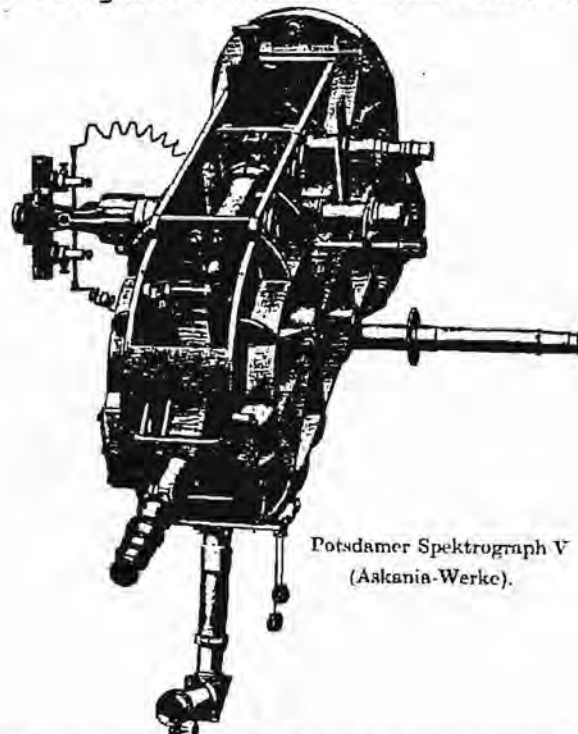
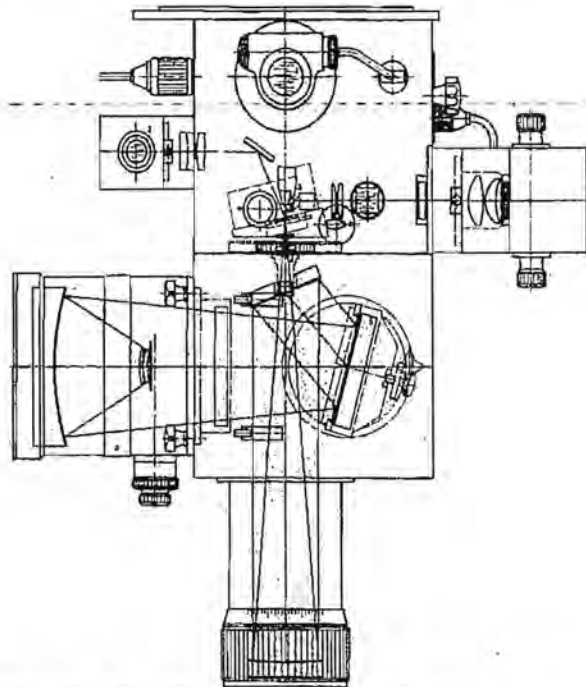


Abb.14: Der Mills-Spektrograph (Potsdamer Spektrograph V) am Lick Refraktor

Wie erwähnt, wurde die ersten Astrogitterspektrographen mit Spiegeloptik erst nach dem 2. Weltkrieg in Dienst gestellt. Einen solchen modernen Cassegrain-Plangitterspektrographen mit gefalteter Spiegeloptik zeigt Abb. 15. Die Nachteile, aller unmittelbar am Fernrohr betriebener Spektrographen sind neben thermischen Effekten, vor allem die Probleme der Durchbiegung. Deshalb werden für extrem hohe Genauigkeitsansprüche für die Radialgeschwindigkeitsmessungen Coudé-Spektrographen in thermostatisierten Laborräumen unterhalb der Teleskopplattform betrieben.



Schema des UAGS des Observatorium Hoher List

Abb. 15: Schema des Universal Astro-Gitterspektrographen von Zeiss-Jena 1968 des Observatoriums Hoher List

10. Literatur und Abbildungshinweise

Kurzer Abriß der Optikgeschichte:

Born, M.: 1933, *Optik*, Springer Verlag (Nachdruck der 1. Auflage 1965).

Born, M., Wolf, E.: 1980, *Principles of Optics*, Pergamon Press, (sixth edition).

Geschichte der Spektroskopie bis 1900:

Kayser, H.: 1900, *Handbuch der Spektroskopie Bd.I*, Hirzel Verlag Leipzig.

Geschichte der Astrospektroskopie:

Hearnshaw, J.B.: 1986, *The Analysis of Starlight*, Cambridge University Press.

Scheiner, J.: 1890, *Die Spektralanalyse der Gestirne*, Engelmann Verlag Leipzig.

Scheiner, J.: 1908, *Populäre Astrophysik*, Teubner Verlag Leipzig-Berlin.

Wolfschmidt, G.: 1991/92, *Die Anwendung des Dopplereffektes in der Astronomie unter besonderer Berücksichtigung der Pionierleistung von H.C. Vogel*, *Schriftenr. Gesch. Naturwiss., Techn., Med. Leipzig* 28, 173-209.

Die allgemeine Theorie der Prismen- und Gitterspektroskope sowie der Astrospektroskope ist zwar in den meisten Optik-Physiklehrbüchern, aber vor allem in folgenden Werken dargestellt:

- Bowen, I.S.: 1962, Spectrographs, in Stars & Stellar Systems Vol.2 - Astronomical Techniques, University of Chicago Press.
- Donecker, J.: 1985, Experimentelle Technik der Festkörperspektroskopie, Akademie-Verlag Berlin.
- Eberhard, G.: 1933, Sternspektrographie und Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten, in Hdb. d. Astrophysik I/I, Springer Verlag Berlin.
- Fehrenbach, Ch.: 1966, Objective Prisms and Measurement of Radial Velocities, in Advances in Astronomy and Astrophysics vol. 4, Academic Press New York.
- Gauglitz, G.: 1983, Praktische Spektroskopie, Attempto Verlag Tübingen.
- Harrison, G. R., Lord, R. C., Loofbourow, J. R.: 1949, Practical Spektroskopie, Blackie & Son Limited, London.
- Kayser, H.: 1900 & 1902, Handbuch der Spektroskopie Bd.I & II, Hirzel Verlag Leipzig.
- Runge, C., Meissner, K. W.: 1933, Spektroskopie, in Hdb. d. Astrophysik I/I, Springer Verlag Berlin.
- Sawyer, R. A.: 1944 & 1963, Experimental Spectroscopy, Dover Publications New York (third edition).
- Schaub, W.: Qualitative Spektralanalyse, in Hdb. d. Experimentalphysik Bd. 26 - Astrophysik - Akadem. Verlagsges. Leipzig.
- Stroke, G. W.: 1967, Diffraction Gratings, in Hdb. d. Physik Bd. XXIX,426, Optische Instrumente, Springer Verlag Berlin.
- Schwarzschild, K.: 1913/1992, Beitrag zur Bestimmung von Radialgeschwindigkeiten mit dem Objektivprisma, in K. Schwarzschild Gesam-melte Werke Vol. 2, 451, Springer Verlag Berlin.

Abbildungen - Nachweis: Die Abbildungen sind aus nachfolgend aufgeführten Werken entnommen (nicht aufgeführte entstammen Zeichnungen des Autors):

- Abb. 1a, 2, 6, 7a-c; 11a; 13 : Kayser, H.: 1900 & 1902, Handbuch der Spektroskopie Bd.I & II, Hirzel Verlag Leipzig.
- Abb.: 1b: Wußing, H.: 1984, Isaac Newton, Teubner Verlagsges. Leipzig.
- Abb.: 3a; 3b: Lommel, E.: 1888, J.v.Fraunhofers gesammelte Schriften, Verlag der Königl. Bayerischen Akademie der Wissenschaften.
- Abb.: 8a: Loewen, E. G.: 1972, Bausch & Lomb Diffraction Grating Handbook.
- Abb.: 8b; 11b: Donecker, J.: 1985, Experimentelle Technik der Fest-körperspektroskopie, Akademie-Verlag Berlin.
- Abb.: 9a; 9d; 12c; 13a: Hearnshaw, J.B.: 1986, The Analysis of Starlight, Cambridge University Press.
- Abb.: 9b; 9c: P. Secchi, A.: 1878, Die Sterne. Grundzüge der Astronomie der Fixsterne, Brockhaus Verlag Leipzig.
- Abb.: 12a; 12b; 13b: Schaub, W.: Qualitative Spektralanalyse, in Hdb. d. Experimentalphysik Bd. 26 - Astrophysik - Akadem. Verlagsges. Leipzig.
- Abb.: 13: Scheiner, J.: 1890, Die Spektralanalyse der Gestirne, Engelmann Verlag Leipzig.
- Scheiner, J.: 1908, Populäre Astrophysik, Teubner Verlag Leipzig-Berlin.
- Abb.: 14: Jenaer Rundschau 1975/1.

Interpreting Observed Stellar Spectra

(v. Richard Gray, Boon, Virginia USA)

Using SPECTRUM synthetic spectra to interpret observed stellar Spectra

SPECTRUM is a powerful program, but it is still imperfect, and should not be trusted completely. Please keep in mind the following points:

- a) SPECTRUM computes the spectrum using the assumption of LTE.
 - b) SPECTRUM does not include effects of chromospheres.
 - c) The $\log(gf)$ values used in line.adj are not necessarily to be trusted. I am continually trying to improve them - I am now starting on the long, long process of comparing the observed solar spectrum with the computed solar spectrum, and there is much work to be done on oscillator strengths, damping coefficients, etc. Please critically evaluate all of these parameters before you base any conclusions (abundances, etc) on a $\log(gf)$ in line.adj. (This goes for iue.lst and 30to68.lst as well).
 - d) If you use SPECTRUM to identify interesting features in a stellar spectrum (such as line ratios, etc) which are, say, luminosity or temperature sensitive, please identify those lines in the line.adj file before any conclusions are made! Some of the lines in line.adj are fictitious, and may be acting in a contrary way to nature!!
 - e) The synthetic spectrum, as it comes out of SPECTRUM can, in only a very few cases be directly compared with an observed spectrum. An observed spectrum has been passed through a spectrograph, and has been convolved with the line spread function characteristic of that spectrograph. Quite often, this line spread function is close to a gaussian, and so the use of SMOOTH, BSMOOTH, etc. (which convolve the synthetic spectrum with a gaussian of your choice) may be quite adequate. In other cases, you may wish to determine the line spread function of the spectrograph directly, and write a program which will perform the convolution. This is a very important point! Please also bear in mind that your spectrograph may suffer from scattered light as well. Scattered light will tend to „fill in“ the bottoms of strong lines.
 - f) Please remember to compute the synthetic spectrum with a sufficiently small wavelength step - I recommend 0.02 Å/step, or smaller if a really critical comparison of line strengths is required. I have seen people use a wavelength step of 0.1 Å and then expect the computed spectrum to give good results!!
- Below find references to papers referred to in this documentation.
- How to run SPECTRUM on your computer? This part is divided into three sections:

- A. Basic Information
- B. SPECTRUM switches
- C. Notes on running SPECTRUM

A. Basic Information

SPECTRUM is a 32-bit extended DOS program which requires at minimum a 386SX computer with INTEL-compatible math coprocessor to run. This means that SPECTRUM will not run on XT (8088/8086) or 286 machines, although a 16-bit version of SPECTRUM, SPEC16 (which is unsupported and has fewer features) is available on request. Memory usage of SPECTRUM is less than 2 megabytes. SPECTRUM has been tested on a number of 386SX, 386DX, 486 and Pentium machines. It has been compiled using the highly optimized WATCOM compiler, and is actually optimized to run on 486 and Pentium machines.

As noted above, SPECTRUM uses the new fully blanketed Kurucz stellar atmosphere models (a sampling of Kurucz's models are on the ftp site, more extensive sets of Kurucz's models should be obtained from Kurucz himself. These models are distributed on CDROM). However, I edit the model files to remove the extensive headers in these files; an example of the $T_{\text{eff}} = 9000\text{K}$, $\log(g) = 4.0$, microturbulent velocity = 2.0km/sec , $[\text{Fe}/\text{H}] = 0.0$ model is included on the ftp site so that you can see how to modify these files to run on SPECTRUM. You must also add, once the Kurucz header has been removed, an initial line with the effective temperature, $\log(g)$, $[\text{M}/\text{H}]$ and number of depths, as follows for the included model:

```
9000.0 4.00 0.00 64
```

A program, called EXTRACT has been included on the ftp site) which will extract a given model from the Kurucz distribution files (such as APOOK2.DAT) and put it into the correct format for SPECTRUM. A program, called CDEXT, performs the same functions as EXTRACT, but for Kurucz's models on CDROM. This program is also on the ftp site; EXTRACT will not work with the CDROM models. Note that SPECTRUM can actually handle models with up to 100 layers.

SPECTRUM comes with three other auxiliary data files, line.adj, which is a spectral line list (with energy levels, „adjusted“ oscillator strengths and empirical damping constants) for the interval 3800Å to 4500Å, atom.dat, which includes data for the atoms and molecules presently supported by SPECTRUM, and propbm.dat, which includes data necessary for calculating the hydrogen-line profiles.

To run SPECTRUM, copy the files spectrum.exe, dos4gw.exe, line.adj, atom.dat and propbm.dat to the same directory on your hard disk. You may copy the models to that directory or any other convenient directory. The file dos4gw.exe is the „DOS-extender“ (from Rational Systems), and should be in the same directory as SPECTRUM (or reachable on the path). Then, type „spectrum“ at the DOS prompt, and the program will prompt you for the following information:

Enter name of stellar atmosphere data file.

Here you should enter the path plus name of the suitably modified Kurucz atmosphere model. Examples included on ftp site: sun.dat or 09000402.dat.

Enter name of line list file: Default = line.adj

If you wish to use the provided line.adj line list, simply hit return. If you have compiled your own list (it must be in the same format as line.adj - see [technical details](#)), simply enter its name here.

Enter name of output file

Enter here the path plus name of your desired output file, which will contain the computed synthetic spectrum. For details of the format of this output file, see technical details.

Enter microturbulence (km/s)

The Kurucz models provided on the ftp site have been calculated (with the exception of the solar model) with a microturbulence of 2 km/s, and so to be entirely consistent, one should only enter 2.0 here. However, slight departures from 2.0 km/sec may be used. Kurucz has calculated entire model grids with microturbulent velocities ranging from 0 to 8 km/s. See [technical details](#). Please contact Robert Kurucz directly for his most up-to-date models.

Enter beginning and ending wavelengths e beginning and ending wavelengths of the desired synthetic spectrum should be entered here in Angstroms. The file line.adj coverst the interval 3800.0 to 4500.0 Angstroms. Example: 3800.0,4500.0

Enter wavelength step

The normalized intensity is calculated by SPECTRUM once every wavelength step. To reproduce the profiles of the lines accurately, this step size should be no larger than 0.02 Angstroms. For accurate reproduction of a high dispersion, high resolution spectrum, such as the Procyon atlas, I recommend an interval of 0.01. If you are only going to use the synthetic spectrum to produce smoothed, low resolution (2 Angstrom resolution or lower) spectra, then you can get away with an interval of 0.05 Angstrom, and the line strengths in the smoothed spectrum will be hardly affected.

Would you like to change any of the elemental abundances? (y/n) The normal answer to this is „n“, and then SPECTRUM begins its work. However, you can answer „y“, and then SPECTRUM prompts you with:

Enter atomic number of element Enter, for instance, 26, for iron (no decimal point!), and then SPECTRUM will prompt you with Please enter new abundance for element 26. Curent-
 $\log(N/N_{\text{total}}) = -4.37$

If you decide you want to retain the current abundance (listed in atom.dat), just hit return. If not, then enter a new abundance, and hit return. Note that the abundances are not on the normal abundance scale where the abundance of hydrogen is 12.0.

The conversion between the abundance scale used by SPECTRUM (and Kurucz's stellar atmospheres program, ATLAS) and the normal abundance scale is simple, and is described in the technical details. Note that you cannot change the abundances of hydrogen or helium this way. If you are using a hydrogen-deficient model with SPECTRUM, say, then you must edit atom.dat and change the hydrogen and helium abundances in that file.

Would you like to change another elemental abundance? (y/n) which you can answer either „y" or „n" to. Of course, if you are consistently using a non-standard set of abundances, you can simply edit the file atom.dat, and then you do not have to go through this process every time.

Once you have responded in a sensible way to all of the above prompts, then SPECTRUM will begin its calculations, and you simply have to sit back and relax. SPECTRUM will first do some preliminary calculations - i.e. it first computes the partition functions (from polynomial approximations) for all species at all 64 levels and stores them in memory. It then solves the ionization balance equations (including the formation and dissociation of the relevant diatomic molecules) at all levels, and stores those numbers. It then calculates the reference opacities, and then finally begins stepping through the spectrum. As SPECTRUM steps through the spectrum it prints to the screen the current wavelength, plus two other numbers which refer to the number of spectral lines that it is actively computing at that wavelength. Of course, the actual spectrum is stored in the output file. This output file may be smoothed to any desired resolution with the SMOOTH or BSMOOTH programs provided on the ftp site.

B. SPECTRUM Switches

The mode of operation of SPECTRUM can be changed with the use of „command-line switches". The default mode of SPECTRUM, which is invoked by simply typing „spectrum" at the C:> prompt gives, as output, the disk-integrated normalized-intensity spectrum. The output file is an ASCII file with two columns. The first column is the wavelength in angstroms, and the second column is 1.0 - normalized intensity. This default behavior can be changed by the addition of switches:

Switch /b : Typing „spectrum /b" at the C:> prompt will cause SPECTRUM to output the synthetic spectrum in binary format. The advantage of this is that the output file will be much smaller (by a factor of about 5) than the default ASCII output file. You can access this file by using the program BSMOOTH included on the Distribution disk. See Part IV of this documentation for more details.

Switch /n : In the default mode, SPECTRUM prints to the screen certain information, such as the current wavelength and the number of spectral lines currently under computation. You may want to turn this screen output off. This can be accomplished by switch „/n".

Switch /f : This switch causes SPECTRUM to output the absolute flux instead of the disk integrated normalized intensity. See technical details.

Switch /m : Invokes the specific intensity mode. This allows you, for instance, to calculate the center-of-disk solar spectrum, or the emergent spectrum at any other point on the disk..

Switch /a : Prompts the user to supply the name of a custom atom.dat file. This is especially useful if the user is using a non-standard set of abundances. All modes will prompt you for the same information, except the specific intensity mode will also ask you for a value of the parameter mu, which is defined as $\mu = \cos(\theta)$. For instance, for a center-of-disk spectrum, $\theta = 0$, and thus $\mu = 1$. Switches can be combined in a logical way. For instance, if you want to make SPECTRUM place its output in a binary file, and you want it to compute the absolute flux, but you do not want any information (except for the initial prompts and a few initial messages) to be output to the screen, you may enter:

spectrum /b/f/n. Notice that you should not have any spaces between the switches. But between „spectrum“ and the switches there should be at least one space. I.e. „spectrum/f“ will give you an error message.

C. Notes on running SPECTRUM

The time that SPECTRUM takes will depend on your machine and your math coprocessor. I run SPECTRUM on a 486 66Mhz Gateway machine. SPECTRUM takes about 12 minutes to compute 600A of spectrum between 3900 and 4500A with an interval of 0.02A. I have also run SPECTRUM on a 386SX 16Mhz machine with a Cyrix math coprocessor (my former office machine). SPECTRUM requires about 3 hrs on this machine to compute the same spectrum. Using SPEC16, my AT 286 10Mhz machine at home requires about 9 hours! I have recently acquired a 90 Mhz Pentium machine. SPECTRUM computes the same 600 A of spectrum in a little over 4 minutes on this machine.

SPECTRUM may be run under a batch file; I often set SPECTRUM running under batch control overnight and come back in the morning and collect a number of complete spectra. To do this, you must use what is called a „response“ file. This response file is an ASCII file which contains the responses to all of the above prompted enquiries. For instance, if you want to run SPECTRUM using model 09000402.dat, with output to file 09000402.spc, from 3900 - 4500 A, a step size of 0.02, a microturbulence of 2.0, and no changes to the abundances, the response file would look like:

```
09000402.dat
line.adj
09000402.spc
2.0
3900.0,4500.0
0.02
n
```

If this response file is spec1.rsp, and you have two other response files called spec2.rsp and spec3.rsp, then you can run the three models sequentially under batch control with the following batch file:


```
spectrum &lt spec1.rsp  
spectrum &lt spec2.rsp  
spectrum &lt spec3.rsp
```

Set the batch file running, go for lunch, and then (if all goes well) you will have three spectra on your hard disk when you return. Warning, each full spectrum (0.02A interval, 600A long) output in ASCII format is about about 660,000 bytes long. Make certain you have sufficient room on your hard drive. Output files can be archived (and condensed by about 2/3) by using the program PKZIP. Alternately, you can cause SPECTRUM to output the synthetic spectrum in binary form, by using the „/b" switch (see part B above). The binary file will be only about 125,000 bytes long. This is in such a compact form that PKZIP will not condense it any more. If you use the MSDOS Editor to make the response files, beware, it places some sort of strange control character at the end of the file, and sometimes makes the response file hang up on the very last response (i.e. 'n' in answer to 'Would you like to change any of the elemental abundances'). If you have this difficulty, just use another editor. I have had very few complaints about problems running SPECTRUM; most 386, 486 and Pentium machines are set up to run it with no modification to the autoexec.bat or config.sys files. If you do run into problems running SPECTRUM, consider the points below:

SPECTRUM is a 32-bit program, and thus uses only a small portion of the DOS accessible memory below the 640 KB DOS limit. Your config.sys file should contain, as the first two lines:

```
DEVICE=C:\DOS\HIMEM.SYS  
DOS=HIGH,UMB
```

The HIMEM.SYS driver enables your machine to switch from the 16 bit DOS real mode to 32 bit protected mode when SPECTRUM loads into memory. SPECTRUM will not run if the config.sys file does not install himem.sys. Do not load himem.sys into high memory. SPECTRUM will run with the EMM386.exe device driver, but I have found that certain switches (especially 640 RAM) cause SPECTRUM to behave in a very curious way, and should be avoided. If you can manage, just don't load EMM386 at all. There should be no need to change anything in your autoexec.bat file. If you have problems running SPECTRUM, I am willing to try to help you sort those problems out via email, although I warn you ahead of time that I am not an expert on IBM compatible computers (or any other type of computer!)

REFERENCES:

- Barnard, A.J., Cooper, J. and Smith, E.W. 1974, J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer, 14, 1025-1077.
Blackwell, D.E. and Shallis, M.J. 1979, MNRAS 186, 673.
Corliss, C.H. and Bowman, W.R. 1962, „Experimental Transition Probabilities for Spectral Lines of Seventy Elements", National Bureau of Standards Monograph 53.
Danylewych & Nicholls 1977, Proceedings of the Royal Society of London.

- Fuhr, J.R., Martin, G.A., Wiese, W.L. and Younger, S.M. 1981, „Atomic Transition Probabilities for Iron, Cobalt and Nickel (A Critical Data Compilation of Allowed Lines)“, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Vol 10, No. 2, pp 305-565 (part of reference J).
- Grevesse, N. and Sauval, A.J. 1973, *A&A* 27, 29.
- Griffin, R. and Griffin, R. 1979, „A Photometric Atlas of Procyon“, Cambridge, England.
- Kato, K. and Sadakane, K. 1982, *A&A* 113, 135.
- Kovacs, I. 1969, „Rotational Structure in the Spectra of Diatomic Molecules“, (New York: American Elsevier).
- Kurucz, R.L. 1991, in IAU Symposium 149, *The Stellar Populations of Galaxies*, Angra do Reis, Brazil.
- Kurucz, R.L. and Peytremann 1975, *Smithsonian Astrophysical Observatory Special Report No. 362*.
- Moore, C.E., Minnaert, M.G.J. and Houtgast, J. 1966, „The Solar Spectrum, 2935 Å to 8770 Å“, *NBS Monograph #61*, U.S. Government Printing Office, Washington D.C.
- Wiese, W.L. and Fuhr, J.R. 1975, „Atomic Transition Probabilities for Scandium and Titanium (A Critical Data Compilation of Allowed Lines)“, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Vol 4, No. 2, pp 263-352. (part of reference J)
- Wiese, W.L., Smith, M.W. and Glennon, B.M. 1966, „Atomic Transition Probabilities, Vol I: Hydrogen through Neon“, *National Standard Reference Data Series, NSRDS-NBS 4*. (reference N1)
- Wiese, W.L., Smith, M.W. and Miles, B.M. 1969, „Atomic Transition Probabilities, Vol II: Sodium through Calcium“, *National Standard Reference Data Series, NSRDS-NBS 22*. (reference N2)
- Younger, S.M., Fuhr, J.R., Martin, G.A. and Wiese, W.L. 1978, „Atomic Transition Probabilities for Vanadium, Chromium, and Manganese (A Critical Data Compilation of Allowed Lines)“, *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, Vol 7, No. 2, pp 495-629. (part of reference J)

Unser FG-Rundbrief ab 2001

(v. Ernst Pollmann)

Ab November 2000 wird mir die Möglichkeit, unseren FG-Rundbrief weiterhin kostenfrei zu kopieren, versagt sein. Wir werden somit nach neuen Wegen suchen müssen, das Kopieren auf andere Weise zu realisieren. Sollte es sich ergeben, daß sonst niemand in der FG die Möglichkeit des kostenfreien kopierens hat, wird wohl nur die Vervielfältigung in einem Kopiershop übrigbleiben. Dies würde unausweichlich eine Erhöhung des Bezugspreises von SPEKTRUM zur Folge haben (voraussichtlich 5,-DM, ohne Porto).

Deshalb bitte ich die Mitglieder der FG-Gemeinschaft um Kenntnisnahme dieses Sachverhaltes und zugleich um Mitteilung, falls sich doch bei jemandem die Möglichkeit des kopierens auftut.