

Waltraut Carola Seitter

Atlas für Objektiv-  
prismenspektren

Atlas for Objective  
Prism Spectra

BONNER SPEKTRAL-ATLAS I

VERÖFFENTLICHUNGEN DER ASTRONOMISCHEN INSTITUTE BONN

---

WALTRAUT CAROLA SEITTER

ATLAS

FÜR

OBJEKTIV PRISMEN SPEKTREN

BONNER SPEKTRAL ATLAS I



---

FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN

WALTRAUT CAROLA SEITTER

ATLAS

FÜR

OBJEKTIV PRISMEN SPEKTREN

BONNER SPEKTRAL ATLAS I

PLEASE ASK A SUBJECT LIBRARIAN  
ON THIS FLOOR FOR THE BOX OF  
CHARTS THAT ACCOMPANIES THIS  
BOOK



PRESTON POLYTECHNIC, L.L.R.S.

3427701522

ACCESSION No.		252098
✓	CLASS No.	SEI
	523.87	
	21 APR 1978	
O/S	N	CATEGORY
✓		Rel



ISBN 3 427 70151 4

Alle Rechte, insbesondere auch die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Verfilmung und Radiosendung sowie jede Art der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, auch auszugsweise, vorbehalten.

© 1970 FERD. DÜMMLERS VERLAG, BONN, Kaiserstraße 31-37, West Germany

Satz und Druck des Textes: Hans Richarz, Niederpleis/Bonn

Lichtdruck der Spektraltafeln: E. Schreiber, Graphische Kunstanstalten, Stuttgart

Buchbinderarbeiten: H. Wennberg GmbH., Stuttgart

Meinen Bonner Lehrern  
FRIEDRICH BECKER  
und  
HANS SCHMIDT  
gewidmet

## VORWORT

Der Spektralatlas konnte fertiggestellt werden, weil eine große Zahl von interessierten und fähigen Mitarbeitern, Kollegen und Firmen dazu beigetragen hat.

An erster Stelle gebührt der Dank *Frau Alice Lindner-Koch*. In allen Entwicklungsstadien des Atlas war ihre intelligente und geduldige Mitarbeit unerlässlich. Sie assistierte bei allen photographischen Laborarbeiten, sie führte die mühsame Beschriftung der Spektraltafeln aus und war ebenso bei den tabellari-schen und schriftlichen Arbeiten eine zuverlässige Hilfe.

*Frau Helga Hagen* nahm zeitweise an den photographischen Arbeiten teil. *Frau Ingeborg Marx* fertigte mit Sorgfalt das Druckmanuskript an.

Die Anregung zum Spektralatlas stammt von *Professor Dr. Hans Schmidt*. Seine Unterstützung und Beratung, wie die seines Vorgängers im Amt des Direktors der Bonner Universitätssternwarte, *Professor Dr. Friedrich Becker*, waren von großer Bedeutung für den Fortgang des Projekts.

Meine Bonner Kollegen und zahlreiche Kollegen aus mehreren Ländern halfen durch kritische Durchsicht des Manuskripts in verschiedenen Stadien. Insbesondere sei *Professor Dr. William Bidelman* gedankt, der wertvolle Hinweise während der Entstehung des Atlas gab und wichtige Ergänzungen zur endgültigen Fassung des Textes machte.

*Professor Dr. W. W. Morgan* teilte freundlicherweise die Daten einiger bisher nicht veröffentlichter Standardsterne mit.

Die Liste der Helfer wäre sehr unvollständig ohne die Nennung zweier Firmen.

Die *Graphischen Kunstdruckanstalten E. Schreiber, Stuttgart* haben mit ihrer Leitung wie mit dem gesamten Personal der Abteilung Lichtdruck beim Herstellen der Bildtafeln eine an Entgegenkommen und Qualität des Resultats nicht zu überbietende Leistung erbracht.

*Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn* bewies in hohem Maße sein großes Interesse und sein bedeutendes verlegerisches Können in allen Punkten der Arbeit.

Für die ausgezeichnete Zusammenarbeit gebührt den genannten Unternehmen besonderer Dank.

Die *Deutsche Forschungsgemeinschaft* hat den Spektralatlas finanziell unterstützt. Ihr sei sowohl für die Mittel zu einer mehrjährigen Personalstelle wie für die Druckbeihilfe gedankt.

Schließlich möchte ich nicht vergessen zu erwähnen, daß mir meine neuen Arbeitgeber in den Vereinigten Staaten, *Smith College* und *University of Massachusetts* ermöglichten, an der Drucklegung der Spektraltafeln in Europa teilzunehmen.

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
VORWORT . . . . .	4
EINFÜHRUNG . . . . .	7
1. Aufgabenstellung . . . . .	7
2. Beschreibung des Atlas . . . . .	8
a) T 1 – T 3 und R 1–R 6. . . . .	8
b) S 1 – S 24 . . . . .	9
c) L 1 – L 32 . . . . .	9
d) Klassifizierungsvorgang . . . . .	10
3. Technische Daten . . . . .	10
a) Instrument . . . . .	10
b) Plattenmaterial . . . . .	11
c) Aufnahmen . . . . .	12
d) Reproduktionen . . . . .	12
VERZEICHNIS DER STANDARDSTERNE . . . . .	13
INDEX ZUM VERZEICHNIS DER STANDARDSTERNE . . . . .	17
KATALOG DER ELEMENTE . . . . .	21
LITERATURVERZEICHNIS . . . . .	3. US.

# EINFÜHRUNG

## 1. Aufgabenstellung

Der vorliegende Atlas ist der erste Teil einer Zusammenstellung und Diskussion von Objektivprismenspektren unterschiedlicher Auflösung. Er umfaßt Spektren der reziproken linearen Dispersion  $240 \text{ \AA/mm}$  bei  $H\gamma$ . Der zweite Teil wird die reziproken Dispersionen  $645$  und  $1280 \text{ \AA/mm}$  bei  $H\gamma$  enthalten. Die Darstellung der verschiedenen Dispersionen wurde gewählt, um die Änderung von brauchbaren Klassifizierungskriterien beim Übergang zu geringerer Auflösung zu untersuchen und damit nach Möglichkeit die Interpolation von Kriterien zu gestatten.

Darüber hinaus lauten die gestellten Aufgaben:

- I. die Klassifikation von Objektivprismenspektren an das MK-System anzuschließen und damit zu vereinheitlichen,
- II. die Klassifizierungsgenauigkeit innerhalb der gegebenen Grenzen dem MK-System anzupassen.

Die erste der Zielsetzungen bestimmte die Wahl der Standardsterne. Spektren aller im Johnson-Morganschen MK-Katalog von 1953 (1) aufgeführten 161 Sterntypen\*) wurden photographiert und bis auf zwei Ausnahmen im Atlas reproduziert. Das Verzeichnis der Standardsterne gibt die Nummern des HD-(Henry Draper)-Katalogs, des HR-(Bright Star)-Katalogs und die Bezeichnung innerhalb des betreffenden Sternbildes, soweit die letzteren Angaben vorhanden sind. Die folgenden Spalten enthalten Rektaszension und Deklination für die Epoche 1900.0 und die zugehörigen jährlichen Präzessionswerte nach dem HR-bzw. AGK-2 Katalog, die visuellen Größen aus dem HR-oder HD-Katalog und die im Johnson-Morganschen Katalog zugeordneten Spektraltypen und Leuchtkraftklassen. Unter Anmerkungen R ist das Vorkommen von  $H\alpha$  in Emission aufgeführt.

Die Erfüllung von Punkt zwei wurde wie folgt angestrebt:

Zur optimalen Auswertung von Objektivprismenspektren, insbesondere von solchen kleiner Dispersion, wird vorgeschlagen, eine *große Zahl von Kriterien* zu benutzen.

Je genauer eine Einzelmessung im Spektrum durchgeführt werden kann, um so weniger Messungen genügen, um die Klassifizierung innerhalb eines vorgegebenen Systems hinreichend exakt zu machen. Die Messung eines einzigen Linienprofils kann in manchen Fällen nach vorheriger Grobeinteilung zur endgültigen Klassifizierung ausreichen. Werden Schätzkriterien angewandt, wie im MKK-Atlas für Spaltspektren, dann empfiehlt sich zur Sicherung des Ergebnisses das Berücksichtigen mehrerer Kriterien.

Ein Objektivprismenspektrum ist Störungen ausgesetzt, die bei Benutzen eines Spaltspektrographen nicht auftreten oder wegen der dort meist größeren Dispersion einen geringeren Einfluß ausüben:

a) Die Wellenlängenauflösung  $\Delta\lambda$  im Spaltspektrographen wird bei vorgegebener Dispersion nur von der Spaltöffnung bestimmt und ist unabhängig von den Sichtbedingungen jederzeit in der gewünschten Weise reproduzierbar. Diese Reproduzierbarkeit ist eine wichtige Voraussetzung für die Anwendung der Morganschen Kriterien.

Bei Objektivprismenspektren ist vorwiegend die Bildruhe bei gegebener Dispersion für die erzielte Auflösung entscheidend, da die Auflösung der photographischen Platte im allgemeinen entsprechend angepaßt werden kann. Damit ist jede Aufnahme vom zufälligen atmosphärischen Zustand abhängig.

\*) Sieben zusätzliche Standards wurden freundlicherweise von W. W. Morgan übermittelt.

Die Spektren sind nicht uneingeschränkt reproduzierbar; im schlimmsten Falle werden durch mangelhafte Bildruhe die schwächeren Linien völlig verwischt.

- b) Im Spaltspektrographen wird das durch den Spalt zugelassene Himmelslicht mit dem Sternlicht zusammen dispergiert. Nur der Kontrast monochromatisches Sternlicht – monochromatisches Himmelslicht ist für die Erkennbarkeit des Spektrums entscheidend. Bei Objektivprismenaufnahmen fällt auf jede Plattenstelle eine vollständige Mischung aller im Himmelslicht vorkommenden Wellenlängen. Daraus folgt, vor allem in hellen Nächten, eine raschere Schwärzung des Untergrundes. Diese Zusatzschwärzung kann schwache Linien so weit auffüllen, daß sie im Kontinuum untergehen.
- c) Die Klassifizierung von Objektivprismenspektren wird noch durch einen weiteren Umstand erschwert. Schätzkriterien sind immer – je schwächer die Linien erscheinen, desto mehr – von der Schwärzung abhängig. Da der Vorteil einer Objektivprismenaufnahme im gleichzeitigen Erfassen einer großen Zahl von Sternen liegt, werden auf einer Platte immer auch über- und unterbelichtete Spektren zu klassifizieren sein. Geringe Dispersionen verschärfen zudem Überbelichtungseffekte noch wesentlich, da starkes Bildwachstum größere benachbarte Wellenlängenbereiche mit normaler Belichtung in die Schwärzung einbezieht. Kriterien sollten sich daher in verschiedenen Spektralbereichen unterschiedlicher Intensitäten bzw. Plattenempfindlichkeiten befinden neben der Möglichkeit, Platten unterschiedlicher Belichtungszeit zu benutzen.
- d) Bei Spektren kleiner Dispersion können erhebliche Bildfehler auftreten: Unebenheiten im Plattenkorn oder einfache Kornschwankungen, geringfügige Beschädigungen der Emulsion und Verschmutzungen durch feinste Teilchen können An- und Abwesenheit von Linien vortäuschen, insbesondere bei geringer Verbreiterung der Spektren.

Zahlreiche Beobachter benutzen nur sehr deutliche Kriterien und umgehen damit einen Teil der Schwierigkeiten. Gleichzeitig aber wird die Möglichkeit einer feinen Unterteilung der Typen stark eingeschränkt. Im vorliegenden Atlas ist daher der oben angedeutete andere Weg eingeschlagen: es werden möglichst viele, auch schwache, über einen größeren Spektralbereich verteilte Kriterien angewandt.

Mit Hilfe der Linien mehrerer Elemente von teils gleicher, teils unterschiedlicher Stärke lassen sich die Verfälschungen durch Szintillation und Anheben des Untergrundes wie auch Schwärzungseffekte teilweise erfassen: die gleichmäßige Schwächung aller ähnlich starken Linien unabhängig davon, welches Atom oder Ion sie absorbiert, kann von der Schwächung einzelner Absorptionen durch Temperatur – und Leuchtkrafteffekte unterschieden werden. Da die Schwächungen zudem eine systematische Abnahme mit wachsenden Linienstärken zeigen, können neue Schätzwerte für Platten schlechterer Qualität abgeleitet werden. In diesen Fällen sollen die unter 2 c) näher erläuterten Intensitätsangaben der Spektraltafeln als erste Näherung dienen.

Die detaillierte Darstellung der Spektren im vorliegenden Atlas findet ihre hauptsächliche Begründung in den oben erwähnten Gesichtspunkten.

## 2. Beschreibung des Atlas

Die Photographien der Spektren sind in drei Gruppen a) – c) eingeteilt.

### a) T 1 – T 3 und R 1 – R 6

Zur Orientierung darüber, wieviel Linien in einem Originalspektrum zu erkennen sind, wurden die Tafeln T 1 – T 3 hergestellt. Da durch die Wiedergabe im Druck zahlreiche Linien verlorengehen – die Druckbilder sind die sechste Wiedergabe einschließlich des Originals –, sind jedem Spektrum schematische Linienbilder zur Seite gestellt, die die Lage der gemessenen Absorptionen anzeigen. Gleichzeitig

sollen die Zeichnungen dem ungeübten Betrachter als Anleitung dazu dienen, sein Auge auf sehr feine Einzelheiten zu trainieren.

Bei der kleinen Dispersion sind besonders in den späten Typen fast alle Absorptionen Blends mehrerer Linien. Es wurde angestrebt, jeweils alle in der Literatur angegebenen beitragenden Atome und Ionen zu verzeichnen. Leider war nicht immer festzustellen, welche Elemente den Hauptanteil liefern. Die Tafeln T 1 und T 2 geben daher lediglich Überblicke über das Vorkommen von Linien und Elementen ohne Hinweise auf die Intensitäten. Die Tafel T 3 dagegen stellt einen Stern vom Sonnentypus dar; hier konnte die Identifizierung vom sehr genau gemessenen Sonnenspektrum nach Moore, Minnaert und Houtgast (2) ausgehen.

Zunächst wurde die große Auflösung der zitierten Arbeit der Auflösung der vorliegenden Spektren bei mittlerer Bildqualität angepaßt (das entspricht etwa der Plattenauflösung, s. Fig. I). Dazu mußten die Intensitäten aller in der Tabelle angegebenen Linien über einen entsprechenden Wellenlängenbereich addiert werden. Zur Vereinfachung der Rechnung wurde die kontinuierliche Änderung des Auflösungsvermögens in Stufen angenähert: die Bereiche umfassen  $1 \text{ \AA}$  im Ultravioletten bis  $20 \text{ \AA}$  im Infraroten. Die Ergebnisse sind in den Tafeln R 1 – R 6 dargestellt. Selbstverständlich erforderte jede Erweiterung der aufsummierten Wellenlängenbereiche eine entsprechende Reduzierung der Intensitätsskalen. Die Übergänge von einer Stufe zur anderen sind jeweils durch den Wechsel zwischen gestrichelten und ausgezogenen Linien angezeigt.

Die Wellenlängen der wichtigsten zu einem Blend beitragenden Linien sind in die Tafeln R 1 – R 6 eingetragen, ihre Intensitäten durch die Länge der zugehörigen Pfeile von den Enden bis zur Nulllinie (Kontinuum) symbolisiert.

Die Zeichnungen lassen erkennen, daß mit abnehmender Auflösung selbst starke Linien so verschmiert werden, daß sie sich immer schlechter vom Kontinuum abheben.

Mit Hilfe der genauen Intensitätsangaben konnte die Tafel T 3 vollständiger gestaltet werden. In den schematischen Linienbildern sind die Blends mit Strichdicken eingetragen, die den vorher errechneten Gesamtintensitäten entsprechen. Die unterschiedliche Bedeutung der beitragenden Linien ist durch die Dicke der Umrandungskästchen für die Wellenlängenangaben gekennzeichnet. Auf Tafel T 3 erläutert eine Tabelle den Zusammenhang zwischen Strichdicke und den Intensitätswerten der zitierten Arbeit über das Sonnenspektrum.

Auf allen Tafeln T 1 – T 3 sind die Elemente und Wellenlängenangaben in Zeilengruppen zusammengefaßt. Am linken Rand der Blätter sind die zugehörigen Anregungs- oder Ionisationsenergien der unteren Niveaus der betreffenden Übergänge angegeben.

#### b) S 1 – S 24

Die Tafeln S 1 – S 24 illustrieren den Gang der Spektraltypen von heißen zu kühleren Sternen innerhalb aller sieben Leuchtkraftklassen. Jedes Blatt zeigt am oberen und unteren Ende der jeweiligen Spektralsequenz ein Linienbild, das dem nächstliegenden Spektrum entspricht und die Linienidentifizierung erleichtern soll. Die meisten Absorptionen, auch solche, die nur schwach erkennbar sind, wurden eingetragen und identifiziert. Es sind nach Möglichkeit nur die stärksten beitragenden Elemente zu einem Blend mit ihren Wellenlängen angegeben.

#### c) L 1 – L 32

Auf den Tafeln L 1 – L 32 werden die Spektren gleichen Spektraltyps und unterschiedlicher Leuchtkraftklassen miteinander verglichen. Jedes abgebildete Spektrum ist durch ein schematisches Linienbild ergänzt, in das diejenigen Linien eingetragen sind, die als Klassifizierungskriterien (Linienidentifizierung im *oberen* Teil des Blattes) oder zum Intensitätsvergleich mit den Klassifizierungslinien (Linienidentifizierung im *unteren* Teil des Blattes) wichtig sind. Alle Absorptionen sind mit einer geschätzten Intensitätsangabe versehen.

Um Belichtungsunterschiede zwischen den Aufnahmen zum Teil zu kompensieren, wurden bei den frühen Typen bis F0 die Schätzwerte auf das hier gut belichtete atmosphärische A-Band bezogen. Bei Typen später als F0 ist dieser Wellenlängenbereich oft so stark überbelichtet, daß das A-Band nicht zu erkennen ist. Hier wurde die Stärke von He plus H als Standard gewählt, da diese Absorption keine merkliche Leuchtkraftabhängigkeit zeigt. Die Intensität von He plus H wurde für jede Karte mit der mittleren Erscheinung des A-Bandes in den frühen Spektren verglichen und so an die Schätzskaala dieser Typen angeschlossen.

Auf Fehler in den Schätzwerten verursachende Einflüsse von Belichtung und Szintillation wurde schon hingewiesen. Ebenso auf die zunehmend schlechtere Definition von Linien beim Übergang zu kleineren Dispersionen, verursacht durch die Verschmierung von Linie und Kontinuum. Die Unsicherheiten in den angegebenen Zahlwerten sind entsprechend groß. Eine besondere Schwierigkeit lag darin, das System der Schätzwerte innerhalb einer Tafel und von einer Tafel zur anderen gleichförmig und widerspruchsfrei zu halten. Trotz großer Sorgfalt und wiederholtem Nachprüfen können die eingetragenen Zahlen mit Fehlern behaftet sein. Die Intensitätsschätzungen beruhen nur auf den abgebildeten Spektren.

Der Benutzer kann mit den angegebenen Schätzwerten zahlreiche *Intensitätsverhältnisse* bilden, indem er jeweils eine Linie mit mehreren anderen vergleicht. Belichtungs- und Szintillationseffekten am wenigsten ausgesetzt sind eng benachbarte Linien mit dem Intensitätsverhältnis eins. Linienpaare, für die bei einer bestimmten Leuchtkraftklasse das Verhältnis gleich eins wird, sind auf den Tafeln angegeben.

Weitere Hinweise, die das Klassifizieren erleichtern sollen, sind ebenfalls eingetragen.

#### d) Klassifizierungsvorgang

- I. Durch das Einpassen des unbekanntes Spektrums in eine der unter S 1 – S 24 aufgeführten Sequenzen kann eine Grobklassifizierung des Spektraltyps und der Leuchtkraftklasse gleichzeitig erfolgen.
- II. Die vorläufige Einordnung grenzt eine kleine Gruppe innerhalb der Tafeln L 1 – L 32 ab, in denen das ähnlichste Spektrum auftritt. Es wird beim Vergleich des unbekanntes Spektrums mit den Aufnahmen der Vorauswahl dadurch gefunden, daß eine möglichst große Zahl von Intensitätsverhältnissen in beiden Spektren übereinstimmen muß.  
Abschätzungen von feineren Unterteilungen, als sie die reproduzierten Abbildungen bieten, sind in manchen Fällen möglich.

### 3. Technische Daten

#### a) Instrument

Beobachtungsinstrument war das 340/500/1375mm-Schmidt-Teleskop des Observatoriums Hoher List der Universitäts-Sternwarte Bonn. Die Daten des für den ersten Atlas-Teil benutzten Prismas sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Tabelle 1

Glassorte	Brechungsindex bei h			brechender Winkel
F3	1.62464			7°31
Reziproke lineare Dispersion in Å/mm bei verschiedenen Wellenlängen				
λ 3500	λ 3700	Hγ	Hα	λ 8000
85	120	240	850	1680

Die Wellenlängenauflösung  $\Delta\lambda$  (Abstand gemessen in  $\text{\AA}$ , bei dem zwei Linien noch getrennt erscheinen) in den verschiedenen Spektralbereichen bei unterschiedlicher Bildruhe kann der Abbildung I entnommen werden.

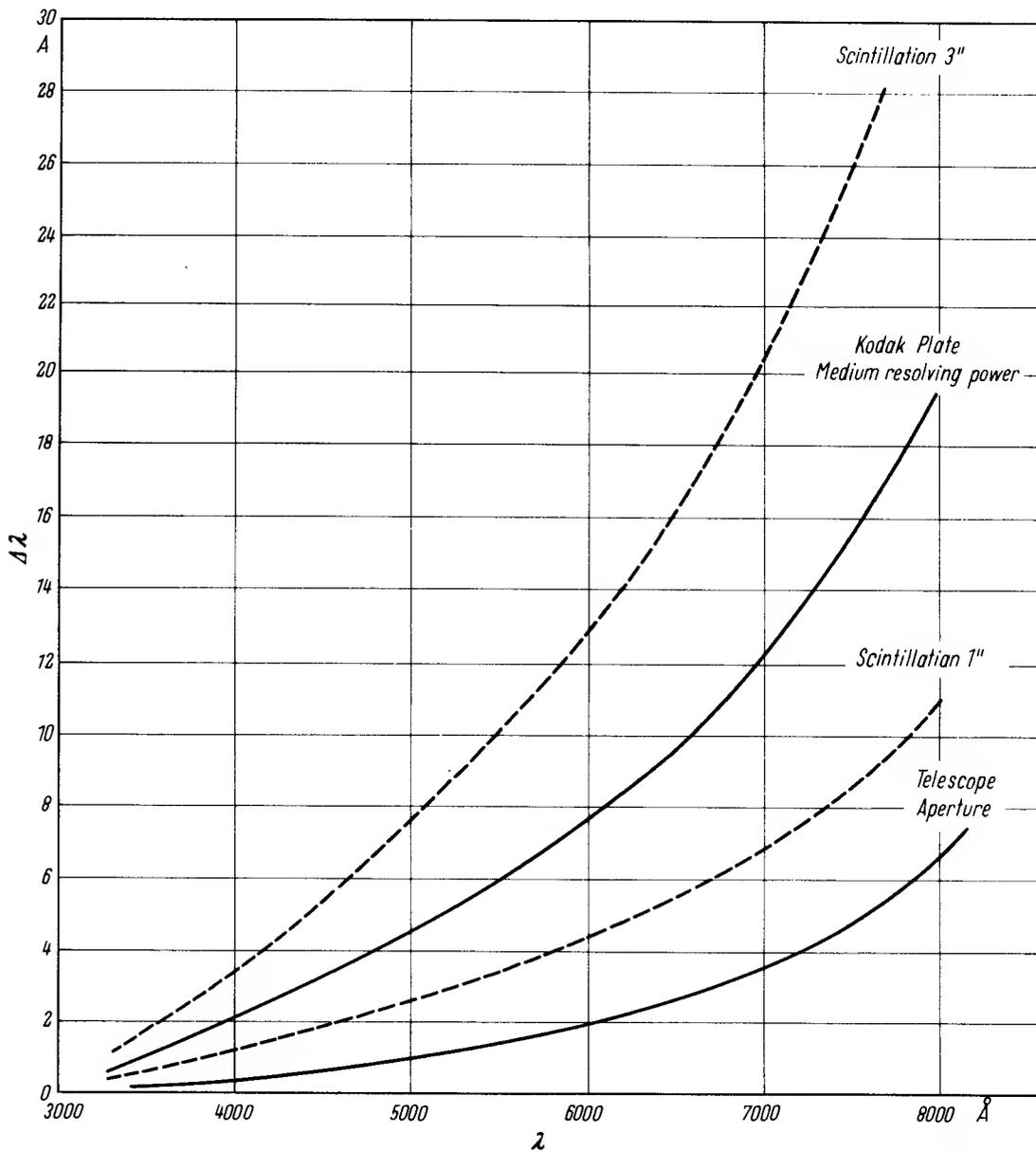


Fig. 1 Die Wellenlängenauflösung  $\Delta\lambda$  in  $\text{\AA}$  als Funktion der Wellenlänge  $\lambda$  bei einer reziproken linearen Dispersion von  $240 \text{ \AA}/\text{mm}$  bei  $H\gamma$  und bestimmten Annahmen über Fernrohröffnung (= 34 cm), Plattenkorn und Szintillation

#### b) Plattenmaterial

Versuche mit Kodak Ila-O Platten, Perutz Astro Platten, Adox und Perutz  $17^\circ$  Panchromatischem Film, Kodak 103a-F Platten und Kodak I-N Platten ergaben die Werte der Tabelle 2.

Eine der hervorragenden Eigenschaften eines Schmidt-Spiegels ist die ausgezeichnete Fokussierung vom Infraroten bis ins Ultraviolett. Die I-N Platte hat die Emulsion größter spektraler Breite, die ohne zu-

sätzliche Sensibilisierung benutzt werden kann. Leider tritt zwischen 5000 Å und 6500 Å eine breite Empfindlichkeitslücke auf, während zwischen 6500 Å und 9000 Å die Dispersion schon so gering ist, daß nicht mehr viele Einzelheiten zu erkennen sind. Trotzdem verzichteten wir aus folgenden Gründen auf die 103a-F Platte, die von 5000 Å bis 6700 Å bedeutend empfindlicher ist:

Emissionslinien, die in sehr frühen Objekten z. B. Of- und WR-Sternen und in Novae auftreten, sind auch im langwelligsten Teil des Spektrums sehr gut zu erkennen.

Bei B-Sternen sind im Infraroten und Roten die Heliumlinien, bei den mittleren Sterntypen ist das OI 7774 Triplett, ein guter Leuchtkraftindikator, gerade an der Grenze der Erkennbarkeit.

Bei den späten Sternen füllt das Strahlungsmaximum die Empfindlichkeitslücke. Während bei späten Typen eine gleichmäßig empfindliche Emulsion nur entweder den Blau- oder Rotbereich normal belichtet wiedergibt, zeigt die I-N Platte bei guter Belichtung des Bereiches 4000–4400 Å im allgemeinen eine ebenfalls brauchbare Schwärzung der Wellenlängen 4800–5600 Å.

Von besonderer Bedeutung ist das Auftreten des atmosphärischen A-Bandes bei 7600 Å, das bei den kleinen Dispersionen als Linie erscheint und als Bezugswellenlänge für Objekte mit großen Radialgeschwindigkeiten (Novae, Quasare) wichtige Dienste leistet.

Hinzu kommen die Feinkörnigkeit und der ausgezeichnete Kontrast der I-N Emulsion, die die schließliche Wahl entschieden.

Tabelle 2

Emulsion	Empfindlichkeit	Körnigkeit	Kontrast	Spektralbereich Å
Kodak Ila-O	gut-sehr gut	mäßig	mäßig	3400–5000
Perutz Astro	gut	fein	gut	3400–5000
Adok 17°	gering	sehr fein	gut	3400–5000
Perutz 17°	gering	sehr fein	gut	3400–5000
Kodak 103a-F	gut	fein	gut	3400–6700
Kodak I-N	mittel	fein-sehr fein	sehr gut	3400–9000

(Die feinkörnige und kontrastreiche IIIa-J Platte von Kodak war während des größten Teils der Atlasarbeiten noch nicht verfügbar, hätte aber die Wahl vermutlich nicht beeinflusst.)

#### c) Aufnahmen

Die Aufnahmen wurden in den Jahren 1963–1968 gewonnen. Die Belichtungszeiten liegen zwischen 1.5 Minuten und 2.5 Stunden mit einer mittleren Belichtungsdauer von 30 Minuten.

#### d) Reproduktionen

Auf den Originalnegativen haben die Spektren eine Länge von 10–15 mm und sind auf 1.1 mm = 165" verbreitert. In 9-facher Vergrößerung wurden davon Zwischenpositive auf Perutz F 04 Film (jetzt durch Agfa N 33p ersetzt) hergestellt, von denen die Papierabzüge mit insgesamt 22.5-fach vergrößerten Bildern im Negativ angefertigt werden konnten. Die Druckvorlagen sind Zusammenstellungen der Originalvergrößerungen und der Beschriftungen. Die Atlas-Tafeln haben die etwa halbe Größe der Druckvorlagen.

## LIST OF STANDARD STARS

NR.	HD	HR	NAME	RA			DEC		$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	VISUAL MAG	TYPE R	
				1900.0									
				h	m	s	o	'	s	'			
1	21 46 80	8622	10 Lac	22	34	46	+	38	32	+ 2.69	+ 0.31	4.88	O9 V
2	3 74 68	1931	$\sigma$ Ori	5	33	44	-	2	39	+ 3.01	+ 0.03	3.75	O9.5 V
3	3 65 12	1855	$\nu$ Ori	5	27	6	-	7	23	+ 2.90	+ 0.04	4.63	B0 V
4	2 47 60	1220	$\epsilon$ Per	3	51	8	+	39	43	+ 4.03	+ 0.17	2.88	B0.5 V
5	2 41 31	1191	-	3	45	30	+	34	3	+ 3.84	+ 0.18	5.76	B1 V
6	33 60	153	$\zeta$ Cas	0	31	24	+	53	21	+ 3.34	+ 0.33	3.61	B2 V
7	12 03 15	5191	$\eta$ UMa	13	43	36	+	49	49	+ 2.36	- 0.30	1.86	B3 V
8	19 81 83	7963	$\lambda$ Cyg	20	43	31	+	36	7	+ 2.34	+ 0.22	4.47	B5 V
9	2 33 38	1145	19 Tau	3	39	15	+	24	9	+ 3.57	+ 0.19	4.29	B6 V
10	8 79 01	3982	$\alpha$ Leo	10	3	3	+	12	27	+ 3.19	- 0.29	1.36	B7 V
11	21 49 23	8634	$\zeta$ Peg	22	36	28	+	10	19	+ 2.99	+ 0.31	3.47	B8 V
12	19 68 67	7906	$\alpha$ Del	20	35	0	+	15	34	+ 2.79	+ 0.21	3.77	B9 V
13	22 26 61	8988	$\omega^2$ Aqr	23	37	32	-	15	6	+ 3.11	+ 0.33	4.48	B9.5 V
14	17 21 67	7001	$\alpha$ Lyr	18	33	33	+	38	41	+ 2.03	+ 0.06	0.04	A0 V
15	17 00 73	6923	39 Dra	18	22	27	+	58	45	+ 0.88	+ 0.03	4.85	A1 V
16	12 80	63	$\theta$ And	0	11	52	+	38	8	+ 3.14	+ 0.33	4.61	A2 V
17	5 65 37	2763	$\lambda$ Gem	7	12	21	+	16	43	+ 3.45	- 0.11	3.58	A3 V
18	9 76 03	4357	$\delta$ Leo	11	8	47	+	21	4	+ 3.19	- 0.33	2.55	A4 V
19	1 16 36	553	$\beta$ Ari	1	49	7	+	20	19	+ 3.32	+ 0.29	2.65	A5 V
20	69 61	343	$\theta$ Cas	1	5	1	+	54	37	+ 3.66	+ 0.32	4.33	A7 V
21	5 89 46	2852	$\rho$ Gem	7	22	41	+	31	59	+ 3.86	- 0.12	4.16	F0 V
22	11 31 39	4931	78 UMa	12	56	26	+	56	54	+ 2.57	- 0.32	4.93	F2 V
23	2 66 90	1309	46 Tau	4	8	10	+	7	28	+ 3.23	+ 0.15	5.32	F3 V
24	21 00 27	8430	$\iota$ Peg	22	2	21	+	24	51	+ 2.79	+ 0.29	3.76	F5 V
25	17 36 67	7061	110 Her	18	41	21	+	20	27	+ 2.58	+ 0.06	4.20	F6 V
26	1 68 95	799	$\theta$ Per	2	37	22	+	48	48	+ 4.10	+ 0.25	4.12	F7 V
27	98 26	458	$\nu$ And	1	30	56	+	40	54	+ 3.52	+ 0.30	4.08	F8 V
28	46 14	219	$\eta$ Cas	0	43	3	+	57	17	+ 3.63	+ 0.32	3.45	G0 V
29	11 50 43	-	-	13	9	32	+	57	14	+ 2.44	- 0.32	6.74	G1 V
30	1 03 07	483	-	1	35	42	+	42	7	+ 3.66	+ 0.30	4.94	G2 V
31	2 06 30	996	$\kappa$ Cet	3	14	7	+	3	0	+ 3.15	+ 0.22	4.82	G5 V
32	10 15 01	4496	61 UMa	11	35	47	+	34	46	+ 3.16	- 0.34	5.35	G8 V
33	18 51 44	7462	$\sigma$ Dra	19	32	33	+	69	29	- 0.12	+ 0.10	4.68	K0 V
34	2 20 49	1084	$\epsilon$ Eri	3	28	13	-	9	48	+ 2.83	+ 0.20	3.73	K2 V
35	21 91 34	8832	-	23	8	28	+	56	37	+ 2.89	+ 0.33	5.57	K3 V
36	20 10 91	8085	61 Cyg A	21	2	25	+	38	15	+ 2.69	+ 0.29	5.19	K5 V
37	BD+56°1458	-	-	10	24	2	+	56	31	+ 3.86	- 0.31	(8.9)	K7 V
38	14 73 79	-	-	16	16	29	+	67	29	+ 0.19	- 0.15	8.9	M0 V
39	9 57 35	-	-	10	57	52	+	36	36	+ 3.32	- 0.32	7.60	M2 V

NR.	HD	HR	NAME	RA			DEC		$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	VISUAL MAG	TYPE	R
				h	m	s	o	'					
40	8 86	39	$\gamma$ Peg	0	8	5	+ 14	38	+ 3.09	+ 0.33	2.83	B2 IV	
41	14 73 94	6092	$\tau$ Her	16	16	44	+ 46	33	+ 1.80	- 0.14	3.89	B5 IV	
42	1 49 51	702	$\xi$ Ari	2	19	27	+ 10	9	+ 3.22	+ 0.27	5.49	B7 IV	
43	4 71 05	2421	$\gamma$ Gem	6	31	56	+ 16	29	+ 3.47	- 0.05	1.93	A0 IV	
44	21 13 36	8494	$\epsilon$ Cep	22	11	21	+ 56	33	+ 2.21	+ 0.30	4.19	F0 IV	
45	4 32	21	$\beta$ Cas	0	3	50	+ 58	36	+ 3.20	+ 0.33	2.25	F2 IV	
46	1 14 43	544	$\alpha$ Tri	1	47	23	+ 29	6	+ 3.42	+ 0.29	3.53	F6 IV	
47	21 63 85	8697	$\sigma$ Peg	22	47	20	+ 9	18	+ 3.04	+ 0.32	5.22	F7 IV	
48	22 06 57	8905	$\nu$ Peg	23	20	23	+ 22	51	+ 2.99	+ 0.33	4.51	F8 IV	
49	15 06 80	6212	$\zeta$ Her	16	37	31	+ 31	47	+ 2.26	- 0.11	2.82	G0 IV	
50	16 17 97	6623	$\mu$ Her	17	42	33	+ 27	47	+ 2.35	- 0.03	3.35	G5 IV	
51	18 85 12	7602	$\beta$ Aql	19	50	24	+ 6	9	+ 2.95	+ 0.15	3.71	G8 IV	
52	19 81 49	7957	$\eta$ Cep	20	43	15	+ 61	27	+ 1.22	+ 0.23	3.43	K0 IV	
53	22 24 04	8974	$\gamma$ Cep	23	35	14	+ 77	4	+ 2.46	+ 0.33	3.22	K1 IV	
54	3 70 43	1899	$\iota$ Ori	5	30	32	- 5	59	+ 2.94	+ 0.04	2.77	O9 III	
55	4 84 34	2479	-	6	38	22	+ 4	2	+ 3.17	- 0.06	5.74	B0 III	
56	18 49 15	7446	$\kappa$ Aql	19	31	31	- 7	15	+ 3.23	+ 0.13	4.96	B0.5III	
57	2 31 80	1131	$\sigma$ Per	3	38	3	+ 31	58	+ 3.76	+ 0.19	3.82	B1 III	
58	21 49 93	8640	12 Lac	22	37	0	+ 39	42	+ 2.69	+ 0.31	5.22	B2 III	
59	2 14 83	-	-	3	22	38	+ 30	2	+ 3.68	+ 0.21	7.06	B3 III	
60	2 29 28	1122	$\delta$ Per	3	35	48	+ 47	28	+ 4.27	+ 0.19	2.99	B5 III	
61	19 58 10	7852	$\epsilon$ Del	20	28	26	+ 10	58	+ 2.87	+ 0.20	3.98	B6 III	
62	2 36 30	1165	$\eta$ Tau	3	41	32	+ 23	48	+ 3.57	+ 0.19	2.86	B7 III	$\alpha$
63	2 38 50	1178	27 Tau	3	43	13	+ 23	45	+ 3.57	+ 0.18	3.62	B8 III	
64	17 64 37	7178	$\gamma$ Lyr	18	55	12	+ 32	33	+ 2.24	+ 0.08	3.25	B9 III	
65	18 68 82	7528	$\delta$ Cyg	19	41	51	+ 44	53	+ 1.87	+ 0.15	2.92	B9.5III	
66	12 32 99	5291	$\alpha$ Dra	14	1	41	+ 64	51	+ 1.63	- 0.29	3.64	A0 III	
67	5 00 19	2540	$\theta$ Gem	6	46	12	+ 34	5	+ 3.95	- 0.07	3.59	A3 III	
68	15 95 61	6556	$\alpha$ Oph	17	30	18	+ 12	38	+ 2.78	- 0.04	2.08	A5 III	
69	12 77 62	5435	$\gamma$ Boo	14	28	3	+ 38	45	+ 2.42	- 0.26	3.03	A7 III	
70	14 75 47	6095	$\gamma$ Her	16	17	31	+ 19	23	+ 2.65	- 0.14	3.74	A9 III	
71	8 90 25	4031	$\zeta$ Leo	10	11	8	+ 23	55	+ 3.34	- 0.30	3.43	F0 III	
72	1 31 74	623	14 Ari	2	3	44	+ 25	28	+ 3.42	+ 0.28	5.01	F2 III	
73	2 17 70	1069	36 Per	3	25	30	+ 45	43	+ 4.16	+ 0.20	5.30	F4 III	
74	11 18 12	4883	31 Com	12	46	50	+ 28	5	+ 2.92	- 0.33	4.95	G0 III	
75	2 70 22	1327	-	4	11	16	+ 64	54	+ 5.65	+ 0.15	5.27	G5 III	
76	14 88 56	6148	$\beta$ Her	16	25	55	+ 21	42	+ 2.58	- 0.13	2.83	G8 III	
77	18 12 76	7328	$\kappa$ Cyg	19	14	48	+ 53	11	+ 1.39	+ 0.11	3.84	K0 III	
78	13 77 59	5744	$\iota$ Dra	15	22	42	+ 59	19	+ 1.34	- 0.21	3.26	K2 III	
79	36 27	165	$\delta$ And	0	33	59	+ 30	19	+ 3.21	+ 0.33	3.21	K3 III	
80	13 18 73	5563	$\beta$ UMi	14	51	0	+ 74	34	- 0.17	- 0.25	2.08	K4 III	

NR.	HD	HR	NAME	RA			DEC		$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	VISUAL MAG	TYPE	R
				1900.0									
				h	m	s	o	'	s	'			
81	29139	1457	$\alpha$ Tau	4	30	11	+	16	18	+ 3.44	+ 0.12	0.86	K5 III
82	6860	337	$\beta$ And	1	4	8	+	35	5	+ 3.36	+ 0.32	2.03	M0 III
83	119228	5154	83 UMa	13	36	57	+	55	11	+ 2.28	- 0.30	4.73	M2 III
84	207198	8327	—	21	42	8	+	62	0	+ 1.65	+ 0.28	5.96	O9 II
85	36486	1852	$\delta$ Ori	5	26	54	-	0	22	+ 3.07	+ 0.04	2.20	O9.5II
86	43818	—	—	6	13	14	+	23	31	+ 3.65	- 0.02	7.03	B0 II
87	199216	—	—	20	50	38	+	49	9	+ 1.94	+ 0.23	7.13	B1 II
88	52089	2618	$\epsilon$ CMa	6	54	42	-	28	50	+ 2.36	- 0.08	1.50	B2 II
89	51309	2596	$\iota$ CMa	6	51	41	-	16	55	+ 2.68	- 0.08	4.38	B3 II
90	53244	2657	$\gamma$ CMa	6	59	14	-	15	29	+ 2.71	- 0.09	4.10	B8 II
91	43836	—	—	6	13	18	+	23	19	+ 3.65	- 0.02	7.03	B9 II
92	34578	1740	19 Aur	5	13	25	+	33	51	+ 3.96	+ 0.06	5.03	A5 II
93	25291	1242	—	3	56	7	+	58	53	+ 5.00	+ 0.17	5.03	F0 II
94	164136	6707	$\nu$ Her	17	54	41	+	30	12	+ 2.30	+ 0.00	4.48	F2 II
95	195295	7834	41 Cyg	20	25	19	+	30	2	+ 2.45	+ 0.20	4.02	F5 II
96	84441	3873	$\epsilon$ Leo	9	40	11	+	24	14	+ 3.40	- 0.28	2.96	G0 II
97	159181	6536	$\beta$ Dra	17	28	10	+	52	23	+ 1.36	- 0.04	2.87	G2 II
98	173764	7063	$\beta$ Sct	18	41	52	-	4	51	+ 3.18	+ 0.06	4.22	G5 II
99	202109	8115	$\zeta$ Cyg	21	8	41	+	29	49	+ 2.55	+ 0.25	3.20	G8 II
100	180809	7314	$\theta$ Lyr	19	12	54	+	37	57	+ 2.08	+ 0.11	4.35	K0 II
101	163770	6695	$\theta$ Her	17	52	49	+	37	16	+ 2.06	- 0.01	3.84	K1 II
102	39400	2037	56 Ori	5	47	15	+	1	50	+ 3.12	+ 0.01	4.78	K2 II
103	186791	7525	$\gamma$ Aql	19	41	30	+	10	22	+ 2.85	+ 0.15	2.62	K3 II
104	210809	—	—	22	7	50	+	51	56	+ 2.28	+ 0.30	7.7	O9 Ib
105	209975	8428	19 Cep	22	2	4	+	61	48	+ 1.85	+ 0.29	5.10	O9.5Ib
106	204172	8209	69 Cyg	21	21	42	+	36	14	+ 2.45	+ 0.26	5.95	B0 Ib
107	213087	8561	26 Cep	22	23	52	+	64	37	+ 1.93	+ 0.31	5.46	B0.5Ib
108	24398	1203	$\zeta$ Per	3	47	51	+	31	35	+ 3.77	+ 0.18	2.83	B1 Ib
109	193183	—	—	20	13	42	+	37	55	+ 2.20	+ 0.19	7.12	B1.5Ib
110	206165	8279	9 Cep	21	35	14	+	61	38	+ 1.61	+ 0.27	4.72	B2 Ib
111	42087	2173	3 Gem	6	3	40	+	23	8	+ 3.64	- 0.01	5.76	B2.5Ib
112	164353	6714	67 Oph	17	55	38	+	2	56	+ 3.00	+ 0.00	3.97	B5 Ib
113	208501	8371	13 Cep	21	51	31	+	56	8	+ 2.02	+ 0.28	5.79	B8 Ib
114	35600	1804	—	5	20	44	+	30	7	+ 3.84	+ 0.05	5.65	B9 Ib
115	46300	2385	13 Mon	6	27	30	+	7	24	+ 3.24	- 0.04	4.48	A0 Ib
116	207673	8345	—	21	45	36	+	40	41	+ 2.44	+ 0.28	6.42	A2 Ib
117	210221	8443	—	22	3	44	+	52	49	+ 2.22	+ 0.29	6.14	A3 Ib
118	59612	2874	—	7	25	37	-	22	49	+ 2.55	- 0.12	4.85	A5 Ib
119	36673	1865	$\alpha$ Lep	5	28	19	-	17	54	+ 2.65	+ 0.04	2.59	F0 Ib

NR.	HD	HR	NAME	RA			DEC		$\Delta\alpha$	$\Delta\delta$	VISUAL MAG	TYPE	R	
				h	m	s	o	'						s
120	18 28 35	7387	$\nu$ Aql	19	21	24	+	0	8	+ 3.07	+ 0.12	4.64	F2 Ib	
121	2 09 02	1017	$\alpha$ Per	3	17	11	+	49	30	+ 4.29	+ 0.21	1.79	F5 Ib	
122	19 40 93	7793	$\gamma$ Cyg	20	18	38	+	39	56	+ 2.15	+ 0.19	2.24	F8 Ib	
123	2 66 30	1303	$\mu$ Per	4	7	33	+	48	9	+ 4.41	+ 0.15	4.13	G0 Ib	
124	20 97 50	8414	$\alpha$ Aqr	22	0	39	-	0	48	+ 3.08	+ 0.29	2.93	G2 Ib	
125	20 68 59	8313	9 Peg	21	39	47	+	16	53	+ 2.84	+ 0.28	4.35	G5 Ib	
126	4 83 29	2473	$\epsilon$ Gem	3	37	47	+	25	14	+ 3.69	- 0.06	3.08	G8 Ib	
127	21 07 45	8465	$\zeta$ Cep	22	7	23	+	57	42	+ 2.08	+ 0.30	3.36	K1 Ib	
128	20 67 78	8308	$\epsilon$ Peg	21	39	16	+	9	25	+ 2.95	+ 0.28	2.42	K2 Ib	
129	1 75 06	834	$\eta$ Per	2	43	24	+	55	29	+ 4.38	+ 0.25	3.76	K3 Ib	
130	20 09 05	8079	$\xi$ Cyg	21	1	18	+	43	32	+ 2.18	+ 0.24	3.72	K5 Ib	
131	3 63 89	1845	119 Tau	5	26	21	+	18	31	+ 3.52	+ 0.04	4.73	M2 Ib	
132	3 63 71	1843	$\chi$ Aur	5	26	13	+	32	7	+ 3.91	+ 0.04	4.89	B5 Iab	$\alpha?$
133	20 28 50	8143	$\sigma$ Cyg	21	13	29	+	38	59	+ 2.36	+ 0.25	4.24	B9 Iab	
134	19 55 93	7847	44 Cyg	20	27	11	+	36	36	+ 2.28	+ 0.20	6.17	F5 Iab	
135	5 08 77	2580	$\phi^1$ CMa	6	49	59	-	24	4	+ 2.49	- 0.08	3.78	K3 Iab	
136	4 45 37	2289	$\psi^1$ Aur	6	17	12	+	49	20	+ 4.62	- 0.03	4.95	M0 Iab	
137	3 98 01	2061	$\alpha$ Ori	5	49	45	+	7	23	+ 3.25	+ 0.01	0.80	M2 Iab	
138	3 06 14	1542	$\alpha$ Cam	4	44	6	+	66	10	+ 5.97	+ 0.10	4.29	O9.5 Ia	$\alpha$
139	16 72 64	6822	15 Sgr	18	9	15	-	20	45	+ 3.58	+ 0.02	5.38	B0 Ia	
140	3 87 71	2004	$\kappa$ Ori	5	43	1	-	9	42	+ 2.85	+ 0.02	2.04	B0.5 Ia	
141	29 05	130	$\kappa$ Cas	0	27	19	+	62	23	+ 3.41	+ 0.33	4.15	B1 Ia	$\alpha$
142	19 06 03	7678	-	20	0	41	+	31	56	+ 2.35	+ 0.17	5.60	B1.5 Ia	$\alpha$
143	4 11 17	2135	$\chi^2$ Ori	5	57	59	+	20	8	+ 3.56	+ 0.00	4.63	B2 Ia	$\alpha?$
144	19 84 78	7977	55 Cyg	20	45	32	+	45	45	+ 2.04	+ 0.22	4.83	B3 Ia	
145	1 32 67	627	5 Per	2	4	31	+	57	10	+ 4.18	+ 0.28	6.39	B5 Ia	
146	1 54 97	-	-	2	24	38	+	57	15	+ 4.34	+ 0.27	7.20	B6 Ia	
147	3 40 85	1713	$\beta$ Ori	5	9	44	-	8	19	+ 2.88	+ 0.07	0.08	B8 Ia	
148	2 12 91	1035	-	3	20	58	+	59	36	+ 4.86	+ 0.21	4.23	B9 Ia	
149	2 13 89	1040	-	3	21	55	+	58	32	+ 4.79	+ 0.21	4.58	A0 Ia	
150	1 29 53	618	-	2	1	41	+	57	57	+ 4.19	+ 0.29	5.68	A1 Ia	
151	19 73 45	7924	$\alpha$ Cyg	20	38	1	+	44	55	+ 2.05	+ 0.21	1.26	A2 Ia	
152	1 73 78	825	-	2	42	8	+	56	40	+ 4.43	+ 0.25	6.26	A5 Ia	
153	79 27	382	$\varphi$ Cas	1	13	47	+	57	42	+ 3.78	+ 0.32	4.95	F0 Ia	
154	16 35 06	6685	89 Her	17	51	23	+	26	4	+ 2.42	- 0.01	5.47	F2 Ia	
155	1 04 94	-	-	1	37	17	+	61	21	+ 4.12	+ 0.30	7.46	F5 Ia	
156	5 46 05	2693	$\delta$ CMa	7	4	20	-	26	14	+ 2.44	- 0.10	1.84	F8 Ia	
157	21 74 76	8752	-	22	55	52	+	56	26	+ 2.53	+ 0.32	4.99	G0 Ia	
158	4 25 43	2197	6 Gem	6	6	15	+	22	56	+ 3.64	- 0.01	6.11	M1 Ia	
159	20 69 36	8316	$\mu$ Cep	21	40	27	+	58	19	+ 1.84	+ 0.28	3.99	M2 Ia	

## INDEX ZUM VERZEICHNIS DER STANDARDSTERNE

STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES
Andromeda			Aries cont.			Canes Venatici		
$\beta$ And	M0 III	S 13 L 31	14 Ari	F2 III	S 11 L 19	HD		
$\delta$ And	K3 III	S 13 L 29	HD			95735	M2 V	S 6 L 32
$\theta$ And	A2 V	S 3 L 14	21483	B3 III	S 9 L 7	Canis Major		
$\nu$ And	F8 V	S 4 L 21	Auriga					
HR								
483	G2 V	S 5 L 23						
Aquarius			$\chi$ Aur	B5 Iab	S 21 L 8	$\gamma$ CMa	B8 II	S 14 L 11
			$\psi^1$ Aur	M0 Iab	S 21 L 31	$\delta$ CMa	F8 Ia	S 24 L 21
			19 Aur	A5 II	S 15 L 16	$\epsilon$ CMa	B2 II	S 14 L 6
$\alpha$ Aqr	G2 Ib	S 19 L 23	HR			$\iota$ CMa	B3 II	S 14 L 7
$\omega^2$ Aqr	B9.5 V	S 2	1804	B9 Ib	S 18 L 12	$\rho^1$ CMa	K3 Iab	S 21 L 29
Aquila			Bootes			Cassiopeia		
$\beta$ Aql	G8 IV	S 8 L 25	$\gamma$ Boo	A7 III	S 11 L 17	$\beta$ Cas	F2 IV	S 7 L 19
$\gamma$ Aql	K3 II	S 16 L 29	Cameleopardus			$\zeta$ Cas	B2 V	S 1 L 6
$\kappa$ Aql	B0.5 III	S 9 L 4				$\eta$ Cas	G0 V	S 5 L 22
$\nu$ Aql	F2 Ib	S 19 L 19						T 3
Aries			$\alpha$ Cam	O9.5 Ia	S 22 L 2	$\theta$ Cas	A7 V	S 3 L 17
			HR			$\kappa$ Cas	B1 Ia	S 22 L 5
			1035	B9 Ia	S 23 L 12	$\phi$ Cas	F0 Ia	S 23, L 18 S 24
			HR			HR		
$\beta$ Ari	A5 V	S 3 L 16	1040	A0 Ia	S 23 S 13	8752	G0 Ia	S 24 L 22
$\zeta$ Ari	B7 IV	S 7 L 10	1242	F0 II	S 15 L 18	8832	K3 V	S 6 L 29
			1327	G5 III	S 12 L 24	HD		
						10494	F5 Ia	S 24 L 20

STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES
Cepheus			Cygnus cont.			Draco cont.		
$\gamma$ Cep	K1 IV	S 8 L 27	$\zeta$ Cyg	G8 II	S 16 L 25	$\iota$ Dra	K2 III	S 12, L 28 S 13
$\epsilon$ Cep	F0 IV	S 7 L 18	$\kappa$ Cyg	K0 III	S 12 L 26	$\sigma$ Dra	K0 V	S 5 L 26
$\zeta$ Cep	K1 Ib	S 20 L 27	$\lambda$ Cyg	B5 V	S 1, L 8 S 2	39 Dra	A1 V	S 3
$\eta$ Cep	K0 IV	S 8 L 26	$\xi$ Cyg	K5 Ib	S 20 L 30	HD		
$\mu$ Cep	M2 Ia	S 24 L 32	$\sigma$ Cyg	B9 Iab	S 21 L 12	147379	MO V	S 6 L 31
9 Cep	B2 Ib	S 17 L 6	41 Cyg	F5 II	S 15 L 20	Eridanus		
13 Cep	B8 Ib	S 18 L 11	44 Cyg	F5 Iab	S 21 L 20			
19 Cep	O9.5 Ib	S 17 L 2	55 Cyg	B3 Ia	S 22 L 7			
26 Cep	B0.5 Ib	S 17 L 4	61 Cyg A	K5 V	S 6 L 30			
HR			69 Cyg	B0 Ib	S 17 L 3			
8327	O9 II	S 14 L 1	HR					
Cetus			7678	B1.5 Ia	S 22	$\epsilon$ Eri	K2 V	S 5, L 28 S 6
$\kappa$ Cet	G5 V	S 5 L 24	8345	A2 Ib	S 18 L 14	Gemini		
Coma Berenices			HD					
31 Com	G0 III	S 12 L 22	193183	B1.5 Ib	S 17			
Cygnus			199216	B1 II	S 14 L 5			
$\alpha$ Cyg	A2 Ia	S 23 L 14 T 2	Delphinus			$\gamma$ Gem	AO IV	S 7 L 13
$\gamma$ Cyg	F8 Ib	S 19 L 21	$\alpha$ Del	B9 V	S 2 L 12	$\epsilon$ Gem	G8 Ib	S 20 L 25
$\delta$ Cyg	B9.5 III	S 10	$\epsilon$ Del	B6 III	S 9, L 9 S 10	$\theta$ Gem	A3 III	S 10, L 15 S 11
			Draco			$\lambda$ Gem	A3 V	S 3 L 15
			$\alpha$ Dra	A0 III	S 10 L 13	$\rho$ Gem	FO V	S 4 L 18
			$\beta$ Dra	G2 II	S 15, L 23 S 16	3 Gem	B2.5 Ib	S 17
						6 Gem	M1 Ia	S 24
						HD		
						43818	B0 II	S 14 L 3
						43836	B9 II	S 14, L 12 S 15

STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES
Hercules			Lepus			Orion cont.		
$\beta$ Her	G8 III	S 12 L 25	$\alpha$ Lep	F0 Ib	S 18, L 18 S 19	$\delta$ Ori	O9.5 II	S 14 L 2
$\gamma$ Her	A9 III	S 11				$\iota$ Ori	O9 III	S 9 L 1
$\zeta$ Her	G0 IV	S 8 L 22	Lyra			$\kappa$ Ori	B0.5 Ia	S 22 L 4
$\theta$ Her	K1 II	S 16 L 27				$\sigma$ Ori	O9.5 V	S 1 L 2
$\mu$ Her	G5 IV	S 8 L 24				$\nu$ Ori	B0 V	S 1 L 3
$\nu$ Her	F2 II	S 15 L 19	$\alpha$ Lyr	A0 V	S 2, L 13 S 3	$\chi^2$ Ori	B2 Ia	S 22 L 6
$\tau$ Her	B5 IV	S 7 L 8	$\gamma$ Lyr	B9 III	S 10, L 12	56 Ori	K2 II	S 16 L 28
89 Her	F2 Ia	S 24 L 19	$\theta$ Lyr	K0 II	S 16 L 26	Pegasus		
110 Her	F6 V	S 4				$\gamma$ Peg	B2 IV	S 7 L 6
Lacerta			Monoceros			$\epsilon$ Peg	K2 Ib	S 20 L 28
10 Lac	O9 V	S 1 L 1	13 Mon	A0 Ib	S 18 L 13	$\zeta$ Peg	B8 V	S 2 L 11
12 Lac	B2 III	S 9 L 6	HR			$\iota$ Peg	F5 V	S 4 L 20
HR			2479	B0 III	S 9 L 3	$\sigma$ Peg	F7 IV	S 8
8443	A3 Ib	S 18 L 15	Ophiuchus			$\nu$ Peg	F8 IV	S 8 L 21
HD						9 Peg	G5 Ib	S 19, L 24 S 20
210809	O9 Ib	S 17 L 1	$\alpha$ Oph	A5 III	S 11 L 16	Perseus		
Leo			67 Oph	B5 Ib	S 17, L 8 S 18	$\alpha$ Per	F5 Ib	S 19 L 20
$\alpha$ Leo	B7 V	S 2 L 10	Orion			$\delta$ Per	B5 III	S 9 L 8
$\delta$ Leo	A4 V	S 3				$\epsilon$ Per	B0.5 V	S 1 L 4 T 1
$\epsilon$ Leo	G0 II	S 15 L 22	$\alpha$ Ori	M2 Iab	S 21 L 32	$\zeta$ Per	B1 Ib	S 17 L 5
$\zeta$ Leo	F0 III	S 11 L 18	$\beta$ Ori	B8 Ia	S 23 L 11	$\eta$ Per	K3 Ib	S 20 L 29

STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES	STAR	TYPE	PLATES
Perseus cont.			Sagittarius			Triangulum		
$\theta$ Per	F7 V	S 4	15 Sgr	B0 Ia	S 22 L 3	$\alpha$ Tri	F6 IV	S 7, S 8
$\mu$ Per	G0 Ib	S 19 L 22	Scutum			Ursa Major		
$\sigma$ Per	B1 III	S 9 L 5						
5 Per	B5 Ia	S 22 L 8	$\beta$ Sct			$\eta$ UMa		
36 Per	F4 III	S 11, S 12						
HR 618	A1 Ia	S 23	$\beta$ Sct			B3 V S 1 L 7		
825	A5 Ia	S 23 L 16						
1191	B1 V	S 1 L 5	Taurus			G8 V S 5 L 25		
HD 15497	B6 Ia	S 22, L 9 S 23						
Puppis			Taurus			F2 V S 4 L 19		
HR 2874								
			19 Tau	B6 V	S 2 L 9	Ursa Minor		
HR 2874			A5 Ib S 18 L 16					
						27 Tau	B8 III	S 10 L 11
HR 2874			A5 Ib S 18 L 16			K7 V S 6		
HR 2874			A5 Ib S 18 L 16			$\beta$ UMi		
HR 2874			A5 Ib S 18 L 16			K 4 III S 13		

## KATALOG DER ELEMENTE (nach dem Periodensystem)

Wasserstoff	– H	– 1.	. . . . .	23	Gallium	– Ga	– 31.	. . . . .	54
Helium	– He	– 2.	. . . . .	27	Germanium	– Ge	– 32.	. . . . .	54
Lithium	– Li	– 3.	. . . . .	29	Arsen	– As	– 33.	. . . . .	54
Beryllium	– Be	– 4.	. . . . .	29	Selen	– Se	– 34.	. . . . .	54
Bor	– B	– 5.	. . . . .	29	Brom	– Br	– 35.	. . . . .	54
Kohlenstoff	– C	– 6.	. . . . .	29	Krypton	– Kr	– 36.	. . . . .	54
Stickstoff	– N	– 7.	. . . . .	31	Rubidium	– Rb	– 37.	. . . . .	54
Sauerstoff	– O	– 8.	. . . . .	34	Strontium	– Sr	– 38.	. . . . .	54
Fluor	– F	– 9.	. . . . .	36	Yttrium	– Y	– 39.	. . . . .	54
Neon	– Ne	– 10.	. . . . .	36	Zirkon	– Zr	– 40.	. . . . .	55
Natrium	– Na	– 11.	. . . . .	37	Niob	– Nb	– 41.	. . . . .	55
Magnesium	– Mg	– 12.	. . . . .	38	Molybdän	– Mo	– 42.	. . . . .	55
Aluminium	– Al	– 13.	. . . . .	40	Technetium	– Tc	– 43.	. . . . .	55
Silizium	– Si	– 14.	. . . . .	41	Ruthenium	– Ru	– 44.	. . . . .	55
Phosphor	– P	– 15.	. . . . .	43	Rhodium	– Rh	– 45.	. . . . .	55
Schwefel	– S	– 16.	. . . . .	43	Palladium	– Pd	– 46.	. . . . .	55
Chlor	– Cl	– 17.	. . . . .	43	Silber	– Ag	– 47.	. . . . .	55
Argon	– A	– 18.	. . . . .	44	Kadmium	– Cd	– 48.	. . . . .	55
Kalium	– K	– 19.	. . . . .	44	Indium	– In	– 49.	. . . . .	55
Kalzium	– Ca	– 20.	. . . . .	44	Zinn	– Sn	– 50.	. . . . .	55
Scandium	– Sc	– 21.	. . . . .	46	Antimon	– Sb	– 51.	. . . . .	55
Titan	– Ti	– 22.	. . . . .	46	Tellur	– Te	– 52.	. . . . .	55
Vanadium	– V	– 23.	. . . . .	48	Jod	– J	– 53.	. . . . .	55
Chrom	– Cr	– 24.	. . . . .	49	Xenon	– Xe	– 54.	. . . . .	55
Mangan	– Mn	– 25.	. . . . .	50	Cäsium	– Cs	– 55.	. . . . .	55
Eisen	– Fe	– 26.	. . . . .	51	Barium	– Ba	– 56.	. . . . .	56
Kobalt	– Co	– 27.	. . . . .	52	Seltene Erden	– 57 bis 71.	. . . . .	56	
Nickel	– Ni	– 28.	. . . . .	53	Europium	– Eu	– 63.	. . . . .	56
Kupfer	– Cu	– 29.	. . . . .	54	Quecksilber	– Hg	– 80.	. . . . .	56
Zink	– Zn	– 30.	. . . . .	54	Transurane	. . . . .	. . . . .	56	

## KATALOG DER ELEMENTE (alphabetisch)

Aluminium	– Al	– 13.	. . . . .	40	Natrium	– Na	– 11.	. . . . .	37
Antimon	– Sb	– 51.	. . . . .	55	Neon	– Ne	– 10.	. . . . .	36
Argon	– A	– 18.	. . . . .	44	Nickel	– Ni	– 28.	. . . . .	53
Arsen	– As	– 33.	. . . . .	54	Niob	– Nb	– 41.	. . . . .	55
Barium	– Ba	– 56.	. . . . .	56	Palladium	– Pd	– 46.	. . . . .	55
Beryllium	– Be	– 4.	. . . . .	29	Phosphor	– P	– 15.	. . . . .	43
Bor	– B	– 5.	. . . . .	29	Quecksilber	– Hg	– 80.	. . . . .	56
Brom	– Br	– 35.	. . . . .	54	Rhodium	– Rh	– 45.	. . . . .	55
Cäsium	– Cs	– 55.	. . . . .	55	Rubidium	– Rb	– 37.	. . . . .	54
Chlor	– Cl	– 17.	. . . . .	43	Ruthenium	– Ru	– 44.	. . . . .	55
Chrom	– Cr	– 24.	. . . . .	49	Sauerstoff	– O	– 8.	. . . . .	34
Eisen	– Fe	– 26.	. . . . .	51	Scandium	– Sc	– 21.	. . . . .	46
Europium	– Eu	– 63.	. . . . .	56	Schwefel	– S	– 16.	. . . . .	43
Fluor	– F	– 9.	. . . . .	36	Selen	– Se	– 34.	. . . . .	54
Gallium	– Ga	– 31.	. . . . .	54	Seltene Erden	57 bis 71.	. . . . .	56	
Germanium	– Ge	– 32.	. . . . .	54	Silber	– Ag	– 47.	. . . . .	55
Helium	– He	– 2.	. . . . .	27	Silizium	– Si	– 14.	. . . . .	41
Indium	– In	– 49.	. . . . .	55	Stickstoff	– N	– 7.	. . . . .	31
Jod	– J	– 53.	. . . . .	55	Strontium	– Sr	– 38.	. . . . .	54
Kadmium	– Cd	– 48.	. . . . .	55	Technetium	– Tc	– 43.	. . . . .	55
Kalium	– K	– 19.	. . . . .	44	Tellur	– Te	– 52.	. . . . .	55
Kalzium	– Ca	– 20.	. . . . .	44	Titan	– Ti	– 22.	. . . . .	46
Kobalt	– Co	– 27.	. . . . .	52	Transurane	. . . . .	. . . . .	56	
Kohlenstoff	– C	– 6.	. . . . .	29	Vanadium	– V	– 23.	. . . . .	48
Krypton	– Kr	– 36.	. . . . .	54	Wasserstoff	– H	– 1.	. . . . .	23
Kupfer	– Cu	– 29.	. . . . .	54	Xenon	– Xe	– 54.	. . . . .	55
Lithium	– Li	– 3.	. . . . .	29	Yttrium	– Y	– 39.	. . . . .	54
Magnesium	– Mg	– 12.	. . . . .	38	Zink	– Zn	– 30.	. . . . .	54
Mangan	– Mn	– 25.	. . . . .	50	Zinn	– Sn	– 50.	. . . . .	55
Molybdän	– Mo	– 42.	. . . . .	55	Zirkon	– Zr	– 40.	. . . . .	55

Für das Zuordnen von Absorptionen und Elementen war Merrills *Lines of Chemical Elements in Astronomical Spectra* (3) die beste Hilfe. Seine Beschreibung der einzelnen Elemente ist nicht nur von hohem Gebrauchswert, sondern darüber hinaus eine interessante Lektüre. Der vorliegende *Katalog der Elemente* versucht sich – in weit bescheidenerer Ausführung – an dieses schöne Vorbild anzulehnen.

Von ebenso großer Bedeutung waren die zahlreichen Quellenangaben Merrills, von denen die meisten der unter A 1 – A 66 aufgeführten sowie zahlreiche weitere ausgiebig benutzt wurden. Sie sind in der Literaturliste des Spektralatlas nicht mehr gesondert genannt.

Selbstverständlich waren auch Charlotte E. Moores *A Multiplet Table of Astrophysical Interest* (4) und deren teilweise Neuausgabe unentbehrliche Hilfsmittel beim Herstellen des Spektralatlas.

Die Wellenlängenangaben sind jeweils auf volle Ångström ab- oder aufgerundete Werte der Mooreschen Tabelle von 1945.

Die Diskussion der Elemente ist in der Regel nach folgendem Schema aufgebaut:

1. Kurze Bemerkung über die Bedeutung des Elements bei der Klassifikation von Sternspektren.
2. Vorkommen von Emissionslinien.
3. Besprechung der Absorptionslinien einzelner Ionisationsstufen, angefangen mit dem höchsten beobachteten Grad und endend mit der neutralen Form.  
Absorptionen, die bei der Leuchtkraftklassifikation besonders wichtig sind, werden häufig durch besondere Abschnitte hervorgehoben.
4. Vorkommen von chemischen Verbindungen des Elements in Sternspektren.
5. Auftreten anomaler Häufigkeiten\*) (5) in besonderen Sterntypen.

Der Hauptteil der Diskussion ist stets den Linien gewidmet, die in den Sternen der normalen Morgan Sequenzen eine Rolle spielen. Anmerkungen über spektrale Besonderheiten, wie Emissionen und Häufigkeitsanomalien, dienen nur dazu, den Beobachter auf eventuell vorkommende Abweichungen von der Norm aufmerksam zu machen.

## Wasserstoff – H – 1

Die Hauptlinien der Balmerreihe sind in allen Spektren des vorliegenden Atlas sichtbar und gehören bis zu den mittleren F-Sternen zu den stärksten beobachteten Absorptionen. Höhere Glieder der Paschenreihe scheinen in sehr gut definierten Spektren angedeutet.

### Emissionen

In einigen Fällen tritt  $H\alpha$  in den Atlasspektren in Emission auf. Siehe Verzeichnis der Standardsterne.

Auf starke Emission aller Balmerlinien und des Balmerkontinuums in Sternen mit sehr ausgedehnten Atmosphären (z. B. Novae) sei hingewiesen.

### H – Absorptionen

Ihre *Temperaturabhängigkeit* macht die Balmerlinien innerhalb einer vorgegebenen Leuchtkraftklasse zu brauchbaren *Spektralkriterien*. Allerdings ist der Temperatureinfluß nicht so ausgeprägt, daß eine

\*) Der Ausdruck Häufigkeit ist im gebräuchlichen Sinn benutzt. Man sollte jedoch beachten, daß die Frage keineswegs völlig geklärt ist, inwieweit die spektralen Anomalien von unterschiedlichen Anzahlen der Atome oder von Abweichungen im physikalischen Zustand der Sternatmosphären herrühren.

scharfe Trennung unmittelbar benachbarter Typen möglich wird. Ein breites Maximum erreichen die Balmerlinien bei den frühen A-Sternen. Für Sterne kühler als G0 wird der Intensitätsverlust zunehmend stärker.

### Leuchtkraftabhängigkeit

#### I. Verhalten der H Linien bei den Typen O – F

Die große Empfindlichkeit der Wasserstofflinien gegenüber dem interatomaren Stark effekt macht sie zu ausgezeichneten Indikatoren der *Oberflächengravitation*  $g$  und damit der Leuchtkraft.

1. In Übereinstimmung mit der Erfahrung anderer Beobachter sind die Effekte der Starkverbreiterung bei kleiner Dispersion schon in früheren Typen erkennbar als bei größerer Dispersion. Im vorliegenden Fall ist bei O9 und O9.5 die Leuchtkraftabhängigkeit zwar noch schwach, bei B0 dagegen schon deutlich ausgeprägt: die Linien der hellsten Übergiganten sind merklich schärfer und in den tieferen Seriengliedern schwächer als die Linien der Hauptreihensterne. Die dazwischenliegenden Typen zeigen schwache Abstufungen. Der bedeutendste Unterschied tritt erst innerhalb der Gruppe der Supergiganten auf und ermöglicht dort noch die Unterteilung der Ia-Sterne.  $\alpha$  Cyg z. B. gehört zum hellsten Ia<sup>+</sup>-oder Ia0-Typ.

Der Effekt ist beobachtbar bis zu den späten A-Sternen.

2. Die größere Schärfe bei Supergiganten ermöglicht auch die Trennung höherer Glieder der Balmerie. Bei Spektren, deren Wellenlängenauflösung in der Nähe der Balmergrenze so groß ist, daß das Zusammenfließen der Linien nicht durch die Verzerrungsfunktion der Apparatur, sondern in Abwesenheit anderer Einflüsse allein durch die Starkverbreiterung verursacht wird, kann aus der Quantenzahl der letzten erkennbaren Linie die Elektronendichte der Sternatmosphäre numerisch bestimmt werden. Bei der hier benutzten Dispersion handelt es sich höchstens um ein Schätzkriterium, das zudem nur bei Platten anwendbar ist, die im Ultravioletten ausreichend belichtet sind und die bei guter Bildruhe aufgenommen wurden. Hinzu kommt, daß bei den Typen mit stärksten Balmerlinien die hohen Serienglieder bereits als Blends mit Linien ionisierter Metalle auftreten. Trotz dieser Einschränkungen ist am Beispiel der A2-Sterne der Effekt deutlich: Die Wasserstofflinien sind erkennbar in

A2 V	bis	H 17
A2 Ib	bis	H 20
A2 Ia	bis	H 22

3. Ebenfalls auf die Starkverbreiterung zurückzuführen ist eine andere auffallende Erscheinung. Die Intensitäten der höheren Balmerlinien werden für Sterne niedriger Leuchtkräfte schon bei kleineren Quantenzahlen merklich schwächer und fallen nach höheren Quantenzahlen hin steiler ab als bei hohen Leuchtkräften: das von den stärkeren Linienflügeln herabgedrückte Kontinuum läßt die Absorption schwächer auftreten.

Bestätigungen dieser Beobachtung finden sich in den ausgezeichneten Abbildungen von Struve (6) und in Messungen Unsölds (B0-Zwergstern) und Voigts (B3-Supergigant) von Äquivalentbreiten höherer Serienglieder. Für die von diesen Autoren in anderem Zusammenhang gewählte Darstellung werden die Anzahlen  $N$  der neutralen, ins Balmerniveau angeregten Wasserstoffatome pro  $\text{cm}^2$  Säule aus den Äquivalentbreiten unter Annahme einer optisch dünnen absorbierenden Schicht berechnet und der Logarithmus  $N$  in Abhängigkeit von der Hauptquantenzahl  $n$  aufgetragen. Die Modellabhängigkeit der Rechnung bewirkt zunächst einen scheinbaren Zuwachs von  $\log N$  mit  $n$ , da die Annahme eines optisch dünnen Mediums immer besser erfüllt ist. Dann tritt ein scheinbarer Abfall von  $N$  auf, der auf die zu schwach gemessenen Äquivalentbreiten zurückzuführen ist. Interessant sind in unserem Zusammenhang der Beginn und die Steilheit des Rückganges für die beiden Sterntypen, da sie den gleichen Effekt darstellen wie der auf den vorliegenden Spektren beobachtete Intensitätsabfall der

höheren Balmerlinien. Fig. II ist eine schematische Wiedergabe der Diagramme von Unsöld und Voigt (7).

Hervorgehoben wird die oben beschriebene Erscheinung bei der hier angewandten Dispersion noch durch Blends der Linien H 16 mit He I 3705 und H 13 mit He I 3733, die insbesondere bei den Zwergen:

- a) die Schwäche der Linien H 14 und H 15 unterstreichen und
- b) das Fehlen der H Linien auf der kurzwelligen Seite von H 16 besonders deutlich erscheinen lassen.

Beobachtet werden die Punkte a) und b) bei den O9-bis B0-Sternen. Punkt b) ist darüber hinaus bis B2 ausgeprägt.

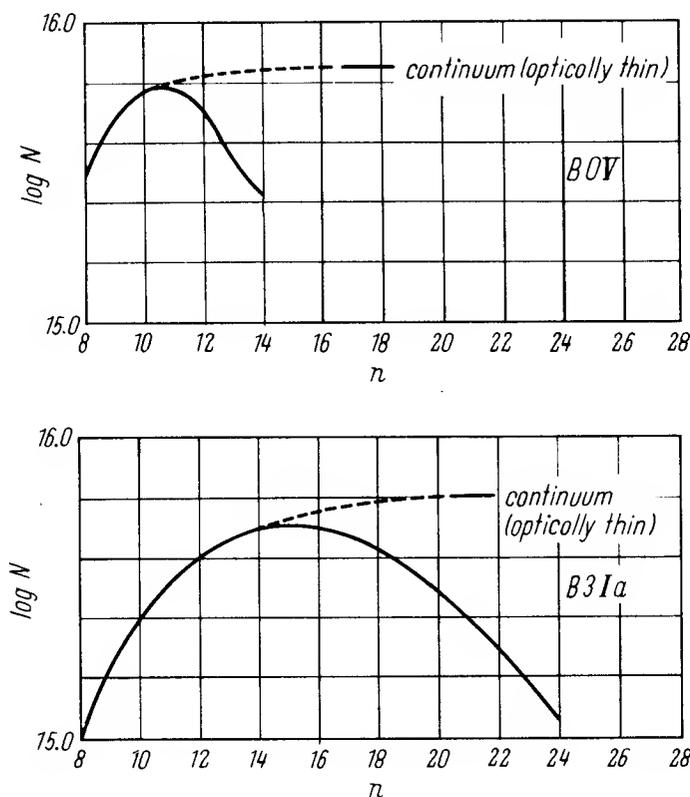


Fig. II Logarithmus der Anzahl  $N$  der in der Balmerreihe absorbierenden Wasserstoffatome pro  $\text{cm}^2$  Säule als Funktion der Hauptquantenzahl  $n$  (nach Unsöld)  
 a) B0 V-Stern                      b) B3 Ia-Stern

4. Ein viertes vom Starkeffekt beeinflusstes Phänomen ist das Auftreten eines deutlichen Intensitätssprungs in der Nähe der Balmergrenze in Supergiganten mit starker Balmerabsorption. Obgleich die Höhe des Sprungs bei Zwergen bis A3 größer ist, fällt er dort nicht auf. Das Kontinuum wird auf der langwelligen Seite der Balmerdiskontinuität durch die Linienflügel mit Annäherung an die Seriergrenze zunehmend stärker herabgedrückt, so daß ein verschmierter Übergang zur kontinuierlichen Absorption erfolgt. Bei den Überriesen dagegen erscheint das Kontinuum kaum geschwächt, bis in

der Nähe der Seriengrenze durch das Zusammenfließen der Linien ein plötzlicher Übergang zur kontinuierlichen Absorption erfolgt. Der Effekt ist bei kleinen Dispersionen besonders deutlich.

Auf den Atlasaufnahmen wird der Balmersprung schwach sichtbar bei B8 Ia, erreicht bei A2 Ia bis A3 Ia ein Maximum und ist bei frühen A-Sternen auch in der Klasse Ib zu erkennen. Er ist noch ausgeprägt bis etwa F5 Ia. Bei den späten A- und frühen F-Überriesen wird er nach Chalonge und Barbier (7) auch numerisch größer als bei Zwergsternen mit einem absoluten Maximum bei F0. Diese Erscheinung ist hier nicht besonders deutlich.

## II. Verhalten der Linien bei den Typen F – M

### F0 – F5

In den Klassen F0 – F5 sind die Balmerlinien (mit Ausnahme der höchsten sichtbaren Serienglieder bei F0) in allen Leuchtkräften etwa gleich stark.

Der Balmersprung in F-Sternen ist unter I.4 besprochen.

In den späten Typen erscheinen die höheren Serienglieder von He an als Blends mit starken Metalllinien.  $H\alpha$  ist im meist überbelichteten Teil des Spektrums.

Die Linien  $H\beta$ ,  $H\gamma$  und  $H\delta$  zeigen folgendes Verhalten:

### F8 – G5

$H\delta$  ist bedeutend stärker in den niederen Leuchtkraftklassen.

$H\gamma$  und  $H\beta$  sind in allen Leuchtkräften etwa gleich stark.

### G8 – K0

$H\delta$  zeigt ein sehr schwaches Intensitätsminimum bei mittleren Leuchtkräften.

$H\gamma$  ist bei K0 in den höheren Leuchtkräften stärker.

$H\beta$  ist in allen Leuchtkräften etwa gleich stark.

### K1 – K2

$H\delta$  und  $H\gamma$  sind in den höheren Leuchtkräften stärker.

$H\beta$  ist in allen Leuchtkräften etwa gleich stark.

### K3 – M2

Alle Wasserstofflinien (oder ihre Blends) sind in den höheren Leuchtkräften merklich stärker, zeigen also das genau umgekehrte Verhalten wie in den frühen Spektraltypen.

## Wasserstoffverbindungen

In den hier beschriebenen Spektren ist vor allem die Wasserstoffverbindung CH wichtig. Sie liefert einen wesentlichen Beitrag zum G-Band, das vom Typ F0 an bis zu den spätesten Sternen eine bedeutende Erscheinung aller Spektren ist. Weitere Bereiche, in denen das Radikal eine Rolle spielt, sind der Tafel T 3 zu entnehmen.

MgH wird unter Magnesiumverbindungen besprochen.

Andere Wasserstoffverbindungen zeigen keine für die vorliegenden Spektren bedeutenden Absorptionen.

### Sterne mit anomaler Wasserstoffhäufigkeit

Wasserstoffmangel äußert sich in der Schwächung oder dem völligen Fehlen der Balmerlinien, insbesondere bei frühen Spektraltypen.

Überdurchschnittlich starke CH Absorption kann als Zeichen für Wasserstoffüberschuß angesehen werden, schwache CH Absorption als Mangel.

Sterne mit Wasserstoffanomalien sind selten.

## Helium – He – 2

Die Atlasspektren zeigen Linien des einfach ionisierten Heliums bis zum Typ B0.5 und des neutralen Heliums bis B9. Bei den frühen A-Sternen treten in der Nähe der stärksten Heliumlinien bedeutende Absorptionen ionisierter Metalle auf, so daß der eventuelle Anteil von Helium nicht mehr bestimmbar ist.

### Emissionen

In heißen Sternen mit ausgedehnten Atmosphären wird häufig He II 4686 in Emission beobachtet. Auch die neutralen Heliumlinien treten unter entsprechenden Bedingungen in Emission auf.

### He II – Absorptionen

Von der stärksten Serie

$$3d \ ^2D - nf \ ^2F^{\circ} \quad (1) \quad (\text{mit } n = 4, 5, 6 \dots)$$

liegt nur die langwelligste Linie, He II 4686, im beobachteten Spektralbereich. Sie ist hier, wie alle Linien des ionisierten Heliums, merklich *temperaturabhängig*. Bei O9 in allen Leuchtkraftklassen gut sichtbar, nimmt sie mit fallender Temperatur rasch ab und verschwindet bei B0.5.

In den wasserstoffähnlichen Reihen

$$4f \ ^2F^{\circ} - ng \ ^2G \quad (2) - (5) \quad (\text{mit } n = 5, 6, 7 \dots)$$

sind die Linien aller geradzahigen  $n$  von den viel stärkeren, eng benachbarten Balmerlinien nicht zu trennen. Von den ungeradzahigen Gliedern (Pickering Serie) liegt He II 5411 im meist schwach belichteten Teil des Spektrums. Die Linien He II 4542 und He II 4200 sind stark in O9, schwächer bis O9.5 sichtbar. Die nächstfolgenden Glieder gehen als Blends in den He I Linien unter, nur He II 3858 ist in O9 noch andeutungsweise vorhanden.

Glieder der 5. Serie sind im roten und infraroten Teil des Spektrums zu erwarten, da die Seriengrenze bei  $\lambda$  5694 liegt, wurden aber in den vorliegenden Spektren nicht mit Sicherheit gefunden.

Die Linien der beiden ersten und der höheren Serien des ionisierten Heliums liegen außerhalb des beobachteten Wellenlängenbereichs.

## He I – Absorptionen

Mit unterschiedlicher Intensität treten die Linien von sechs Serien des neutralen Heliums auf, unter denen die zwei letzten von stark metastabilen Niveaus ausgehen:

(a)	$2p \ ^1P^o - nd \ ^1D$	(diffuse Singulett)
(b)	$2p \ ^1P^o - ns \ ^1S$	(scharfe Singulett)
(c)	$2p \ ^3P^o - nd \ ^3D$	(diffuse Triplett)
(d)	$2p \ ^3P^o - ns \ ^3S$	(scharfe Triplett)
(e)	$2s \ ^1S - np \ ^1P^o$	(mit $n = 3, 4, 5 \dots$ )
(f)	$2s \ ^3S - np \ ^3P^o$	

Bei allen Spektraltypen und Leuchtkräften ist die diffuse Triplett-Serie die weitaus stärkste. Von geringerer Intensität sind die diffusen Singulett und die scharfen Triplett. Die Linien der scharfen Singulett-Serie sind schwach oder überhaupt nicht erkennbar und können nicht als verlässliche Klassifizierungskriterien angesehen werden. Einige ihrer wichtigsten Linien sind ohnehin durch stärkere Absorptionen verdeckt: He I 4437 häufig durch das interstellare Band bei  $\lambda$  4430, He I 4024 durch die starke Linie He I 4026, He I 3936 oft durch die interstellare K-Linie.

Die scharfe Singulett-Linie He I 4169 ist bei B0.5 – B2 schwach, bei B3 deutlich vorhanden.

Von den Übergängen der metastabilen Niveaus sind die wichtigsten Linien der Singulett-Serie, He I 5016 und He I 3614, auf ausreichend geschwärzten Platten gut zu erkennen. Wegen ihres Auftretens im meist unterbelichteten Teil des Spektrums können sie jedoch nur als Zusatzkriterien verwendet werden. He I 3965 der gleichen Serie erscheint als Blend mit He.

Die entsprechende Triplett-Serie zeigt nur eine Linie im beobachteten Wellenlängenbereich, He I 3889, die als Blend mit H8 auftritt.

Alle beobachteten Linien der erwähnten Heliumserien sind in Tafel T 1 eingetragen. Schematische Bilder der ersten fünf Serien sind beigelegt.

### Temperaturabhängigkeit

Von O9 bis etwa B1 ist bei keiner der Serien eine Temperaturabhängigkeit festzustellen (bei He I 4121 wird sie durch das Blend mit Si IV 4116 vorgetäuscht). Zwischen B2 und B5 zeigen die Heliumlinien ein flaches Maximum. Bei der diffusen Triplett-Serie folgt eine besonders rasche Abnahme zwischen B6 und B7.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Alle Heliumlinien werden in den niederen Leuchtkraftklassen bei früheren Typen unsichtbar als in den höheren. Eine Leuchtkraftabhängigkeit in diesem Sinne zeigt sich auch schon durch die unterschiedliche Schwächung der Linien in den letzten 2–4 spektralen Unterklassen vor dem Verschwinden.

Ein besonders scharfes Leuchtkraftkriterium bei den mittleren bis späten B-Sternen ist die Linie He I 3820. Bei Hauptreihensternen verschwindet sie bei B6, in höheren Leuchtkräften ist sie bis wenigstens B8 sichtbar.

In den frühesten Typen bis B2 ist eine höhere Intensität der diffusen Singulett bei den *niederen* Leuchtkräften angedeutet (siehe vor allem He I 4144). Das umgekehrte Verhalten einiger kurzweiliger Linien der gleichen Serie ist vielleicht auf Blends zurückzuführen. Eine Leuchtkraftabhängigkeit im beschriebenen Sinne steht im Widerspruch zu der Erwartung, daß die diffusen Singulett bei niedrigen Drücken

stärker werden. Bei B5 kehrt sich das Leuchtkraftverhältnis der diffusen Singulets um, bis B8 sind die Linien in den höheren Leuchtkräften stärker, wie es schon aus dem im ersten Teil dieses Abschnitts Gesagten folgt.

Die zu erwartende starke Leuchtkraftabhängigkeit der Übergänge von den metastabilen Niveaus ist bei der ungünstigen Lage der Linien nicht zu beobachten.

### Sterne mit anomaler Heliumhäufigkeit

Sowohl Helium-reiche, wie Helium-arme Sterne sind bekannt, gehören aber zu den seltenen Objekten.

### Lithium – Li – 3

### Beryllium – Be – 4

### Bor – B – 5

Die Elemente Lithium, Beryllium und Bor sind ihrer geringen kosmischen Häufigkeit wegen nur in Spektren großer Auflösung nachweisbar. Die vorliegenden Aufnahmen reichen für ein Erkennen der Linien nicht aus.

### Kohlenstoff – C – 6

In frühen Sternen dienen mehrere Linien des einfach und zweifach ionisierten Kohlenstoffs als Spektral- und Leuchtkraftkriterien. Linien des neutralen Kohlenstoffs sind bei normalen Sternen im erfaßten Wellenlängenbereich zu schwach, um bei der vorliegenden Dispersion eine Rolle zu spielen.

Kohlenstoffverbindungen sind in späten Sternen wichtig.

### Emissionen

In der Kohlenstoffsequenz der Wolf-Rayet Sterne werden Emissionslinien des einfach und mehrfach ionisierten Kohlenstoffs gefunden.

### C III – Absorptionen

Das stärkste C III Triplett



und der zweitstärkste Übergang



gehören in den O- und frühen B-Sternen neben den Wasserstoff- und Heliumlinien zu den bedeutendsten Absorptionen und sind damit gute Kriterien zum Abtrennen der heißesten Sterne.

Das Triplet bei  $\lambda 4650$  tritt als Blend mit N III, N II und O II Linien auf. Auch bei C III 4070 ist in den frühen B-Sternen ein merklicher Anteil von O II zu erwarten.

Das Intensitätsverhältnis  $\lambda 4650 / \text{He I } 4471$  zeigt einen charakteristischen Gang in Abhängigkeit von *Leuchtkraftklasse und Spektraltyp*, der in Fig. III schematisch dargestellt ist. Die Stärke von He I 4471 ist im Bereich der frühen Typen nicht von der Leuchtkraft beeinflusst, die Umkehrung der Leuchtkraftabhängigkeit des Intensitätsverhältnisses ist daher wahrscheinlich auf den stärker werdenden Anteil von O II im Blend zurückzuführen, da die O II Linien bei hohen Leuchtkräften stärker sind und bei B1 ein scharfes Maximum erreichen. Die einzelnen numerischen Schätzwerte, die in der Abbildung die Übersichtlichkeit vermindert hätten, können den Spektraltafeln L1 ff entnommen werden.

Die vier Singulets (2), (7), (18) und (24) und die Triplets (5) und (21) können bei sorgfältigem Studium der Originalplatten aufgefunden werden bzw. sind als Anteile in verschiedenen Blends enthalten. Einzelheiten sind aus Tafel T I ersichtlich.

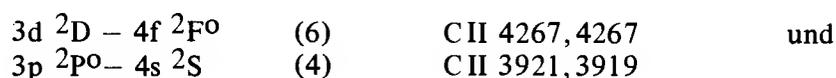
	<i>C III 4650 / He I 4471</i>						
	<i>(C III: blend with N III, N II, O II)</i>						
<i>Ia</i>		-	+	+	+	+	-
<i>Ia b</i>							
<i>Ib</i>	-	-	=	+	-	-	
<i>II</i>	-	=	=		-	-	-
<i>III</i>	=		=	=	-	-	-
<i>IV</i>						-	
<i>V</i>	+	-	-	-	-	-	-
	<i>O9</i>	<i>O9.5</i>	<i>B0</i>	<i>B0.5</i>	<i>B1</i>	<i>B2</i>	<i>B3</i>

Fig. III Das Intensitätsverhältnis  $\lambda 4650 : \text{He I } 4471$  in Abhängigkeit von Leuchtkraftklasse und Spektraltyp

Symbol = entspricht Intensitätsgleichheit  
 Symbol + entspricht stärkerer Absorption bei  $\lambda 4650$   
 Symbol - entspricht stärkerer Absorption He I 4471

## C II – Absorption

Linien des einfach ionisierten Kohlenstoffs treten in den frühen bis mittleren B-Sternen auf. Vor allem die Linien der stärksten Multipletts



sind recht deutlich.

Die ebenfalls starken Linien C II 6578, 6583 (2) fallen zu nahe mit  $H\alpha$  zusammen, um noch getrennt zu erscheinen.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Die C II Absorptionen zeigen nur eine schwache Leuchtkraftabhängigkeit.

Die genannten Linien erscheinen in den *hohen* Leuchtkräften geringfügig stärker und verschwinden bei etwas späteren Typen.

### Kohlenstoffverbindungen

Neben dem unter Wasserstoffverbindungen diskutierten Radikal CH ist CN in kühleren Sternen ab G5 bedeutend. Die Intensitätssprünge an den Bandenköpfen  $\lambda\lambda$  4216, 3883 und 3590 mit Depressionen nach der kurzwelligen Seite sind gute Leuchtkraftkriterien, weil sie in Sternen großer absoluter Helligkeit besonders markant auftreten. Da ein plötzlicher Intensitätsabfall im Kontinuum bei geringer Auflösung akzentuiert wird, haben wir hier spektrale Eigenschaften, die, wie der Balmerprung, bei kleinen Dispersionen besonders gut zu erkennen sind.

Allerdings ist beim Benutzen des Kriteriums Vorsicht geboten. Eine merkliche Schwächung der Bandenabsorption wird bei Sternen hoher Raumgeschwindigkeit (Population II) beobachtet. Die CN Banden können demnach auch als Kriterien in einem dreidimensionalen Schema verwendet werden.

### Sterne mit anomaler Kohlenstoffhäufigkeit (Kohlenstoff-Sterne)

Sowohl unter den heißen wie den kühlen Sternen gibt es Objekte, die sich durch ungewöhnlich starke Kohlenstofflinien auszeichnen, seien es die schon genannten Emissionen der Kohlenstoffsequenz der Wolf-Rayet Sterne, seien es die Absorptionsbanden von C<sub>2</sub> und CN in den R- und N-Sternen. Obgleich vor allem die letzteren Objekte ziemlich häufig sind – sie sind schon in der Harvard Sequenz vertreten –, fallen sie nicht in den Rahmen der vorliegenden Untersuchung.

## Stickstoff – N – 7

Das Element Stickstoff kommt in den Atlasspektren in doppelt und einfach ionisiertem und in neutralem Zustand vor.

### Emissionen

Wenn das N III Multiplett bei  $\lambda$  4640 zusammen mit He II 4686 in Emission auftritt, liefert es die „f“ Charakteristik der O-Sterne.

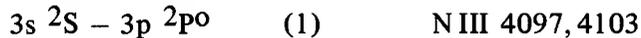
Erlaubte und verbotene N II Übergänge stellen bedeutende Emissionen der Novae im mittleren Entwicklungsstadium dar.

Die infraroten Multipletts (1) bis (3) des neutralen Stickstoffs kommen häufig als Emissionen in Novae nach dem Maximum vor.

### N III – Absorptionen

Im beobachteten Spektralbereich sind bei Linien der Multipletts (1), (2), (3), (4), (6) und (17) die gemessenen Laboratoriumsintensitäten besonders groß. Innerhalb dieser Gruppe kommen die stärksten Absorptionen in den vorliegenden Spektren als Blends mit anderen Elementen vor.

Die Linien des Übergangs



sind bei der kleinen Dispersion stets von H $\delta$  überdeckt, bewirken aber in den O9-Überriesen eine Verstärkung der hier schwachen Wasserstoffabsorption.

Die beachtliche Stärke von He I 4388 in den Klassen *geringerer* Leuchtkraft der O9-Sterne ist wahrscheinlich auf einen Anteil von N III 4379 (17) zurückzuführen. Die Linien des Multipletts



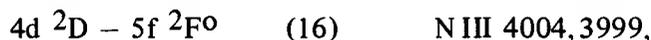
können von C III 4647, 4650, 4651 kaum getrennt werden, bewirken aber eine deutliche Verbreiterung der Absorption bei O9. Beim Spektraltyp B ist dagegen der Anteil der O II und N II Linien an der Verbreiterung vorherrschend.

Die Linien des Übergangs



sind stark in O9, schwächer in O9.5, als schwache Spur bis B0.5 vorhanden.

Die übrigen bedeutenden Linien der angegebenen Multipletts sind alle von starken H, He II oder O III Absorptionen überdeckt. Die Linien des Multipletts



sind vermutlich für die Absorption verantwortlich, die im Typ O9 nahe der N II 3995 Linie auftritt. Obgleich die Linien des doppelt ionisierten Stickstoffs in niederen Leuchtkräften sonst stärker erscheinen, ist das gesamte Blend in O9 Ia sehr deutlich und übertrifft die benachbarte Linie He I 4009.

Tafel T 1 zeigt außer den angegebenen Absorptionen Linien der Multipletts (14) und (15) und die unklassifizierten Linien N III 4289, N III 4291, N III 4291.

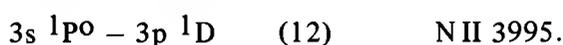
### Leuchtkraftabhängigkeit

Die oben angeführten N III Linien sind in Hauptreihensternen wesentlich stärker als in hohen Leuchtkraftklassen.

Die Linien N III 4515, 4511 sind insbesondere bei O9 gute Leuchtkraftindikatoren.

### N II – Absorptionen

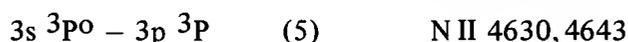
Die deutlichste und wichtigste der N II Linien ist das Singulett



In den absolut helleren Sternen stets stärker und in Klasse Ia bis B6 sichtbar ist es ein ausgezeichnetes *Leuchtkraftkriterium* der frühen Spektraltypen. Nur in B2Ia-Sternen ist N II 3995 stärker als die benachbarte Linie He I 4009 und damit ein eindeutiges Kennzeichen für diesen Typ. Es muß allerdings mit Sicherheit feststehen, daß es sich nicht um ein Blend mit N III 3999, 4004 handelt, eine Absorption, die bei O9-Überriesen ebenfalls stärker ist als die Heliumlinie (s. o.). Da sich O9-Supergiganten durch das sehr starke O III Blend bei  $\lambda$  3760 auszeichnen, sollte es jedoch leicht möglich sein, diese Sterne abzutrennen.

Das Blend N II 4242 (47), N II 4242, 4237, 4237 (48) ist im allgemeinen zu schwach, um als verlässliches Kriterium zu dienen, wird aber bei B0 gut sichtbar. Die starke Linie N II 4447 (15) kann durch das interstellare Band bei  $\lambda$  4430 verdeckt sein.

Zur Absorption bei  $\lambda$  4640 in frühen B-Sternen tragen zwei Linien des Multipletts



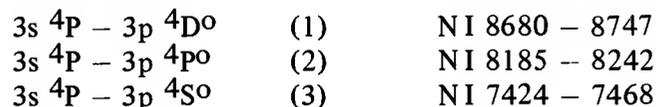
bei. Die kurzwelligen Linien des gleichen Multipletts, N II 4607, 4614, vielleicht auch N II 4601 und N II 4621, sind wahrscheinlich für eine in O9 – B1 bei  $\lambda$  4610 beobachtete Absorption verantwortlich. Sie ist vermutlich durch O II verstärkt.

Alle übrigen der stärkeren N II Linien liegen in der Grünlücke der Platte: auf überbelichteten Aufnahmen sind die Blends N II 5001, 5005 (19), N II 5005 (64) und N II 5667, 5680 (3) zu erwarten.

Tafel T 1 gibt Auskunft über die Lage der wahrscheinlich vorkommenden N II Linien.

## NI -- Absorptionen

Drei Blends im nahen Infraroten werden aus Linien der Multipletts



gebildet. Sie sind durch atmosphärische Absorptionen weitgehend verdeckt, sonst könnten sie in den hohen Leuchtkräften der Typen B – F eine Rolle spielen.

Das rote Multiplett (31) ist wahrscheinlich in  $\alpha$  Cyg vorhanden.

Die stärksten Blaulinien NI 4110 (10) und NI 4151 (6) sind in den mittleren Spektraltypen durch Absorptionen von Fe II und Zr II verdeckt.

Alle beobachteten oder vermuteten NI Linien können aus Tafel T 2 entnommen werden.

## Stickstoffverbindungen

Das Radikal CN ist unter Kohlenstoff besprochen. Andere Verbindungen, z. B. NH, spielen bei der kleinen Dispersion keine Rolle.

## Sterne mit anomaler Stickstoffhäufigkeit

In pekulieren Sternen (Ap, Bp) sind sowohl höhere als niedrigere Stickstoffhäufigkeiten beobachtet oder vermutet worden. Die Abweichungen werden im allgemeinen nur bei quantitativen Analysen festgestellt.

Die N-Sequenz der Wolf-Rayet Sterne zeigt eine deutliche Überhäufigkeit von Stickstoff.

## Sauerstoff – O – 8

Das Element Sauerstoff wird in den mittleren Spektraltypen in neutralem Zustand, in frühen Sternen in den beiden tiefsten Ionisationsstufen beobachtet.

### Emissionen

Erlaubte Übergänge von O III treten in WC-Sternen auf.

Die Multipletts (1) bei  $\lambda 7774$  und (4) bei  $\lambda 8446$  des neutralen Sauerstoffs kommen in Novae in Emission vor.

Eine Verstärkung des Blends O I 8446 ist nach Bowen auf Fluoreszenz, hervorgerufen durch Lyman  $\beta$ , zurückzuführen. Damit ist die Stärke der Emission ein Maß für die Stärke der ultravioletten Wasserstoffemission des Sterns bzw. der Durchlässigkeit der Novahülle für Lyman  $\beta$ -Strahlung. Interessant ist in diesem Zusammenhang die auffallende Variabilität der O I 8446 Intensität bei der Nova Delphini 1967.

Verbotene Übergänge von [O III], [O II], [O I] sind stark in Novae und bilden, nacheinander in der Reihenfolge wachsender Ionisierungsstufen und abnehmender Übergangswahrscheinlichkeiten auftretend, Charakteristika für verschiedene Entwicklungsstufen nach dem Ausbruch.

### O III – Absorptionen

Linien des zweifach ionisierten Sauerstoffs treten in den heißen Sternen bis B0.5 auf. Die wichtigste Erscheinung ist das Blend der Linien des stärksten Multipletts im beobachteten Spektralbereich



Die Linie Si IV 3762 liefert einen Beitrag.

Weitere Übergänge des gleichen Multipletts sind O III 3774, vermutlich für die Verstärkung von H 11 von O9 bis B0.5 verantwortlich, und die Linie O III 3791, die, möglicherweise mit einem Beitrag von Si III 3791, als schwacher Nachbar von H 10 auftritt. Die Absorption bei  $\lambda 3791$  ist in hohen Leuchtkräften von der dort scharfen Wasserstofflinie eben noch zu trennen.

Die stärkeren Linien der Multipletts (14) und (21) liegen in der Nähe der Wasserstofflinien H 15, H 16 und H 17 und tragen in den frühesten Typen zur Gesamtabsorption bei diesen Wellenlängen bei. Die starke Linie O III 3962 (17) ist von den Nachbarn He I 3965 und He verdeckt.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Die O III – Si IV Absorption bei  $\lambda 3760$  ist ein ausgezeichnetes Leuchtkraftkriterium für die frühesten Spektraltypen. Mit höherer Leuchtkraft schnell anwachsend erreicht sie die Stärke der benachbarten Balmerlinien in den Typen O9 Ia und O9.5 Ia.

### O II – Absorptionen

Die Übergänge des einfach ionisierten Sauerstoffs sind in den Spektren der Typen B0 – B3 sehr zahlreich und vor allem bei hohen Leuchtkräften ziemlich stark. Damit sind sie gute *Leuchtkraftindikatoren*.

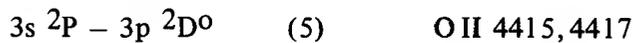
Die ersten drei Multipletts entsprechen den Übergängen der infraroten N I Linien (s. S. 33).

O II 4649, 4651 (1) verstärken in frühen B-Sternen die C III Absorption bei  $\lambda$  4650, während O II 4642, 4639 des gleichen Multipletts zusammen mit N II Linien das unmittelbar daneben liegende Blend  $\lambda$  4640 bilden. Die stärksten der übrigen Linien O II 4676, 4662 (1) treten als schwaches Blend in den Typen B0.5 bis B3 auf.

Zu beiden Seiten von H $\gamma$  erscheinen die Linien des ebenfalls bedeutenden Multipletts (2). O II 4349, 46, verstärkt durch die Linien O II 4351, 4347 (16), kann in hohen Leuchtkräften gerade noch von H $\gamma$  getrennt werden. Deutlich ist in absolut hellen Sternen des Typs B2 die Linie O II 4367, während das Blend O II 4317, 4320 bei B1 ein merkliches Maximum hat.

Zwei Linien des dritten Multipletts fallen mit H 12 bzw. H 15 zusammen, die dritte Linie O II 3727 erscheint als Blend mit Ne II 3727, trägt aber vermutlich bei B1 und B2 vorwiegend zur Gesamtabsorption bei.

Die stärksten Laborlinien des Multipletts



sind auch in den Spektren absolut heller, heißer Sterne stark.

Drei Linien des Multipletts



liefern bei B0 einen bedeutenden, später den überwiegenden Anteil zum Blend mit C III.

Schwächer und nicht mehr als verlässliche Kriterien zu gebrauchen sind folgende Linien: O II 4591, 4596 (15) O II 3912 (17) und O II 4190, 4185 (36). Die Linie O II 4119 (20) liefert wahrscheinlich einen schwachen Beitrag zu He I 4121. Die Linien O II 4710 (24), O II 4705, 4699 (25) und O II 4699 (40) bilden bei B2 und B3 ein Blend mit He I 4713.

## O I – Absorptionen

Das stärkste Multiplett



ist ein wichtiges *Leuchtkraftkriterium* der Typen A – G. Mit zunehmender absoluter Helligkeit wird das Blend sehr stark und kann auf optimal belichteten Platten noch zum Abtrennen der Klasse Ia<sup>+</sup> benutzt werden.

Das zweitstärkste Multiplett



liegt bei der kleinen Dispersion zu nahe an einer bedeutenden atmosphärischen Wasserdampfabsorption, um sicher abgetrennt werden zu können.

Weitere starke O I Multipletts im Roten und Infraroten können der Tafel T 2 entnommen werden.

### Sauerstoffverbindungen

Verschiedene Metalloxyde, vor allem Titanoxyd, spielen eine bedeutende Rolle in kühlen Sternen. TiO wird unter Titan besprochen, auch die andern werden im Zusammenhang mit dem betreffenden Metall erwähnt.

Sauerstoff hat auch den vorwiegenden Anteil an der *atmosphärischen* Bandenabsorption. Die stärksten Erscheinungen sind das Fraunhofersche A- und B-Band des Moleküls O<sub>2</sub>. Das a-Band des atmosphärischen H<sub>2</sub>O und weitere Wasserdampfabsorptionen sind in allen Tafeln, besonders ausführlich in T2, eingetragen.

### Sterne mit anomaler Sauerstoffhäufigkeit

In Silizium- und Europium-Chrom-Strontium-Sternen wird deutliche bis starke Sauerstoffdefizienz gefunden. In seltenen pekuliären Objekten wird auch von einer Überhäufigkeit berichtet.

### Fluor – F – 9

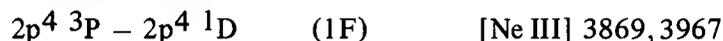
In den Spektren früher B-Sterne sind wahrscheinlich die ultravioletten Linien des ionisierten Fluors, F II 3506 – 3501 (3) vorhanden. Alle weiteren Linien sind durch starke Absorptionen anderer Elemente verdeckt.

### Neon – Ne – 10

Zweifach ionisiertes Neon tritt nur in verbotenen Übergängen und nur in Emission auf. Einfach ionisiertes Neon hat einige starke Linien im ultravioletten Teil des Spektrums, die in heißen Sternen sichtbar sind. Absorptionen des neutralen Neons werden in den gleichen Sterntypen im Grün-, Rot- und Infrarotbereich beobachtet.

### Emissionen

Die Interkombinationslinien



erscheinen in Novae in Emission. Während die langwellige Linie die Emission bei He verstärkt, kann [Ne III] 3869 zur stärksten UV-Linie im Nebelstadium werden, wie etwa in der Nova Delphini 1967.

## Ne II – Absorptionen

Die stärksten Multipletts im beobachteten Spektralbereich

$$3s \ 4P - 3p \ 4P^{\circ} \quad (1) \quad \text{und}$$

$$3s \ 2P - 3p \ 2D^{\circ} \quad (5)$$

sind mit ihren wichtigsten Linien vertreten:

Ne II 3664 (1) erscheint auf ausreichend belichteten Platten bis etwa B2 als stärkste Absorption im Raum zwischen den höchsten Gliedern der Balmerreihe und der Heliumlinie bei  $\lambda$  3634.

Ne II 3694 (1) ist bei O9 und O9.5 sichtbar, da die Linie bei diesen Typen noch nicht ganz von den benachbarten Absorptionen der Balmerreihe verdeckt ist.

Ne II 3713 (5) und Ne II 3710 (1) bewirken eine geringfügige Verstärkung von H 15 in O9 V.

Ne II 3727 (5) trägt vermutlich als Blend zur O II 3727 Absorption bei, die in den *hohen Leuchtkräften* der Typen B2 und B3 stark ist.

Zahlreiche Absorptionen im ferneren UV sind auf Linien der Multipletts (2), (9), (20) und (34) zurückzuführen. Sie sind der Tafel T I zu entnehmen.

## Ne I – Absorptionen

Die neutralen Neonlinien sind zu schwach, um als Klassifizierungskriterien Anwendung zu finden. Ihre Lage ist in Tafel T I eingezeichnet.

Sterne mit anomaler Neongehäufigkeit sind bisher nicht bekannt geworden.

## Natrium – Na – 11

Natrium kommt in Sternspektren wahrscheinlich nur im neutralen Zustand vor.

### Emissionen

Im früheren Stadium der Nova Delphini 1967 wurden die Natrium D-Linien als ziemlich starke Emission gefunden.

## Na I – Absorptionen

Die Linien des Fraunhofer D-Dubletts

$$3s \ 2S - 3p \ 2P^{\circ} \quad (1) \quad \text{Na I 5890, 5896}$$

des neutralen Natriums werden in zahlreichen Sterntypen beobachtet. Bei der vorliegenden Dispersion erscheinen sie nicht getrennt.

In O- und frühen B-Sternen sind die D-Linien *interstellaren* Ursprungs.

In Sternen später als A treten stellare Natriumlinien mit wachsender Intensität auf. Neben den gelben Linien können auch die stärksten Absorptionen des Multipletts (6) Na I 5688, 5683 in kühlen Sternen nachgewiesen werden.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Eine Leuchtkraftabhängigkeit der Natriumlinien wird bei F-bis M-Sternen beobachtet, ist aber komplex. Einzelheiten können den Tafeln L entnommen werden.

Aus der auffallenden Stärke der Natrium D-Linien in Nova Delphini 1967 kann auf bedeutendes Anwachsen der Absorption in sehr dünnen Atmosphären zumindest des Typs F geschlossen werden. Das stimmt mit dem in den Atlasspektren beobachteten Verhalten, insbesondere bei den Spektralklassen F5 und F8, überein.

Natriumverbindungen wurden bisher in Sternspektren nicht gefunden.

Häufigkeitsanomalien sind nicht bekannt.

## Magnesium – Mg – 12

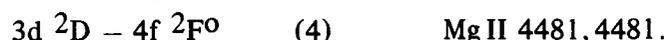
In B- und A-Sternen kommt Magnesium im einfach ionisierten Zustand vor. Linien des neutralen Magnesiums werden in den A- bis M-Sternen gefunden.

### Emissionen

Emissionslinien des einfach ionisierten und neutralen Magnesiums treten in einigen Veränderlichen, darunter Novae, auf, gehören aber nicht zu den bedeutenden Emissionen.

### Mg II – Absorptionen

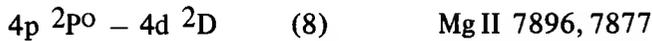
Der stärkste und wichtigste Übergang ist das Dublett



Die Linie wird auf den vorliegenden Spektren ab B2 sichtbar und ist bei hohen Leuchtkräften bis F zu erkennen. In frühen Typen ist sie allerdings nur schwer von der benachbarten Heliumlinie He I 4471 zu trennen, bei den späteren Sternen tragen benachbarte Fe II Linien zur Gesamtabsorption in diesem Wellenlängenbereich bei. Durch die Überlagerungen wird die *Leuchtkraftabhängigkeit* der Mg II Absorption teilweise überdeckt. Vor allem in den frühen Sternen bis B7 scheint sie jedoch in den absolut hellen Sternen stärker. Auch bei A2 ist die Stärke in den Überriesen auffallend.

Die Multipletts (9) Mg II 4434, 4428 und (10) Mg II 4391, 4385 sind in A-Überriesen zu erwarten, werden aber, wie auch die schwächere Linie Mg II 4534 (26), von starken Ti II und Fe II Linien überdeckt.

Das infrarote Dublett

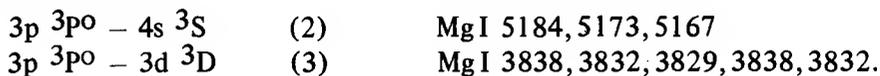


ist in  $\alpha$  Cyg sicher vorhanden.

Die Lage aller gefundenen oder vermuteten **Mg II Linien** ist der Tafel T 2 zu entnehmen.

### Mg I – Absorptionen

Zu den charakteristischen Absorptionen der kühleren Sterne gehören die beiden stärksten Multipletts des neutralen Magnesiums



Das grüne Triplet (2) ist die Fraunhofer b-Absorption.

Die Intensitäten beider Multipletts bei G0 V Sternen sind aus den Tafeln T 3 und R ersichtlich.

Die relativ starken Linien Mg I 4703 (11) und Mg I 4352 (14) und die im Sonnenspektrum deutlichen Linien Mg I 5711 (8), Mg I 4057 (16) Mg I 3987 (17) und Mg I 7388 (30) können ebenfalls in den oben genannten Abbildungen gefunden werden.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Das b-Triplett ist von F8 – K ein *ausgezeichnetes* Leuchtkraftkriterium. Mit abnehmender Temperatur wird es in den *niedrigen* Leuchtkraftklassen relativ zu den höheren zunehmend stärker. In Klasse M wird die Absorption durch eine starke TiO Bande verdeckt.

Das UV-Triplett läßt in den späten A-Sternen, vor allem aber in F0, die H 9 Linie durch Überlagerung sehr diffus erscheinen. Obgleich eine Leuchtkraftabhängigkeit im gleichen Sinne wie beim b-Triplett vorhanden ist, wird sie durch den starken Anteil anderer Absorptionen teilweise überdeckt. Ab G5 ist das Blend Mg I 3838, Fe I 3840, 3841 in *niederen* Leuchtkraftklassen stets stärker.

Einzelheiten können den Tafeln L entnommen werden.

### Magnesiumverbindungen

Von mehreren in Sternspektren beobachteten Magnesiumverbindungen werden die stärksten Absorptionen durch MgH hervorgerufen.

Der Bandenkopf MgH 4845 fällt mit einer TiO-Bande, MgH 5211 mit starken Linienabsorptionen zusammen. Aus dem schwach angedeuteten *Leuchtkrafteffekt*: Zunahme der Absorption bei abnehmender absoluter Helligkeit in den späten K- und frühen M-Sternen, wird auf eine Beteiligung der MgH Verbindung an der Gesamtabsorption bei diesen Wellenlängen geschlossen.

MgH 4782 ist in kühleren Sternen gut sichtbar, erscheint aber auch als Blend (11).

**Sterne mit anomaler Magnesiumhäufigkeit**

Unter den Ap-Sternen gibt es einige seltene, die sich durch besonders starke Magnesiumlinien auszeichnen.

Bedeutende Schwächung der Magnesiumhäufigkeit wird in „weak-lined“ Sternen beobachtet.

**Aluminium – Al – 13**

Zwei Linien des neutralen Aluminiums sind in den Atlasspektren der Typen A–M wichtig. Zweifach und einfach ionisiertes Aluminium kommt bei der benutzten Dispersion schwach vor.

Emissionslinien sind selten und schwach und spielen bei kleiner Auflösung keine Rolle.

**Al III – Absorptionen**

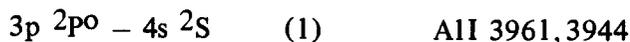
Al III ist in frühen Sternen mit den Multipletts (2) Al III 5696, 5723 und (3) Al III 4529, 4512, 4529 vertreten, liefert aber keine Klassifikationskriterien. Die Lage der Linien ist aus Tafel T 1 ersichtlich.

**Al II – Absorptionen**

Das erste Multiplett mit der Linie Al II 3901 scheint in  $\alpha$  Cyg vorhanden.

**Al I – Absorptionen**

Die starken Resonanzlinien



gelten bei großer Auflösung als gute Indikatoren für Spektraltyp und Leuchtkraftklasse. Hier sind sie zu sehr von den benachbarten Kalziumlinien verdeckt, um als getrennte Kriterien zu erscheinen. Sie tragen aber bei den kühlen Sternen ab G stark zur Gesamtabsorption im angegebenen Wellenlängenbereich bei.

**Aluminiumverbindungen**

AlO zeigt in normalen Sternspektren zu schwache Absorptionen, um hier wichtig zu sein.

**Häufigkeitsanomalien** kommen mit positivem und negativem Vorzeichen vor.

## Silizium – Si – 14

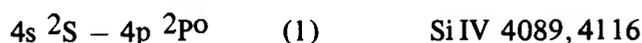
In den hier besprochenen Spektren ist Silizium das in den zahlreichsten Ionisationsstufen vorkommende Element. Es wird dreifach, zweifach und einfach ionisiert und in neutralem Zustand beobachtet.

### Emissionen

Emissionen des ein- bis dreifach ionisierten Siliziums werden als schwache Emissionen in WR-Sternen und einigen anderen Objekten gefunden. Si I 3905 Emission ist in Mira-Veränderlichen der Klassen M und S ziemlich häufig. Auch in N- und T Tauri-Sternen kann Si I in Emission vorkommen.

### Si IV – Absorptionen

Die Linien des stärksten Multipletts



gehören zu den wichtigsten Spektral- und Leuchtkraftkriterien der heißesten Sterne. Si IV 4089 ist bis B2 deutlich sichtbar, bei B3 noch als Spur vorhanden. Si IV 4116 liefert einen bedeutenden Anteil zum Blend mit He I 4121 in den frühesten Sternen.

Die Linie Si IV 3762 (3) trägt zum Blend der O III Absorptionen um  $\lambda$  3760 bei. Si IV 3773 (3) ist vermutlich für die Verstärkung von H 11 bei heißen Sternen verantwortlich. Das Blend bei  $\lambda$  4650 wird durch Si IV 4654 (7) verstärkt. Si IV 4631 (6) tritt im Blend mit N III Linien als Nachbar der Absorption bei  $\lambda$  4650 in den höheren Leuchtkräften von O9.5 deutlich hervor.

Si IV 4212 (5) ist schwach.

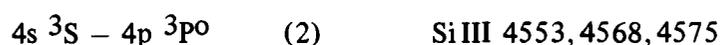
### Leuchtkraftabhängigkeit

Die Linie Si IV 4089 erreicht maximale Stärke bei den hohen Leuchtkräften der Spektraltypen O9.5 bis B1.

Auch das Blend Si IV 4116, He I 4121 ist bei B0 in den absolut helleren Sternen merklich verstärkt.

### Si III – Absorptionen

Zweifach ionisiertes Silizium kommt in frühen B-Sternen vor. Das stärkste Multiplett im beobachtbaren Spektralbereich



wird bei B1 und B2 als merkliche Absorption, in B0 und B0.5 schwächer beobachtet. Es ist wahrscheinlich bis B5 vorhanden.

Si III 3807 (5) bildet mit He I 3806 ein Blend, das von B0.5 bis B5 erscheint. Die Linie Si III 3791 des gleichen Multipletts verstärkt wahrscheinlich die Absorption O III 3791. Einige schwächere Si III Absorptionen und die starke, aber meist unterbelichtete Linie Si III 5740 (4) sind in Tafel T 1 verzeichnet.

**Leuchtkraftabhängigkeit**

Die Linien des Triplets (2) sind in den *hohen* Leuchtkräften der Spektralklassen B0.5 bis B2 merklich stärker.

Das Blend Si III 3807, He I 3806 ist in *höheren* Leuchtkräften besser zu erkennen als in Klasse V, wo es durch den starken Flügel von H 10 teilweise verdeckt wird.

Möglicherweise trägt die unklassifizierte Linie Si III 4717 neben O II zur Absorption He I 4713 in den *hohen* Leuchtkräften der mittleren B-Sterne bei.

**Si II – Absorptionen**

Si II Linien spielen vom Typ B3 an bis zu den F-Sternen eine bedeutende Rolle. Die fünf ersten Multipletts können in den vorliegenden Spektren nachgewiesen werden. Darunter sind die wichtigsten

$$\begin{array}{llll} 3p^2 \ ^2D - 4p \ ^2P^o & (1) & \text{Si II 3856, 3863, 3854} & \text{und} \\ 3d \ ^2D - 4f \ ^2F^o & (3) & \text{Si II 4131, 4128.} & \end{array}$$

Die Multipletts Si II 5056, 5041, 5056 (5), Si II 5979, 5958 (4) und Si II 6347, 6371 (2) liegen im meist schwach belichteten Teil des Spektrums. Ihre Positionen können zusammen mit denen einiger unklassifizierter Linien der Tafel T 2 entnommen werden.

**Leuchtkraftabhängigkeit**

Die Linien des Dubletts bei  $\lambda 4130$  gehören zu den besten Leuchtkraftkriterien der mittleren B- bis mittleren F-Sterne. Sie sind in *hohen* Leuchtkräften besonders stark und zeigen ein Maximum bei A5 Ia. Ab F5 bilden die Linien ein Blend mit Fe I 4132.

Im ultravioletten Teil des Spektrums sind die Linien des ersten Multipletts von B5 – F0 ein ebenso bedeutendes Leuchtkraftkriterium. In den kühleren Sternen erfolgt auch hier eine Überlagerung durch Fe I Absorption.

**Si I – Absorptionen**

Die wichtigste Linie des neutralen Siliziums Si I 3905 (3) wird in den frühen F-Sternen deutlich sichtbar. Sie ist in G0 V stark, tritt aber als Blend mit der ebenfalls starken Linie Fe I 3903 auf. Im infraroten Teil des Spektrums kühler Sterne werden mehrere Si I Linien beobachtet. Sie sind auf Tafel T 3 und Tafel R 6 zu finden.

**Sterne mit anomaler Siliziumhäufigkeit (Silizium-Sterne)**

Eine relativ große Anzahl unter den pekuliären A- und B-Sternen ist unter dem Namen Silizium-Sterne bekannt. Sie zeichnen sich insbesondere durch Verstärkung der Si II Linien (s. Si II 4128, 4131) aus. Beim Klassifizieren dieser Objekte muß darauf geachtet werden, daß man sie nicht mit Sternen hoher Leuchtkraft verwechselt, besonders dann, wenn die Siliziumlinien nur schwach verstärkt erscheinen.

## Phosphor – S – 15

Phosphorlinien sind in normalen Spektren bei kleiner Dispersion nicht mit Sicherheit nachzuweisen. P II und P III Linien sind in manchen pekulieren B- und A-Sternen (3 Centauri und einigen Mn-Sternen) stark.

## Schwefel – S – 16

Linien des zweifach und einfach ionisierten Schwefels scheinen in Spektren der vorliegenden Dispersion bei den frühen B-Sternen eben angedeutet.

### Emissionen

Die Interkombinationslinien



treten im Nebelstadium von Novae als ziemlich starke Emissionen auf.

### S III – Absorptionen

Einige schwache Absorptionen im Blau- und UV-Bereich, alle in der Nähe starker Linien anderer Elemente gelegen und daher etwas zweifelhaft, müssen, falls reell, dem Ion S III zugeordnet werden. Es handelt sich um die jeweils stärksten Linien der Multipletts (1), (4) und (8) und die nicht klassifizierte Linie S III 3497.

### S II – Absorptionen

Die stärksten Blaulinien des einfach ionisierten Schwefels S II 4153, 4163 (44) und S II 4163 (65) tragen möglicherweise zu den C III und O II Absorptionen bei  $\lambda$  4150 und  $\lambda$  4160 bei.

Zur Orientierung über die Lage der vermuteten Schwefellinien siehe Tafel T 1.

Schwefelverbindungen in Sternspektren sind nicht bekannt.

Häufigkeitsanomalien wurden bei größerer Dispersion in einigen Fällen beobachtet.

## Chlor – Cl – 17

Eine ziemlich starke ultraviolette Linie in frühen B-Sternen kann offenbar nur mit Cl II 3619 (77) identifiziert werden. Falls weitere Linien vorkommen handelt es sich um Blends mit stärkeren Absorptionen anderer Elemente.

## Argon – A – 18

In der Literatur wird einer auch auf den vorliegenden Spektren starken Absorption in  $\alpha$  Cyg ein Beitrag von AI4596 (9) zugeschrieben. Einige weitere blaue Argonlinien sind in Tafel T 1 eingezeichnet.

## Kalium – K – 19

Die einzigen stärkeren Kaliumlinien im Sonnenspektrum K I 7665, 7699 (1), die aber bei der kleinen Dispersion beide in die Absorption des atmosphärischen A-Bandes fallen, sind auf Tafel R 6 vermerkt.

## Kalzium – Ca – 20

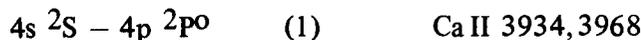
Das Element Kalzium liefert durch seine Absorptionen im einfach ionisierten und im neutralen Zustand die stärksten Linien der mittleren und späten Spektraltypen.

### Emissionen

Bedeutende Ca II Emissionen, vor allem die H- und K-Linien, werden bei Novae in den frühen Stadien beobachtet. Nova Vulpeculae 1968 I zeigte vor und unmittelbar nach dem Maximum das infrarote Multiplett (2) stark in Emission.

### Ca II – Absorptionen

Die starken Resonanzlinien des Übergangs



wurden zuerst von Fraunhofer im Sonnenspektrum beobachtet und werden als K und H bezeichnet. Im Maximum ihrer Stärke sind sie die hervorragendsten Absorptionen, die überhaupt in Sternspektren auftreten.

### Die interstellaren H- und K-Linien

Die häufig in O- und frühen B-Sternen beobachtete K-Linie ist interstellaren Ursprungs. Vor allem bei weit entfernten Objekten, d. h. in einem vorgegebenen Bereich scheinbarer Größe bei den absolut hellsten Sternen, kommt die K-Linie in merklicher Stärke vor. Mit der hier benutzten Dispersion lassen sich die Aufspaltung in mehrere Komponenten und deren von der Radialgeschwindigkeit des Sterns abweichende Geschwindigkeiten, außer bei den rasch expandierenden Novae, nicht feststellen.

Die interstellare H-Linie ist durch die starke benachbarte Wasserstofflinie He verdeckt.

## Die stellaren H- und K-Linien

Die stellare K-Linie erscheint in den Atlasspektren bei B8 als schwache, mit abnehmender Temperatur rasch zunehmende Absorption. Diese starke *Temperaturabhängigkeit* macht sie vor allem in den frühen A-Sternen, bei denen die anderen Metalllinien noch unbedeutend sind, zum wichtigsten *Spektralkriterium*. Die H-Linie geht bis zu den späten A-Sternen völlig in He unter. Bei späteren Typen leistet sie zunächst einen merklichen, später den weitaus überwiegenden Beitrag zur Absorption um  $\lambda 3970$ .

### Die Linien des Multipletts



sind ebenfalls sehr bedeutend, aber wegen ihrer Lage im wenig dispergierten Teil des Spektrums für die Atlasspektren nicht wichtig. Ihre Stärke bei G0 V im Vergleich mit anderen Absorptionen kann den Tafeln T 3 und R 6 entnommen werden.

Auch das dritte Multiplett mit den Linien Ca II 3737, 3706 ist vertreten. Beide Absorptionen erscheinen jedoch in den kühleren Sternen als Blends mit starken Eisenlinien.

### Leuchtkraftabhängigkeit

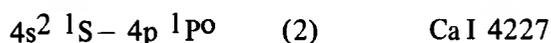
Die Leuchtkraftempfindlichkeit der H- und K-Linien selbst ist wahrscheinlich schwach, wird aber durch den Beitrag von He zu H bei den mittleren Typen, von Metalllinien zu K bei den späten Sternen, etwas verstärkt.

In den Spektralklassen F8 – G5 sind die Absorptionen an den Stellen der H- und K-Linien in den höheren Leuchtkraftklassen stärker.

Das Verhältnis H + He/K ist in den mittleren A- bis frühen F-Sternen von der absoluten Helligkeit abhängig und liegt bei höheren Leuchtkräften dem Wert 1 näher.

## Ca I – Absorptionen

### Die Resonanzlinie



ist vom Spektraltyp A an schwach sichtbar. Mit abnehmender Temperatur und abnehmender Leuchtkraft stark wachsend gehört sie zu den besten *Temperatur- und Leuchtkraftindikatoren* der K- und M-Sterne. Bei M2 V erreicht ihre Stärke fast die der H- und K-Linien.

Zahlreiche weitere Absorptionen des neutralen Kalziums tragen zum Linienbild der G-bis M-Sterne bei, in den Spektren kleiner Dispersion allerdings vorwiegend als Blends mit Linien anderer Elemente. Vertreten sind die Multipletts (3), (4), (5), (9), (18), (20), (22) und (23). Ca I 6718 (32), eine der stärksten Laboratoriumslinien, ist bei guter Belichtung zu erkennen.

Die Orte aller genannten Absorptionen und ihre Intensitäten bei G0 V sind aus den Tafeln T 3 und R 1 – R 6 ersichtlich.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Auf die Bedeutung von Ca I 4227 als Leuchtkraftkriterium wurde schon hingewiesen. Wegen der starken Temperaturempfindlichkeit der Linie kann das Kriterium jedoch nie allein benutzt werden.

Da viele der Blends, an denen die übrigen Kalziumlinien beteiligt sind, leuchtkraftempfindliche Linien anderer Elemente enthalten, wird die Leuchtkraftabhängigkeit der Ca I Absorptionen verdeckt.

**Kalziumverbindungen** werden in den Atlasspektren nicht gefunden.

#### **Sterne mit anomaler Kalziumhäufigkeit**

Metallliniensterne und einige Ap-Sterne haben auffallend schwache Kalziumlinien. Quantitative Analysen ergeben, daß in diesen Fällen eine Kalziumdefizienz vorliegt.

## **Scandium – Sc – 21**

Einfach ionisiertes Scandium zeigt in den mittleren und späten Spektraltypen mehrere unbedeutende Absorptionen.

#### **Sc II – Absorptionen**

Die stärkste Linie  $a^1D - z^1D^0$  (7) Sc II 4247, von einem metastabilen Niveau ausgehend, erscheint bei A- und F-Sternen mit einem schwachen Beitrag von Cr II 4242, später als Blend mit einer in G etwa gleich starken Eisenlinie\*).

Die stärksten Multipletts (2) und (3) im Ultravioletten, (15) und (24) im Blaubereich und (29) im Grünen sind mit einigen ihrer Linien vertreten.

Die beobachteten oder vermuteten Scandiumlinien sind in den Tafeln T 2 und T 3 zu finden.

**Leuchtkrafteffekte** sind bei den Sc II Linien wegen ihrer Schwäche nicht ausgeprägt.

**Scandiumverbindungen** ergeben keine genügend starken Absorptionen, um in Spektren kleiner Dispersion zu erscheinen.

#### **Sterne mit anomaler Scandiumhäufigkeit**

In Metallliniensternen wird eine Scandiumdefizienz gefunden, die aber bei der Schwäche der Scandiumlinien in Spektren kleiner Dispersion nicht auffällt.

## **Titan – Ti – 22**

Linien des einfach ionisierten und des neutralen Titans sind in Sternspektren mittlerer und niedriger Temperatur sehr zahlreich. Hinzu kommt bei M-Sternen das Titanoxyd, eine der wichtigsten stellaren Verbindungen.

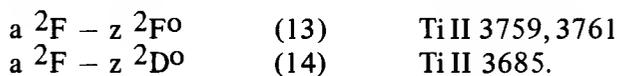
\*) Bei komplexen Atomen sind die Energiezustände nicht mehr eindeutig durch die Terme ( $^1D$ ,  $^3F$  usw.) zusammen mit den Symbolen für die äußersten Valenzelektronen (4s, 5p usw.) gekennzeichnet. Nach Charlotte Moore, Lit. (4), p. XVIII werden die Terme dann mit den vereinfachten Angaben a, b, . . . für die tieferen und z, y, . . . für die höheren Niveaus versehen.

## Emissionen

Ti II Emissionen sind vermutlich in solchen Novae vorhanden, in denen Fe II stark in Emission vorkommt, z. B. Nova Delphini 1967.

## Ti II – Absorptionen

Von einem stark metastabilen Niveau entstehen die Linien



Die Absorptionen des Multipletts (13) werden bei der benutzten Dispersion in B8 Überriesen zuerst schwach sichtbar. Mit abnehmender Temperatur rasch zunehmend bilden sie ein charakteristisches Blend, eines der besten *Leuchtkraftkriterien* bis F0. In späteren Typen sind starke Fe I Linien überlagert, und die Leuchtkraftabhängigkeit geht verloren.

Die Linie Ti II 3685 trägt in den frühen A-Überriesen merklich zur Verstärkung des Blends H 19, H 20 bei. Ab A3 wird ihr Einfluß auch bei geringer absoluter Helligkeit sichtbar. Die Linie kann bei den frühen A-Sternen demnach ebenfalls zur *Leuchtkraftklassifizierung* benutzt werden. Im Typ G ist eine Eisenlinie von etwa gleicher Intensität überlagert.

Die prominentesten der übrigen Absorptionen liegen im Ultravioletten. Auf gut belichteten Platten sind Linien der Multipletts (1), (16) und (52) sichtbar. Wichtiger, weil im allgemeinen besser erkennbar, sind die beiden stärksten Linien des Multipletts (34), Ti II 3900, 3913.

Zum G-Band, das in kühlen Sternen einen starken Anteil von CH Absorption zeigt, tragen auch die Elemente Titan und Eisen bei. Vor allem in früheren Spektraltypen und höheren Leuchtkräften sind die Linien der Multipletts (41), Ti II 4290, 4300, 4302, 4308, 4313 und (20) Ti II 4294 wesentlich beteiligt. Schwache Spuren erscheinen schon bei B8. In frühen A-Sternen ist das G-Band bei den hohen Leuchtkräften wesentlich stärker als in Zwergen. Mit Einsetzen der überlagerten Bandenabsorption, etwa beim Typ F, verliert das Band die starke Leuchtkraftabhängigkeit.

Von den zahlreichen Absorptionen des einfach ionisierten Titans sind die Multipletts (6), (7), (18), (31), (50), (51), (72), (73), (75), (82), (88), (98), (99), (104), (105), (107) wahrscheinlich, die Multipletts (11), (12), (15), (21), (42), (49), (59), (61), (76), (87), (103), (114) möglicherweise vertreten. Die Lage der Linien ist Tafel T 2, teilweise auch T 3 zu entnehmen.

## Leuchtkraftabhängigkeit

Wie schon angedeutet ist das Blend Ti II 3759, 3761 in Supergiganten besonders ausgeprägt und nimmt in den erwähnten Spektralklassen nach den Zwergsternen hin bedeutend ab. Hervorzuheben ist die ungewöhnliche Intensität der Absorption in Nova Delphini 1967, wo sie während der ersten Monate nach dem Ausbruch den H- und K-Linien vergleichbar war und mit diesen das Absorptionsspektrum beherrschte. Auch die Linie Ti II 3685 war in Nova Del auffallend.

Bezüglich der Leuchtkraftabhängigkeit der Absorption an der Stelle des G-Bandes sei auf den vorigen Abschnitt hingewiesen.

*Bedeutende Verstärkung in ausgedehnten Atmosphären zeigen alle hier beobachteten Ti II-Linien.*

### Ti I–Absorptionen

Neutrales Titan wird in den Atlassepektren etwa ab G0 beobachtet, und nimmt mit den späten Spektraltypen zu. Die Linien treten meist als Blends mit Absorptionen anderer Elemente auf. Zu den stärksten Linien zählen Ti I 3990, 3999 (12). Das Multiplett (44) trägt mit Ti I 4299, 4301, 4301, 4306 zum G-Band bei. Zu erwähnen sind noch die Multipletts (38), (42) und (145).

Alle für die Beobachtung in den vorliegenden Spektren ausreichend starken Ti I Linien sind in Tafel T 3 angegeben.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Die Absorption bei  $\lambda 3998$ , die in den Spektralklassen F0–M2 in hohen Leuchtkräften wesentlich stärker ist als in Hauptreihensternen, enthält Anteile von

$$a \text{ } ^3\text{F} - y \text{ } ^3\text{F}^0 \quad (12) \quad \text{Ti I } 3999, 3990$$

neben Fe I 3997, 3998.

### Titanverbindungen

Titanoxydbanden sind die stärksten molekularen Absorptionen in normalen Sternspektren. Ab M0 in den Atlasaufnahmen deutlich sichtbar, werden sie mit abnehmender Temperatur so stark, daß sie das Spektrum von Blau bis Infrarot völlig beherrschen.

### Sterne mit anomaler Titanhäufigkeit

Geringe Überhäufigkeiten von Titan werden in einigen Ap- und Bp-Sternen gefunden.

## Vanadium – V – 23

Das Element Vanadium wird im einfach ionisierten und im neutralen Zustand beobachtet. Vanadiumoxyd spielt bei sehr kühlen Sternen eine Rolle.

Emissionslinien von Vanadium sind selten.

### V II – Absorption

Zahlreiche mäßig starke Absorptionen in  $\alpha$  Cyg, verschiedene davon auf der kurzwelligen Seite der Balmergrenze, müssen dem Ion V II zugeordnet werden. Es sind vor allem die stärksten Linien der Multipletts (4) V II 3590, 3592, (5) V II 3545, 3557, (6) V II 3504, 3517, (10) V II 3952 und (32) V II 4006, die nicht als Blends mit starken Linien anderer Elemente vorkommen. Die Lage zahlreicher weiterer Absorptionen ist aus Tafel T 2 ersichtlich.

### **Leuchtkraftabhängigkeit**

Es wird vermutet, daß die Linien des ionisierten Vanadiums in den hohen Leuchtkräften besonders stark sind.

### **VI – Absorptionen**

Wenige schwache Linien des neutralen Vanadiums erscheinen in den Spektren der kühlen Sterne. Sie sind in Tafel T 3 eingetragen.

### **Vanadiumverbindungen**

VO Banden im nahen Infraroten sind bei späten M-Sternen stark und können bei kleiner Dispersion zur Klassifizierung herangezogen werden. Beispiele für die sehr kühlen Objekte werden von Morgan nicht gegeben. Daher sei auf die Arbeiten von Nassau et al. hingewiesen, vgl. Literaturverzeichnis (9) und (10).

Geringfügige Häufigkeitsanomalien von Vanadium sind in einigen pekulieren Sternen gefunden worden.

## **Chrom – Cr – 24**

Linien des ionisierten Chroms gehören neben denen des Ti II und Fe II zu den häufigsten Absorptionen der mittleren Spektraltypen. Linien des neutralen Chroms werden mit zunehmender Stärke in den kühleren Sternen beobachtet.

Emissionslinien kommen in einigen Veränderlichen, darunter TTauri-Sternen vor.

### **Cr II – Absorptionen**

Einige der stärksten Linien auf der kurzwelligen Seite der Balmergrenze in  $\alpha$  Cyg sind Cr II Absorptionen: Cr II 3512 (2), Cr II 3513 (107), Cr II 3585 (13) und Cr II 3631, 3632 (12). Cr II 3678 (12) verstärkt die Wasserstoffabsorption H 21 erheblich. Viele, vor allem der langwelligeren Cr II Absorptionen, treten als Blends auf. Linien von wenigstens 28 Multipletts sind in Tafel T 2 eingezeichnet.

### **Leuchtkraftabhängigkeit**

Cr II ist an verschiedenen Blends beteiligt, die bei den Typen A2 – F5 in den höheren Leuchtkräften stärker sind. Allgemein ist eine größere Intensität der Cr II Linien in den absolut helleren Sternen zu erwarten.

**Cr I – Absorptionen**

Die Linien der Übergänge

$a\ ^7S - z\ ^7P^o$	(1)	Cr I 4254, 4275, 4290
$a\ ^7S - y\ ^7P^o$	(4)	Cr I 3579, 3593, 3605

sind bedeutende Absorptionen in den späten Spektraltypen, die mit abnehmender Temperatur stark zunehmen. Die Intensitäten bei G0 V können den Tafeln T 3 und R1–R6 entnommen werden.

**Leuchtkraftabhängigkeit**

Ab G5, besonders aber von den frühen K-Sternen an, ist Cr I 4290 in den hohen Leuchtkräften bedeutend stärker als in den niedrigen. In M2 Ia wird die Stärke der Absorption gleich der des G-Bandes. Das Fehlen einer entsprechenden Leuchtkraftabhängigkeit für die Linien Cr I 4254 und Cr I 4275 ist möglicherweise mit der Überlagerung dieser Absorptionen durch starke Fe I Linien zu erklären.

**Chromverbindungen** konnten bisher in Sternspektren nicht nachgewiesen werden.

**Sterne mit anomaler Chromhäufigkeit (Chrom-Sterne, Chrom-Europium-Sterne)**

Eine wichtige Klasse der Ap- und Bp-Sterne sind die Chrom-Sterne. Sie zeichnen sich durch ungewöhnlich starke Cr II Absorptionen aus. Häufig tritt diese Pekuliarität zusammen mit Verstärkung der Sr II, der Sr II und Eu II, der Si II oder anderer Linien auf.

**Mangan – Mn – 25**

Mangan erscheint hauptsächlich in der neutralen Form.

**Mn I – Absorptionen**

Das wichtigste Triplet

$a\ ^6S - z\ ^6P^o$	(2)	Mn I 4031, 4033, 4034
---------------------	-----	-----------------------

tritt in allen Fällen als Blend mit

$a\ ^6D - z\ ^6D^o$	(5)	Mn I 4036 . . . . .
---------------------	-----	---------------------

auf, einem Übergang von einem metastabilen Niveau.

Das Blend wird von den frühen A-Sternen an beobachtet und nimmt mit abnehmender Temperatur stark zu. Ab G0 bildet es, zunächst in den schwächeren Leuchtkraftklassen, später in allen Typen eine charakteristische Doppellinie mit Fe I 4046.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Die Leuchtkraftabhängigkeit ist merklich. Das Blend erscheint in den höheren Leuchtkräften stets stärker.

### Sterne mit anomaler Manganhäufigkeit (Mangan-Sterne)

Eine Untergruppe der pekuliaren A-Sterne sind die Mangan-Sterne. Sie zeichnen sich durch bedeutend verstärkte Mn II Linien aus, die oft in Begleitung von starken Quecksilberlinien auftreten.

## Eisen – Fe – 26

Eisen ist das bei weitem wichtigste der in Sternspektren beobachteten Metalle. Seine große kosmische Häufigkeit (iron-peak) wird durch starke Absorptions- und Emissionsspektren deutlich. Wegen der geringen Anregungsenergien des neutralen Eisens bestimmen seine Linien vorwiegend die Absorptionsmuster der F- bis M-Sterne.

Eisen wird in astronomischen Spektren in einer größeren Zahl von Ionisationsstufen beobachtet als irgendein anderes Element. Emissionen sehr hoch ionisierter Eisenatome (bis zu 16-fach) werden im Nebelstadium einiger Novae gefunden; ähnlich hohe Ionisationsstufen treten in der Sonnenkorona auf.

Normale Sterne zeigen Linien des neutralen und einfach ionisierten Eisens, wenn sie mit der hier benutzten Dispersion beobachtet werden.

### Emissionen

Fe II Emissionen können in langsamen Novae sehr hohe Stärken erreichen. Bei Nova Delphini waren wenigstens 15 Fe II Multipletts in Spektren kleiner Dispersion sichtbar. T-Tauri-Sterne und verwandte Objekte, wie auch einige andere Sterntypen, zeigen ebenfalls Emissionen des einfach ionisierten Eisens.

Starke Fe I Emissionen werden in langperiodischen Veränderlichen gefunden.

### Fe II – Absorptionen

Fe II Absorptionen werden in den Atlasspektren ab Typ B8 bis zu den mittleren G-Sternen beobachtet; sie zeigen ein Maximum bei den frühen F-Sternen.

Zu den charakteristischsten und stärksten Absorptionen gehören die Hauptlinien der Multipletts

b $4P - z$ $4D^{\circ}$	(27)	Fe II 4233, 4352, 4417, 4173, 4303, 4385 . . . . .
b $4P - z$ $4F^{\circ}$	(28)	Fe II 4179, 4297 . . . . .
b $4F - z$ $4F^{\circ}$	(37)	Fe II 4629, 4556, 4515, 4491, 4520 . . . . .
b $4F - z$ $4D^{\circ}$	(38)	Fe II 4584, 4549, 4523, 4508 . . . . .
a $6S - z$ $6P^{\circ}$	(42)	Fe II 5169, 5018, 4924.

Linien dieser Übergänge und zahlreicher anderer, die in Spektren kleiner Dispersion gefunden werden, sind auf Tafel T 2 dargestellt; einige der stärksten, bis zu den späten Typen sichtbaren Absorptionen können der Tafel T 3 entnommen werden.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Linien des einfach ionisierten Eisens erscheinen in früheren Spektraltypen, dauern fort bis zu späteren und sind allgemein stärker in *höheren* Leuchtkraftklassen.

### Fe I – Absorptionen

Fe I Absorptionen werden in den Atlasspektren zuerst in frühen A-Sternen sichtbar. Beginnend mit den frühen F-Sternen ersetzen die neutralen Eisenlinien das Muster der Balmerlinien im ultravioletten Teil des Spektrums und dauern fort bis zu den kältesten Sternen, wo sie zu den wichtigsten Absorptionen gehören.

Die stärksten Linien des neutralen Eisens stammen von den Übergängen

a $5D - z$	$5D^0$	(4)	Fe I 3860, 3879 . . . . .
a $5D - z$	$5F^0$	(5)	Fe I 3720, 3737 . . . . .
a $5D - z$	$5P^0$	(6)	Fe I 3441 . . . . .
a $5F - y$	$5D^0$	(20)	Fe I 3820, 3826 . . . . .
a $5F - y$	$5F^0$	(21)	Fe I 3735, 3749, 3758 . . . . .
a $5F - z$	$5G^0$	(23)	Fe I 3581, 3631, 3619 . . . . .
a $5F - z$	$3G^0$	(24)	Fe I 3570 . . . . .
a $3F - z$	$5G^0$	(41)	Fe I 4383, 4405, 4415 . . . . .
a $3F - z$	$3G^0$	(42)	Fe I 4326 . . . . .
a $3F - y$	$3F^0$	(43)	Fe I 4046, 4064, 4072 . . . . .
a $3F - y$	$3D^0$	(45)	Fe I 3816 . . . . .

Im Roten und nahen Infraroten spielen die stärksten Laboratoriumslinien der Multipletts (168), (268) und (1077) eine Rolle.

Die Positionen der wichtigsten Linien des neutralen Eisens und ihre Stärken bei G0 V sind auf den Tafeln T 3 und R1–R6 verzeichnet.

Eisenverbindungen sind bisher nicht mit Sicherheit in Sternspektren identifiziert worden.

### Sterne mit anomaler Eisenhäufigkeit

Häufigkeitsanomalien der Eisengruppen-Elemente Ti, Cr, Mn und Fe werden in Mangan-Sternen beobachtet.

### Kobalt – Co – 27

Zahlreiche Linien des neutralen Kobalts treten in Sternen später als Typ F auf, erreichen aber keine großen Stärken.

### Co I – Absorptionen

Die meisten der mittelstarken Kobaltlinien liegen im ultravioletten Teil des Spektrums. Leicht zu identifizieren ist das blaue Dublett

$$a \ 2F - z \ 2G^{\circ} \quad (28) \quad \text{Co I } 4121, 4119.$$

Alle Linien, die in den Atlasspektren gefunden wurden, sind auf Tafel T 3 verzeichnet.

Die allgemein unbedeutenden Kobaltlinien liefern *keine Leuchtkraftkriterien*.

**Kobaltverbindungen** wurden bisher in Sternatmosphären nicht nachgewiesen.

### Nickel – Ni – 28

Zahlreiche starke Linien in Sternen des Typs G oder später stammen von Übergängen des neutralen Nickels. Einfach ionisiertes Nickel tritt in A- und F-Sternen auf.

#### Ni II – Absorptionen

Die Multipletts (1), (4), (9), (11) und (12) tragen Linien bei, von denen einige vor allem in Übergiganten beträchtliche Stärke annehmen. Sie gehören daher zu den guten *Leuchtkraftindikatoren*. Ihre Positionen sind auf Tafel T 2 gegeben.

#### Ni I – Absorptionen

In den kühleren Sternen erreichen mehrere ultraviolette Linien des neutralen Nickels die Stärke einiger Linien des neutralen Eisens.

Die stärksten Multipletts sind

a $3D - z \ 5F^{\circ}$	(17)	Ni I 3462 . . . . .
a $3D - z \ 3P^{\circ}$	(18)	Ni I 3524, 3493 . . . . .
a $3D - z \ 3F^{\circ}$	(19)	Ni I 3415, 3515, 3458 . . . . .
a $1D - z \ 1F^{\circ}$	(35)	Ni I 3619
a $1D - z \ 1D^{\circ}$	(36)	Ni I 3566.

Die Lage der wichtigsten Linien des neutralen Nickels und ihre Intensitäten bei G0 V sind auf den Tafeln T 3 und R1–R6 angegeben.

**Nickelverbindungen** wurden bisher in Sternspektren nicht gefunden.

Auf mögliche **Häufigkeitsanomalien** von Nickel ist in der Literatur hingewiesen worden. In Spektren kleiner Dispersion sind sie nicht erkennbar.

Linien der neun Elemente *Kupfer, Zink, Gallium, Germanium, Arsen, Selen, Brom, Krypton und Rubidium* spielen in den Spektren normaler Sterne bei kleiner Dispersion keine Rolle.

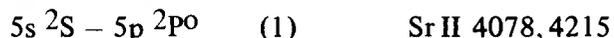
*Gallium* und *Krypton* zeigen in manchen Ap-Sternen bedeutende Überhäufigkeiten.

## Strontium – Sr – 38

Einfach ionisiertes Strontium wird in frühen A- bis M-Sternen gefunden. Linien des neutralen Strontiums sind bei kleiner Dispersion nicht wichtig.

### Sr II – Absorptionen

Die starken Linien



sind in den Spektren der mittleren und späten Spektraltypen wohlbekannt. In den kühlestern erreicht eine Eisenlinie, die der langwelligen Strontiumlinie überlagert ist, bedeutende Stärke. Ebenso ist die gleiche Strontiumlinie vom Kopf der CN Bande bei  $\lambda$  4216 von den mittleren G-bis zu den mittleren K-Sternen überdeckt.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Die genannten Strontiumlinien gehören zu den wichtigsten Leuchtkraftindikatoren, da sie in Sternen hoher Leuchtkraft immer bedeutend stärker sind als bei geringerer absoluter Helligkeit. Die Kriterien, deren Brauchbarkeit noch dadurch erhöht wird, daß sie in einem leicht zugänglichen Bereich des Spektrums liegen, müssen allerdings mit Vorsicht benutzt werden: Strontium tritt in einigen pekulieren A-Sternen mit ungewöhnlicher Stärke auf.

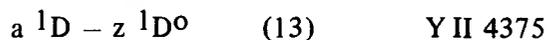
### Häufigkeitsanomalien des Strontiums (Strontium-Sterne)

Ap-Sterne zeigen zum Teil sehr starke Strontiumlinien, die zusammen mit bedeutenden Absorptionen von Chrom, Europium und anderen Elementen auftreten können.

## Yttrium – Y – 39

Einige Linien des einfach ionisierten Yttriums werden in Spektren kleiner Dispersion bei F-Sternen vermutet; sie erscheinen allerdings immer als Blends mit starken Linien anderer Metalle.

Eine der stärksten Laboratoriumslinien



wird von Sc II 4374 überlagert.

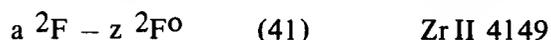
#### Leuchtkraftabhängigkeit

Linien des einfach ionisierten Yttriums – wie die fast aller einfach ionisierten Metalle – erscheinen in Sternen hoher Leuchtkraft stärker als bei Sternen schwächerer absoluter Helligkeit.

Yttrium ist in Ap-Sternen überhäufig.

### Zirkon – Zr – 40

Eine der stärksten Laboratoriumslinien und die stärkste im blauen Teil des Spektrums



wird in frühen F-Sternen zusammen mit einigen weiteren Linien des einfach ionisierten Zirkons gefunden.

Linien des einfach ionisierten und neutralen Zirkons sind in S-Sternen ziemlich stark, erscheinen aber nur bei höherer Dispersion.

#### Leuchtkraftabhängigkeit

Zr II Linien sind bei hohen Leuchtkräften stärker.

#### Zirkonverbindung

ZrO Absorptionen sind die stärkste Charakteristik der S-Sterne; sie ersetzen dort die TiO Banden der normalen M-Sterne.

Zirkon ist in Ap- und S-Sternen überhäufig.

### Niob – Nb – 41

bis

### Cäsium – Cs – 55

Linien der 15 Elemente *Niob, Molybdän, Technetium, Ruthenium, Rhodium, Palladium, Silber, Kadmium, Indium, Zinn, Antimon, Tellur, Jod, Xenon und Cäsium* spielen in den Spektren normaler Sterne bei kleiner Dispersion keine Rolle.

Die Entdeckung von *Technetium* in Sternspektren hoher Auflösung ist von überragender Bedeutung im Zusammenhang mit stellaren Kernprozessen.

*Xenon* ist in Ap-Sternen überhäufig.

## Barium – Ba – 56

Die beiden stärksten Laboratorium-Multipletts

$6s\ 2S - 6p\ 2P^o$	(1)	Ba II 4554, 4934
$5d\ 2D - 6p\ 2P^o$	(2)	Ba II 6142, 6497, 5854

sind in Spektren kleiner Dispersion bei mittleren bis späten Sternen – allerdings als Blends mit Linien anderer Elemente – vertreten.

Alle Linien, außer der schwächeren Absorption Ba II 5854, sind auf Tafel T 3 dargestellt.

### Leuchtkraftabhängigkeit

Ba II Linien sind wichtige Leuchtkraftindikatoren in F- bis K-Sternen, da sie in Sternen hoher Leuchtkraft stets bedeutend stärker sind.

### Sterne mit anomaler Bariumhäufigkeit (Barium-Sterne)

Ungewöhnlich starke Ba II Linien werden in einigen Sternen der Typen G und K gefunden (Ba II-Sterne) und in S-Sternen.

## Seltene Erden

bis

## Transurane

Keines der Elemente schwerer als Barium hat Linien, die in den Spektren normaler Sterne bei kleiner Dispersion von Bedeutung sind.

### Häufigkeitsanomalien

Verschiedene *seltene Erden* zeigen in Ap-Sternen starke *Überhäufigkeit*.

Die Linien seltener Erden sind in S-Sternen verhältnismäßig stark.

Einfach ionisiertes *Europium* – *Eu* – 63 ist in Europium- und anderen pekuliaren Sternen wichtig. Die Linien der Multipletts Eu II 3820, 4130, 4205 (1) und Eu II 3972, 3930, 3907 (5) können sehr stark werden. Sie erfahren häufig periodische Veränderungen in magnetischen Sternen.

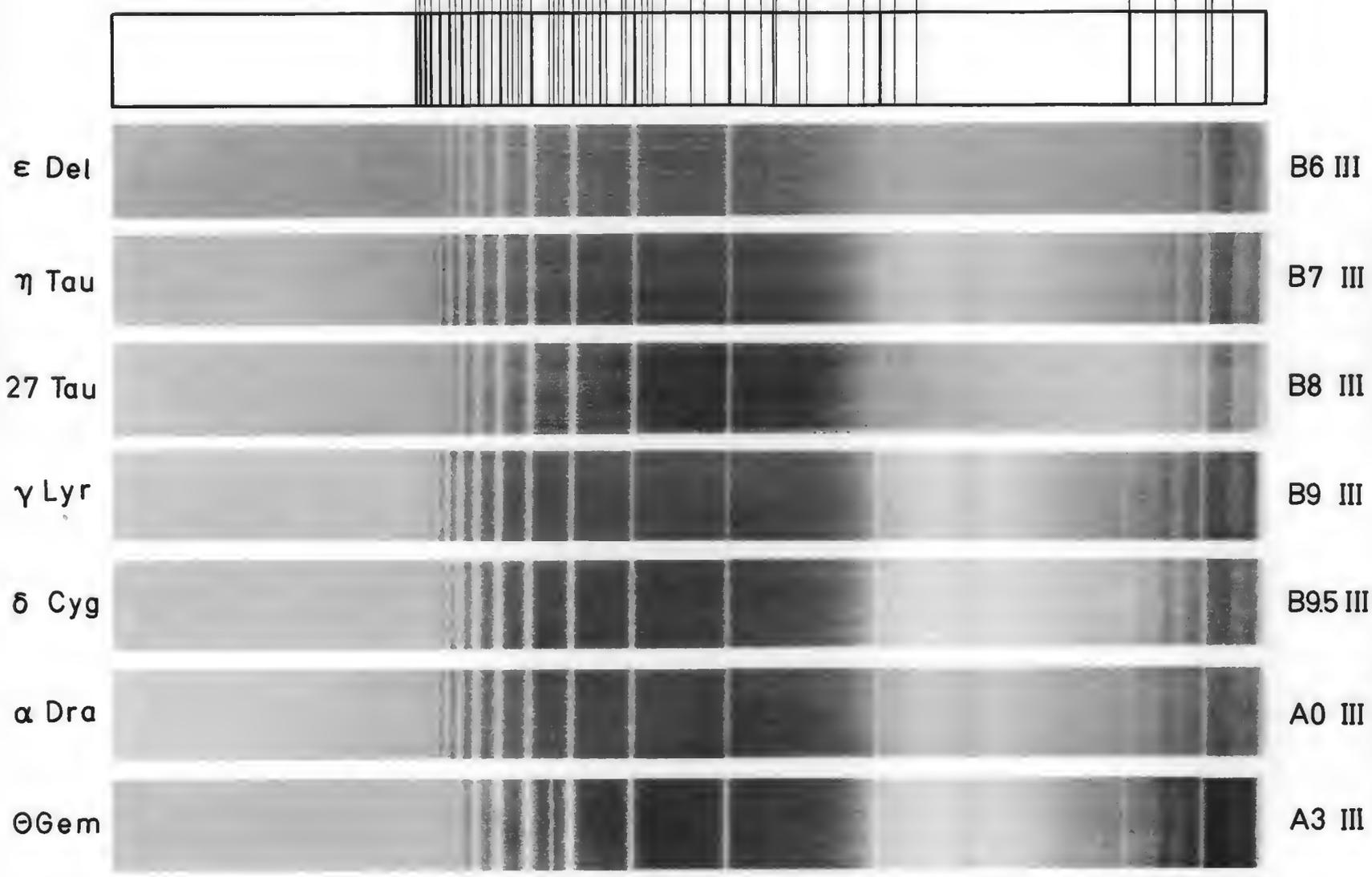
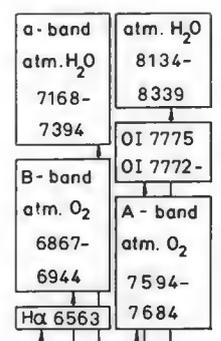
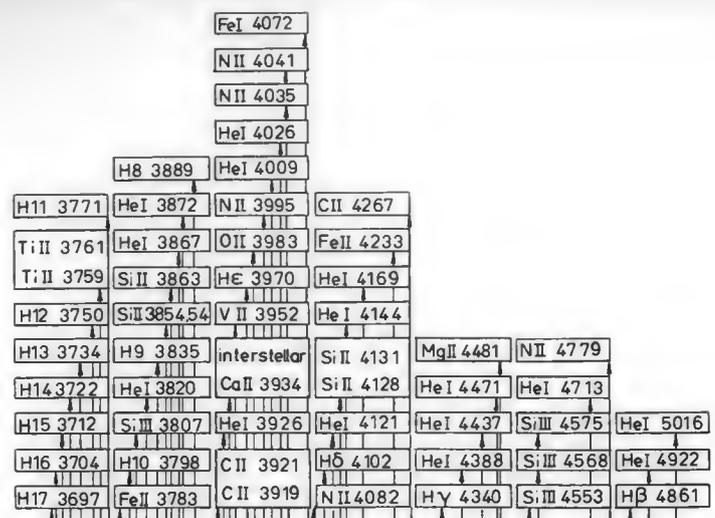
Neutrales und einfach ionisiertes *Quecksilber* – *Hg* – 80 hat einige schwache Linien in Mangan-Sternen.

Neutrales Quecksilber zeigt das starke Labor-Multiplett Hg I 4047, 4358, 5461 (1). Das Vorkommen der Linie Hg II 3984 ist in einigen Sternen nachgewiesen worden. Linien des ionisierten Quecksilbers waren zur Zeit der Entstehung der *Multiplet Table of Astrophysical Interest* noch nicht in Sternen gefunden und sind daher nicht verzeichnet.

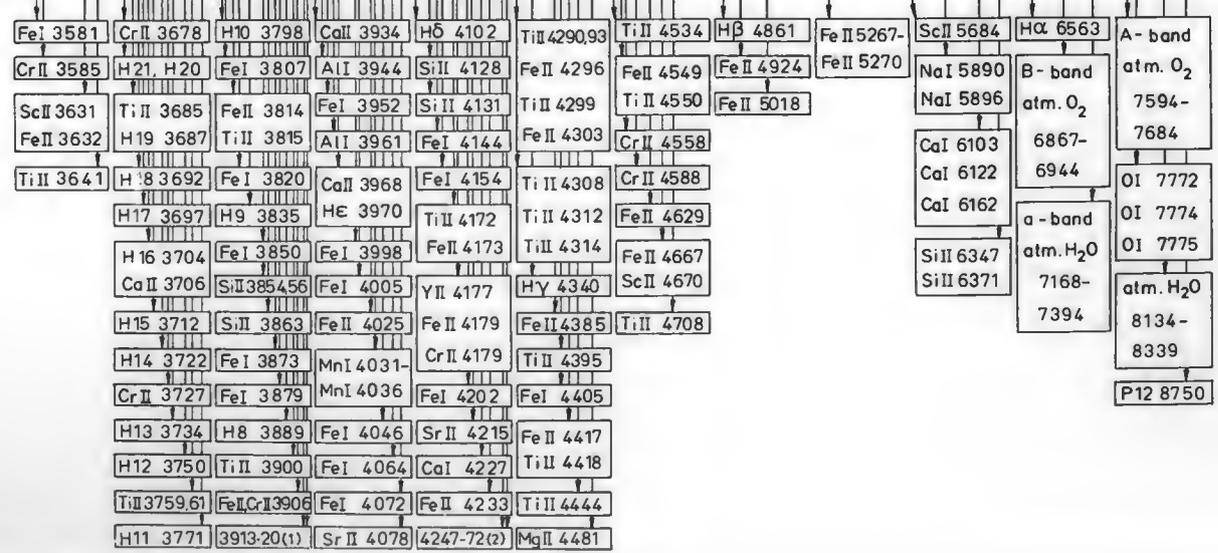
## LITERATURVERZEICHNIS

1. Johnson, H. L. and W. W. Morgan, 1953, *Fundamental Stellar Photometry for Standards of Spectral Type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas*,  
Astrophys. J. 117, 313.
2. Moore, Ch. E., M. G. H. Minnaert, J. Houtgast, 1966, *The Solar Spectrum 2035 Å to 8770 Å*,  
National Bureau of Standards Monograph 61.
3. Merrill, P. W., 1958, *Lines of Chemical Elements in Astronomical Spectra*,  
Carnegie Inst. of Washington Publ. 610.
4. Moore, Ch. E., 1945, *A Multiplet Table of Astrophysical Interest*,  
Revised Edition, Princeton Contributions No. 20.  
siehe auch:  
Moore, Ch. E., 1949, *Atomic Energy Levels*, Vol. I  
1952, *Atomic Energy Levels*, Vol. II  
1958, *Atomic Energy Levels*, Vol. III  
National Bureau of Standards, Circular 467
5. Cameron, R. C., Editor, 1967, *The Magnetic and Related Stars*,  
(Mono Book Corp., Baltimore).
6. Struve, O., 1939, *The Ultraviolet Spectra of A- and B-Stars*,  
Astrophys. J. 90, 699.
7. Unsöld, A., 1955, *Physik der Sternatmosphären*, 2. Aufl., Seite 482,  
(Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg).
8. Barbier, D. et D. Chalonge, 1939, *Remarques préliminaires sur quelques propriétés de la discontinuité de Balmer dans les spectres stellaires*,  
Ann. d'Astrophys. 2, 254.
9. Nassau, J. J. and D. M. Cameron, 1954, *Objective Prism Spectra of Long-Period Variables in the Near Infrared*,  
Astrophys. J. 119, 175.
10. Cameron, D. M. and J. J. Nassau, 1955, *Classification of Late M-Type Stars from Low-Dispersion Spectra in the Near Infrared*,  
Astrophys. J. 122, 177.
11. Abt, H. A., A. B. Meinel, W. W. Morgan and J. W. Tapscott, 1968, *An Atlas of Low-Dispersion Grating Stellar Spectra*.



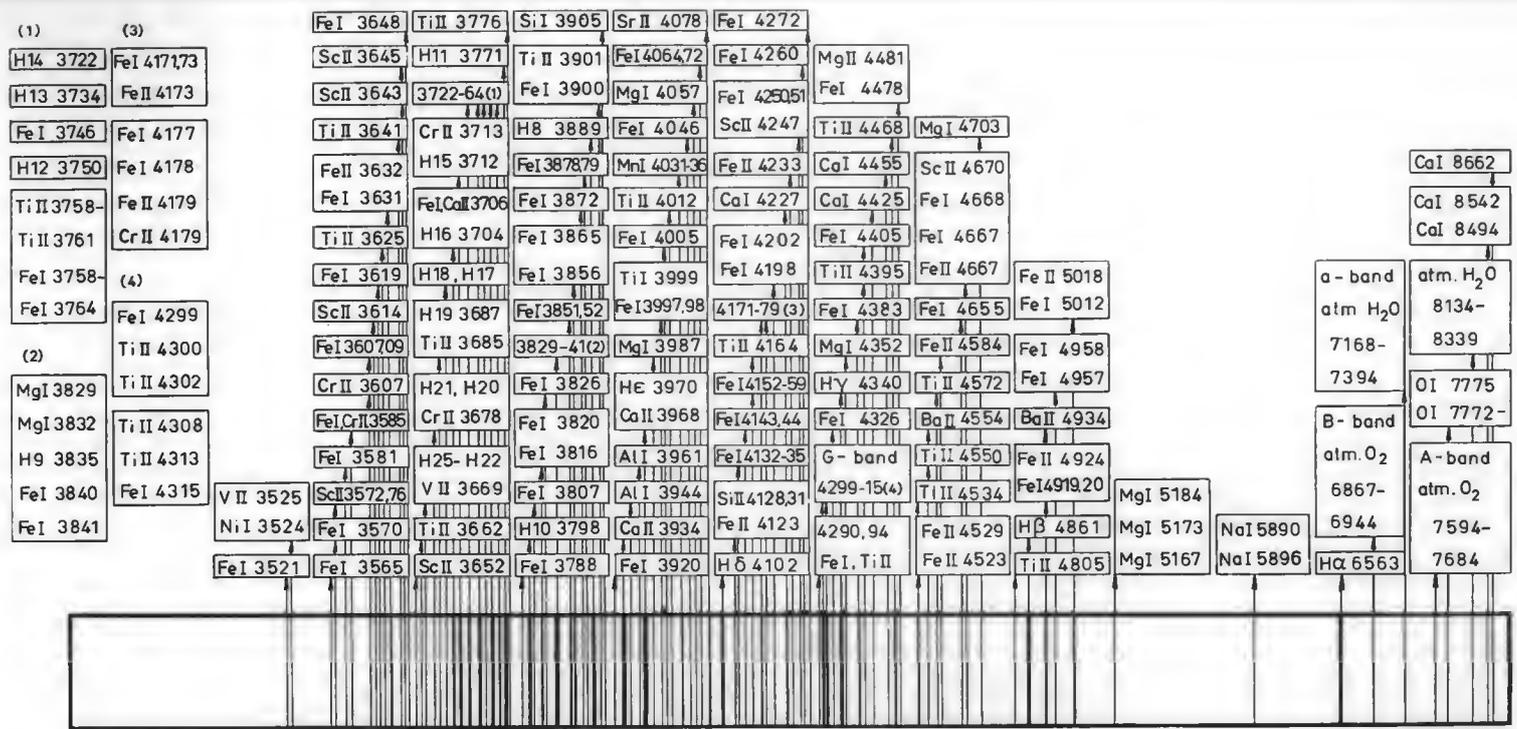


- (1) TiII 3913, FeI 3920
- (2) ScII 4247, FeI 4271, FeI 4272



P12 8750





36 Per

F4 III

31 Com

G0 III

HR 1327

G5 III

$\beta$  Her

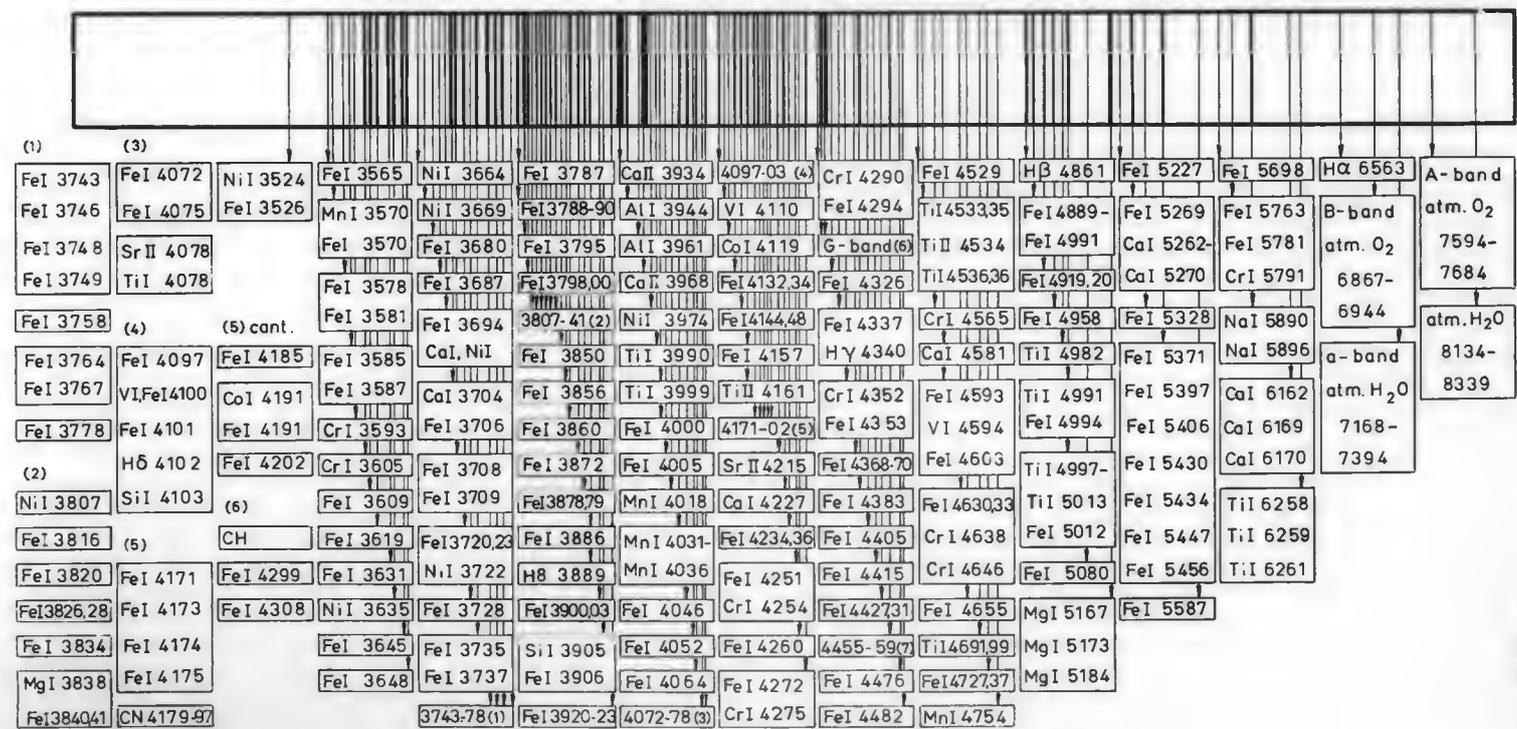
G8 III

$\kappa$  Cyg

K0 III

$\iota$  Dra

K2 III



(7)  
Ca I 4455-  
Ca I 4457  
Fe I 4459

(1) FeI 3743	(3) FeI 4072	(5) cant. CN 4179-97	3743-67(1) FeI 3906	4072-78(3) FeI 4064	CrI 4275 FeI 4272	FeI 4482 FeI 4476	MnI 4754 FeI 4727.37	FeI 5587 FeI 5456
FeI 3746	FeI 4075	FeI 4185	FeI 3645	FeI 3728	FeI 3903	4455-59(7) FeI 4260	TiI 4691.99	FeI 5080 FeI 5447
FeI 3748	SrII 4078	CaI 4191	NiI 3635	NiI 3722	FeI 3900	FeI 4052	FeI 4260	FeI 4427.31
FeI 3749	TiI 4078	FeI 4191	FeI 3631	FeI 3720	H8 3889	MnI 4031.36	FeI 4251	FeI 4415
FeI 3758	(4)	FeI 4202	FeI 3619	FeI 3709	FeI 3886	MnI 4018	FeI 4234.36	FeI 4405
FeI 3764	FeI 4097	(6)	FeI 3609	FeI 3708	FeI 3878.79	FeI 4005	CaI 4227	FeI 4383
FeI 3767	VI FeI 4100	CH	CrI 3605	FeI 3706	FeI 3872	FeI 4000	SrII 4215	FeI 4368.70
(2) NiI 3807	H8 4102	FeI 4299	CrI 3593	CaI 3704	FeI 3860	TiI 3999	4171-02(5)	FeI 4353
FeI 3816	SiI 4103	FeI 4308	FeI 3587	CaI, NiI	FeI 3856	TiI 3990	TiII 4161	CrI 4352
FeI 3820	(5)	FeI 3581	FeI 3687	3807-41(2)	CaII 3968	FeI 4144.48	FeI 4337	CrI 4565
FeI 3826	FeI 4171	FeI 3578	FeI 3680	FeI 3798.00	AlI 3961	FeI 4132.34	FeI 4326	TiI 4536.36
FeI 3833	FeI 4173	FeI 3570	NiI 3669	FeI 3795	AlI 3944	CaI 4119	G-band(6)	TiI 4534
MgI 3838	FeI 4174	FeI 3526	MnI 3570	NiI 3664	FeI 3787.88	CaII 3934	VI 4110	TiI 4533.35
FeI 3840.41	FeI 4175	NiI 3524	FeI 3565	FeI 3648	FeI 3778	FeI 3920.23	4097-03(4)	CrI 4290

a-band  
 atm. H<sub>2</sub>O  
 7168-7394  
 atm. H<sub>2</sub>O  
 8134-8339  
 B-band  
 atm. O<sub>2</sub>  
 6867-6944  
 A-band  
 atm. O<sub>2</sub>  
 7594-7684

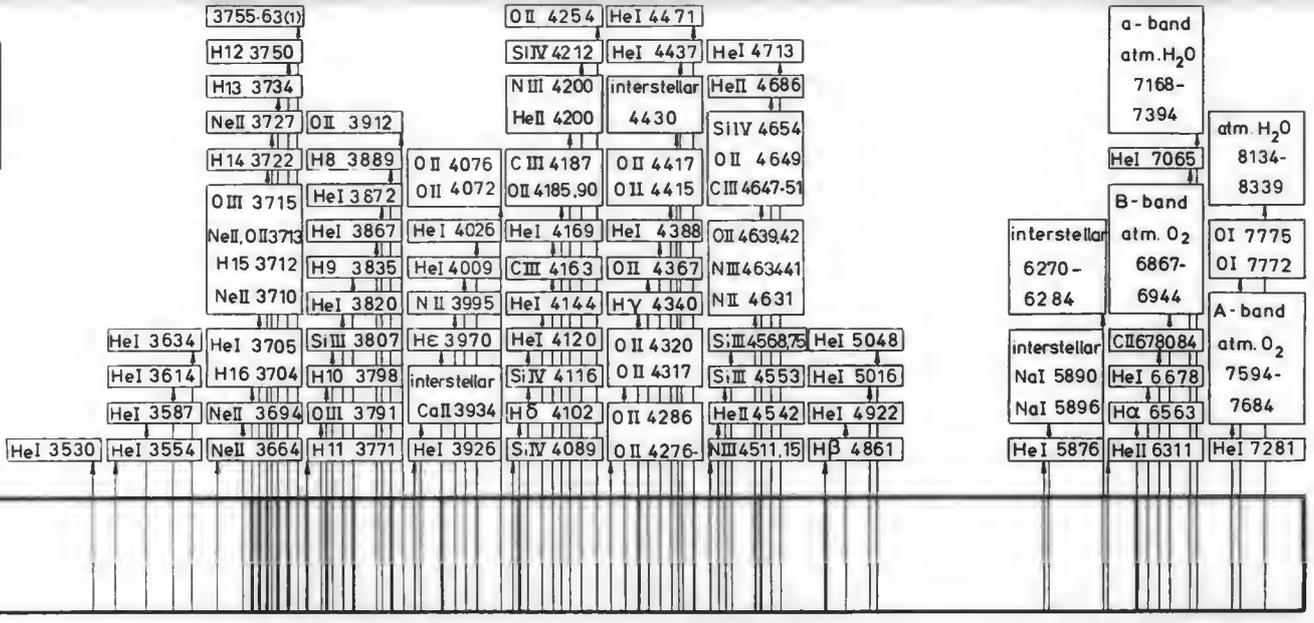


- i Dra K2 III
- delta And K3 III
- beta UMi K4 III
- alpha Tau K5 III
- beta And M0 III
- 83 UMa M2 III

(1) FeI 3850.51	(3) FeI 4294	(6) FeI 4482	CrI 3579	FeI 3680	FeI 3786	CaII 3934	VI 4100	G-band(9)	TiI 4545	TiO 4848	CrI 5204	VI 5727	TiO 6651	TiO 7589
FeI 3856	FeI 4309	FeI 4490.95	CrI 3605	FeI 3683	FeI 3787.88	AlI 3944	H8 4102	FeI 4325.26	TiI 4552	H8 4861	CrI 5206.08	NaI 5890	B-band	A-band
FeI 3860	TiI 4296	TiI 4496	(8)	FeI 3687	FeI 3795.98	AlI 3961	VI 4110-17	Hy 4340	BaII 4554	VI 4881	TiO 5240	NaI 5896	atm. O <sub>2</sub>	atm. O <sub>2</sub>
FeI 3872	TiI 4315	CrI 4497	TiI 5007.09	NiI 3694	FeI 3800	CaII 3968	CaI 4119.21	CrI 4340	TiO 4584	FeI 4891	CrI 5298	TiO 6159	6867-6944	7594-7685
CaI 3873.74	CH	TiI 4513	FeI 5012	FeI 3706	NiI 3807	TiI 3982	FeI 4132.34	CrI 4352	VI 4580.86	FeI 4919.20	FeI 5328	VI 6243	6944	8134-8339
FeI 3878.79	(4)	TiI 4527	TiI 5014.16	FeI 3708	FeI 3813.16	TiI 3990.99	FeI 4144	FeI 4353	VI 4594	BaII 4934	FeI 5341	TiI 6261	a-band	atm. H <sub>2</sub> O
FeI 3886	TiI 4404.05	FeI 4529	TiI 5020	FeI 3709	FeI 3820	FeI 4005	FeI 4148.50	FeI 4376	FeI 4603	TiO 4955	CrI 5346.48	VI 5397	atm. H <sub>2</sub> O	8134-8339
H9 3889	FeI 4405	TiI 4533.36	(9)	FeI 3720	FeI 3824.26	FeI 4009.10	FeI 4172	FeI 4383	FeI 4626	FeI 4957	FeI 5397	VI 5406	7168-7394	
FeI 3895	VI 4405.08	(7)	TiI 5085	FeI 3723	MgI 3829	TiI 4025	FeI 4178	FeI 4389	CrI 4626	TiI 4982.91	FeI 5406	FeI 5430.34		
FeI 3900.06	(5)	TiO 4667	FeI 5108.10	FeI 3733	MgI 3832	MnI 4031	CaI 4191	VI 4390.95	FeI 4633	TiI 4997.99	FeI 5430.34	VI 5430.34		
(2) FeI 4415	FeI 4422	TiI 4668	FeI 5124	FeI 3737	FeI 3834	MnI 4036	FeI 4198	4404-08(4)	CrI 4646	TiO 5003	FeI 5447	VI 5447		
FeI 4251	TiO 4422	TiI 4682	(10)	FeI 3745	MgI 3838	FeI 4046	FeI 4208	4415-48(5)	TiI 4656	5007-20(8)	TiO 5448	FeI 5456		
CrI 4254	TiI 4427	TiI 4710.15	FeI 5501.07	FeI 3749	FeI 3840.41	CaI 4054	SrII 4215	TiO 4462	4667-34(7)	5085-24(9)	FeI 5497	FeI 5497		
FeI 4272	FeI 4427.35	FeI 4734	TiI 5514	FeI 3778	3850-3906(1)	FeI 4064	CaI 4227	VI 4457.60	TiO 4762	MgI 5167	TiO 5497	FeI 5497		
CrI 4275	VI 4442	TiO 5597		FeI 3778	FeI 3920.23	FeI 4072	FeI 4233.40	FeI 4462	TiO 4784	MgI 5184	TiO 5497	FeI 5497		
CrI 4290	FeI 4442.48	FeI 5659		FeI 3778	FeI 3920.23	SrII 4078	4251-90(2)	4482-4536	TiO 4804	TiO 5168	5501-5659	FeI 5497		

(1)

O III 3755  
 O III 3757  
 O III 3760  
 Si IV 3763



HR 8327

O9 II

$\delta$  Ori

O9.5 II

HD 43818

NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED →

←

B0 II

HD 199216

B1 II

$\epsilon$  CMa

B2 II

$\iota$  CMa

B3 II

$\gamma$  CMa

B8 II

HD 43836

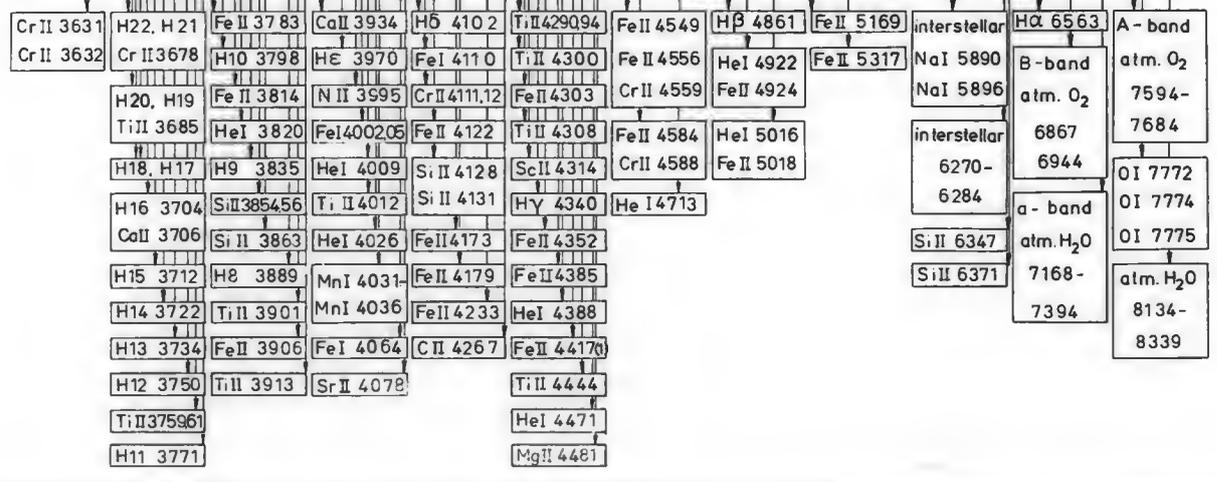
NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED

B9 II

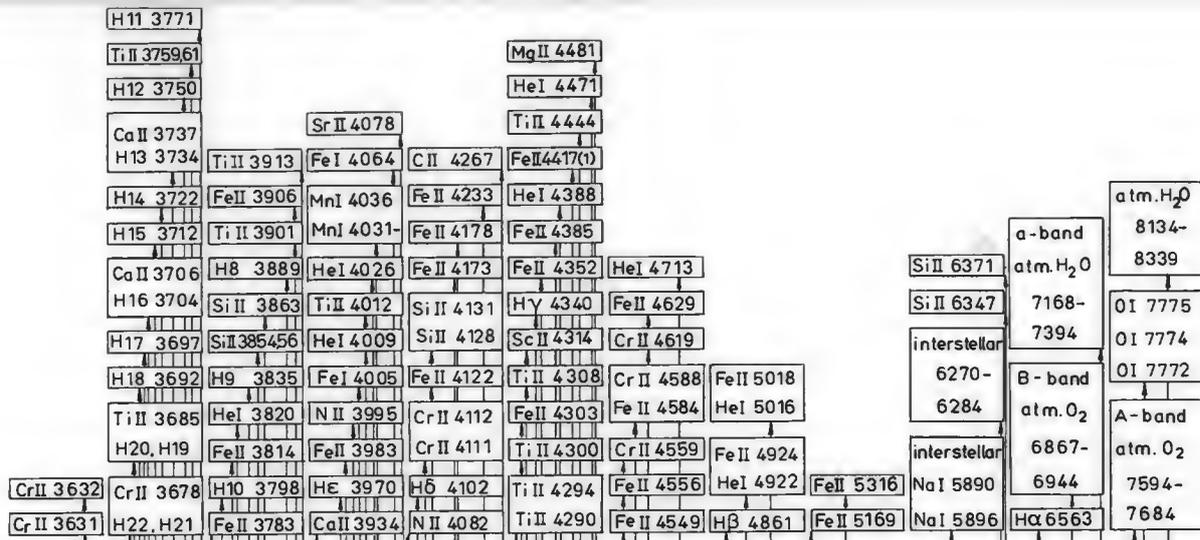


(1)

Ti II 4418



(1) TiII 4418



HD 43836

NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED

B9 II

19 Aur

A5 II

HR 1242

F0 II

v Her

F2 II

41 Cyg

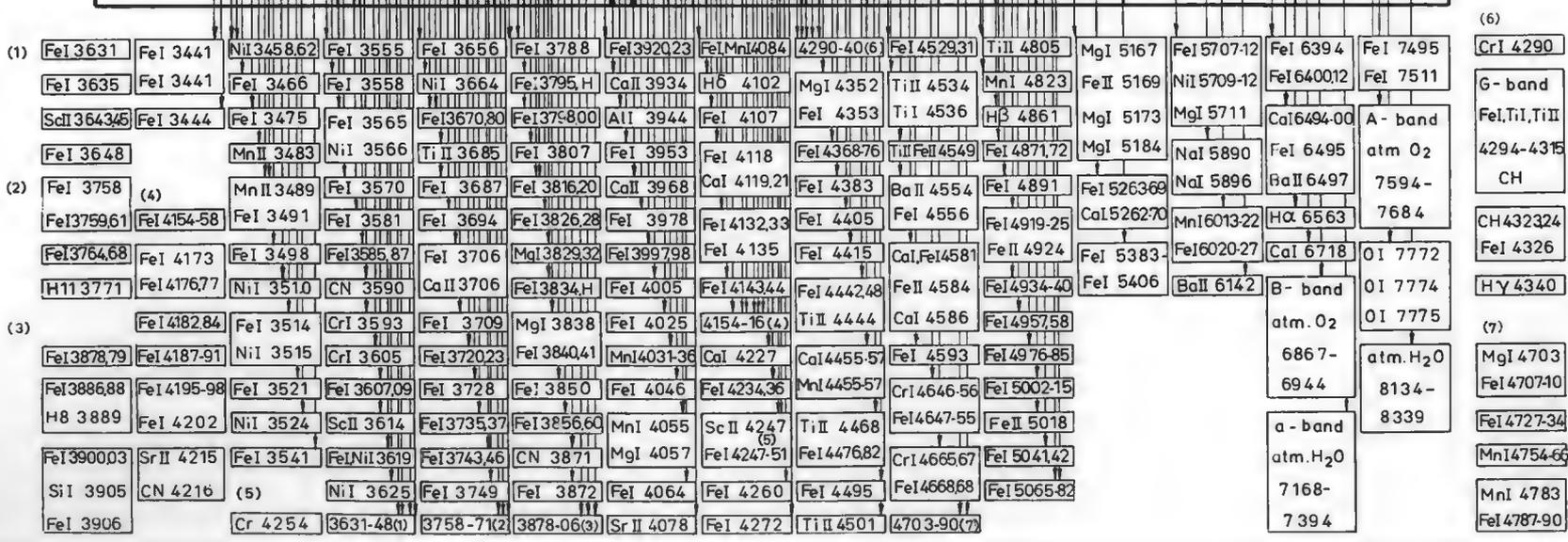
F5 II

ε Leo

G0 II

β Dra

G2 II



(1) FeI 3631	(4)	3631-48(1)	3758-71(2)	3878-06(3)	SrII 4078	FeI 4064	FeI 4272	TiII 4501	4703-90(6)	FeI 5134-56	FeI 5625	FeI 6246-54	a - band	(5) S16	
FeI 3635	FeI 4154-58	NiII 3625	FeI 3749	FeI 3872	FeI 4064	FeI 4260	FeI 4495	FeI 4668,68	FeI 5065-82	CaI 5589,90	CaI 6162-70	atm. H <sub>2</sub> O	CrI 4290		
ScII 3643,45	FeI 4173	FeI 3541	FeI NiI 3619	FeI 3743,46	CN 3871	MgI 4057	FeI 4247	FeI 4482,82	CrI 4665,67	FeI 5041,42	FeI 5587	BaII 6142	7168-	G - band	
FeI 3648	FeI 4176,77	NiII 3524	ScII 3614	FeI 3735,37	FeI 3860,65	MnI 4055	ScII 4247	FeI 4476,76	FeI 4647-55	FeI 5012,27	FeI 5570,73	FeI 6137,38	7394	FeI, TiI, TiII	
	FeI 4182,84	FeI 3521	FeI 3607,09	FeI 3728	FeI 3850,56	FeI 4046	FeI 4234,36	MnI 4455-57	CrI 4646-56	FeI 5002-07	MgI 5528	FeI 6065	B - band	atm. H <sub>2</sub> O	
(2) FeI 3758	FeI 4187-91	NiI 3515	CrI 3605	FeI 3720,23	FeI 3840,41	MnI 4031-36	CaI 4227	CaI 4455-57	FeI 4593	FeI 4976-85	FeI 5497-07	FeI 6020-27	atm. O <sub>2</sub>	8134-8339	4294-4315
FeI 3764	FeI 4195-98	FeI 3514	CrI 3593	FeI 3709	MgI 3838	FeI 4025	4154-16(4)	FeI 4442	CaI 4586	FeI 4957,58	FeI 5463	MnI 6013,22	6867-	OI 7775	CH
FeI 3768	FeI 4202	NiI 3510	CN 3590	CaII 3706	FeI 3834, H	FeI 4005	FeI 4143,44	CaI 4435,36	FeII 4584	FeI 4934-40	FeI 5383-15	NaI 5890,96	6944	OI 7774	CH 4323,24
H1I 3771	SrII 4215	FeI 3498	FeI 3585,87	FeI 3706	MgI 3829,32	FeI 3997,98	FeI 4135	FeI 4415	CaI, FeI 4581	FeII 4924	FeI 5365-74	CaI 5857	CaI 6718	OI 7772	Hy 4340
(3) FeI 3878,79	CN 4216	FeI 3491	FeI 3581	FeI 3694	FeI 3826,28	FeI 3978	FeI 4132,33	FeI 4405	FeI 4556	FeI 4919-25	FeI 5340,41	FeI 5812-16	H $\alpha$ 6563	A - band	(6)
FeI 3886,88		MnII 3489	FeI 3570	FeI 3687	FeI 3816,20	CaII 3968	CaI 4119,21	FeI 4383	BaII 4554	FeI 4891	FeI 5324,28	NiI 5748-55	BaII 6497	atm. O <sub>2</sub>	MgI 4703
H $\delta$ 3889		MnII 3483	NiI 3566	FeI 3680	FeI 3807	FeI 3953	FeI 4118	FeI 4368-76	TiI, FeI 4549	FeI 4871,72	CaI 5262-70	FeI 5748-55	FeI 6495	7594-	FeI 4707-10
FeI 3900,03	FeI 3444	FeI 3475	FeI 3565	FeI 3670	FeI 3795	AlI 3944	FeI 4107	FeI 4353	TiI 4536	H $\beta$ 4861	FeI 5263-70	NiI 5709-12	CaI 6494-00	7684	FeI 4721-34
SiI 3905	FeI 3441	NiI 3462	FeI 3558	NiI 3664	FeI 3788	CaII 3934	H $\delta$ 4102	MgI 4352	TiII 4534	MnI 4823	FeI 5227-33	FeI 5707-12	FeI 6400,12	FeI 7511	MnI 4754-66
FeI 3906	FeI 3441	NiI 3458	FeI 3555	FeI 3656	FeI 3779	FeI 3920,23	FeI, MnI 4084	4290-40(5)	FeI 4529,31	TiII 4805	MgI 5167-84	FeI 5659	FeI 6394	FeI 7495	FeI 4787-90

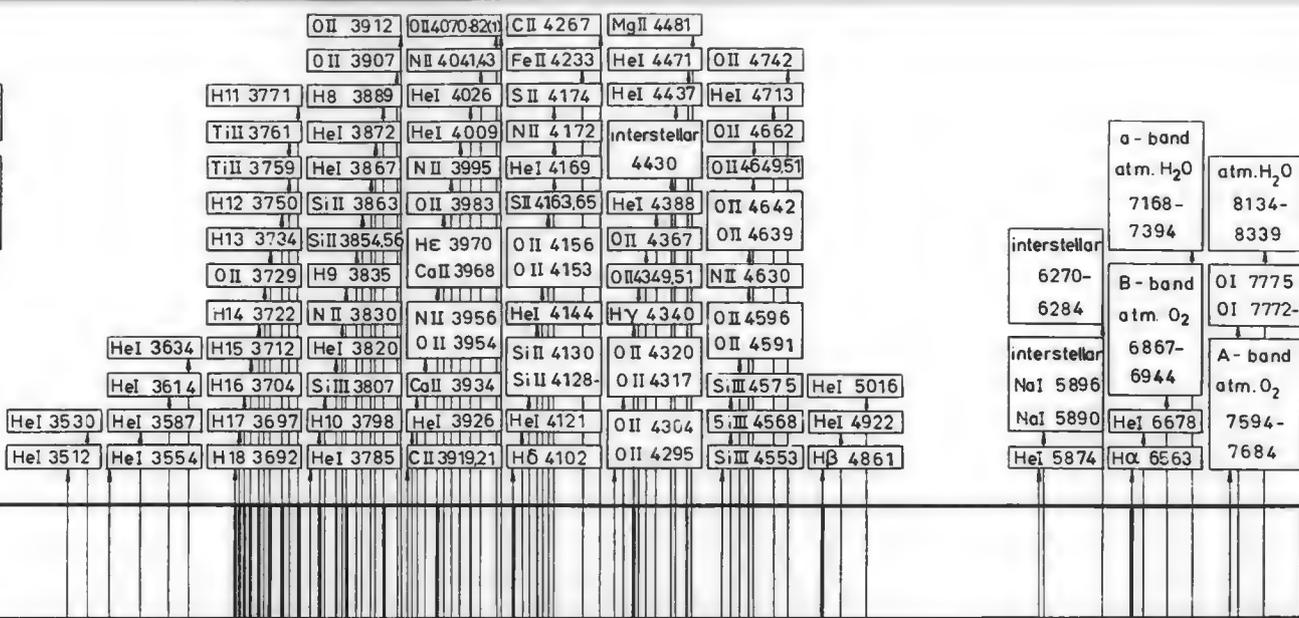


(1) FeI 3748,49	(3) FeI 4025	NiI 3458,62	FeI 3558	NiI 3664	FeI 3786	CaII 3934	FeI 4097	CrI 4290	FeI 4529	VI 4827-32	FeI 5227	FeI 5698	H $\alpha$ 6563	A - band	(5) FeI 4427,31
FeI 3758	MnI 4031	FeI 3466	FeI 3565	NiI 3669	FeI 3788,89	AlI 3944	H $\delta$ 4102	G - band	TiI 4533-36	H $\beta$ 4861	FeI 5269	FeI 5763	B - band	atm. O <sub>2</sub>	CaI 4455-57
FeI 3764,67	MnI 4036	FeI 3475	MnI 3570	FeI 3675,77	FeI 3795	AlI 3961	SiI 4103	4294-4315	TiII 4534	FeI 4887-91	CaI 5262-70	FeI 5781	atm. O <sub>2</sub>	7594-	FeI 4459
NiI 3776	FeI 4046	FeI 3477	FeI 3570	FeI 3680	FeI 3798	CaII 3968	FeI 4107	FeI 4326	TiI 4545	FeI 4919,20	FeI 5328	CrI 5791	6867-	7684	FeI 4476
(2) MnI 4055-59	FeI 3498	FeI 3581	FeI 3687	FeI 3800	FeI 3978	FeI 3978	VI 4110	FeI 4337	CrI 4546	FeI 4934	FeI 5371,97	NaI 5890	6944		(6) CrI 4638-52
FeI 3826,28	CoI 4057-59	NiI 3515,24	FeI 3587	FeI 3694	NiI 3807	MgI 3987	4119-02(4)	Hy 4340	TiI 4552,55	FeI 4940,46	FeI 5406	NaI 5896	a - band	atm. H <sub>2</sub> O	FeI 4655
MgI 3829,32	FeI 4064	FeI 3526	CrI 3593	CoI 3704	FeI 3816	FeI 3997	SrII 4215	FeI 4353	BaII 4554	CrI 4942	FeI 5430-56	MnI 6014-22	7168-	TiI 4657	
FeI 3834	FeI 4072	FeI 3538	CrI 3605	FeI 3706	FeI 3820	FeI 4005,07	CN 4216	FeI 4368-70	CrI 4565	FeI 4958	TiI 5491-	FeI 6020-27	7394	TiI 4668	
MgI 3838	(4) FeI 3541	FeI 3609	FeI 3709	3826-72(2)	TiI 4008	CaI 4227	FeI 4383	CaI 4581	TiI 4991-	TiI 5041	FeI 5573	CaI 6162-70		CrI 4691,99	
FeI 3840,41	CoI 4119,21	MnI 3548	FeI 3619	FeI 3720	FeI 3878,79	FeI 4010	FeI 4234-40	VI 4390	FeI 4593-03	FeI 4994	FeI 5587	NiI 6169		MgI 4703	
FeI 3850	FeI 4132,34	FeI 3555	NiI 3625	NiI 3725	FeI 3886,89	FeI, MnI 4018	FeI 4251	CrI 4392	VI 4594	FeI 4994	FeI 5616	TiI 6258		FeI 4727-37	
FeI 3856,60	FeI 4144,48	FeI 3631	FeI 3728	FeI 3896	402572(3)	CrI 4254	FeI 4405	CrI 4613-26	FeI 4611-33	FeI 5052	FeI 5659	TiI 6261		MnI 4754	
FeI 3865	FeI 4157	(4) cont.	NiI 3635	FeI 3735,37	FeI 3900,03	FeI 4075	FeI 4260	FeI 4415	FeI 4611-33	FeI 5060-99				MnI 4783	
CN 3871	TiI, FeI 4161	FeI 4185	FeI 3645	FeI 3743,46	FeI 3906	SrII 4078	FeI 4272	4427-76(5)	TiI 4617-29	MgI 5167-					
FeI 3872	FeI 4171-75	FeI 4198,02	FeI 3648	3748-76(1)	FeI 3920,23	MnI 4083,84	CrI 4275	FeI 4482,95	4638-78(3)	MgI 5184					



(1)

OII 4070
OII 4072
OII 4076
OII 4079
OII 4082



67 Oph

B5 Ib

13 Cep

B8 Ib

HR 1804

B9 Ib

NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED

13 Mon

A0 Ib

HR 8345

A2 Ib

HR 8443

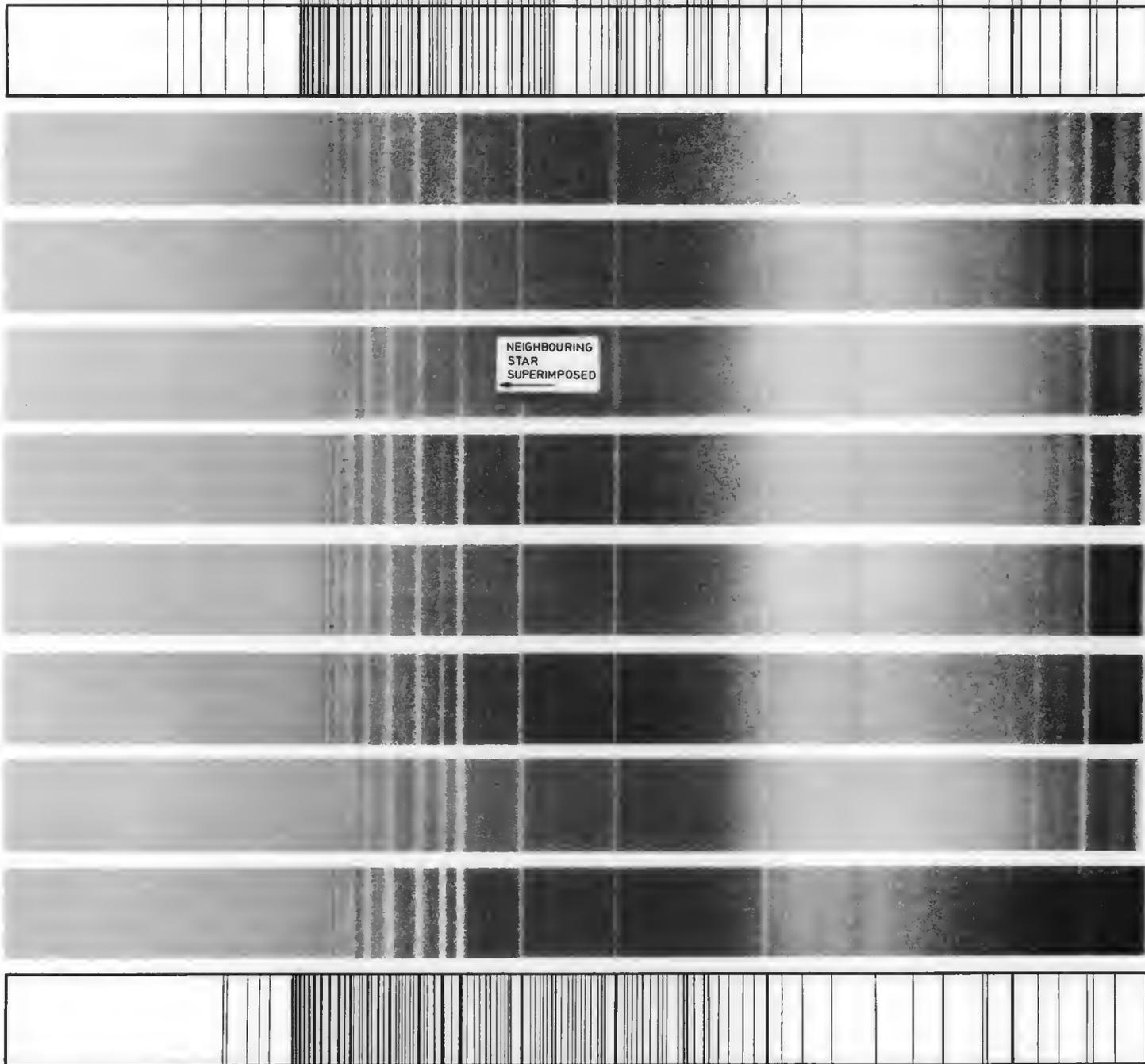
A3 Ib

HR 2874

A5 Ib

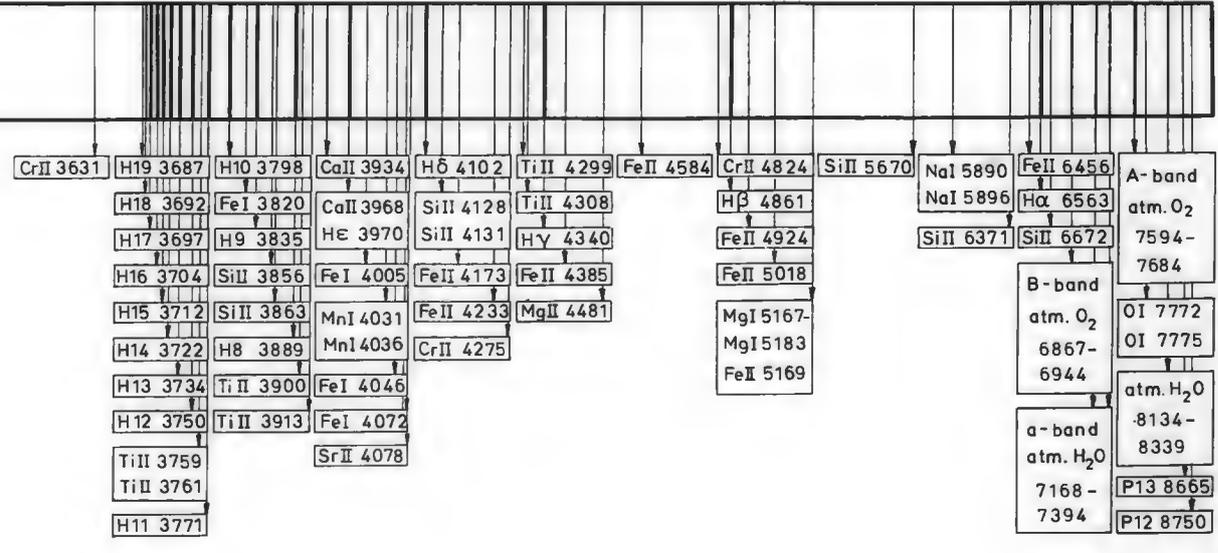
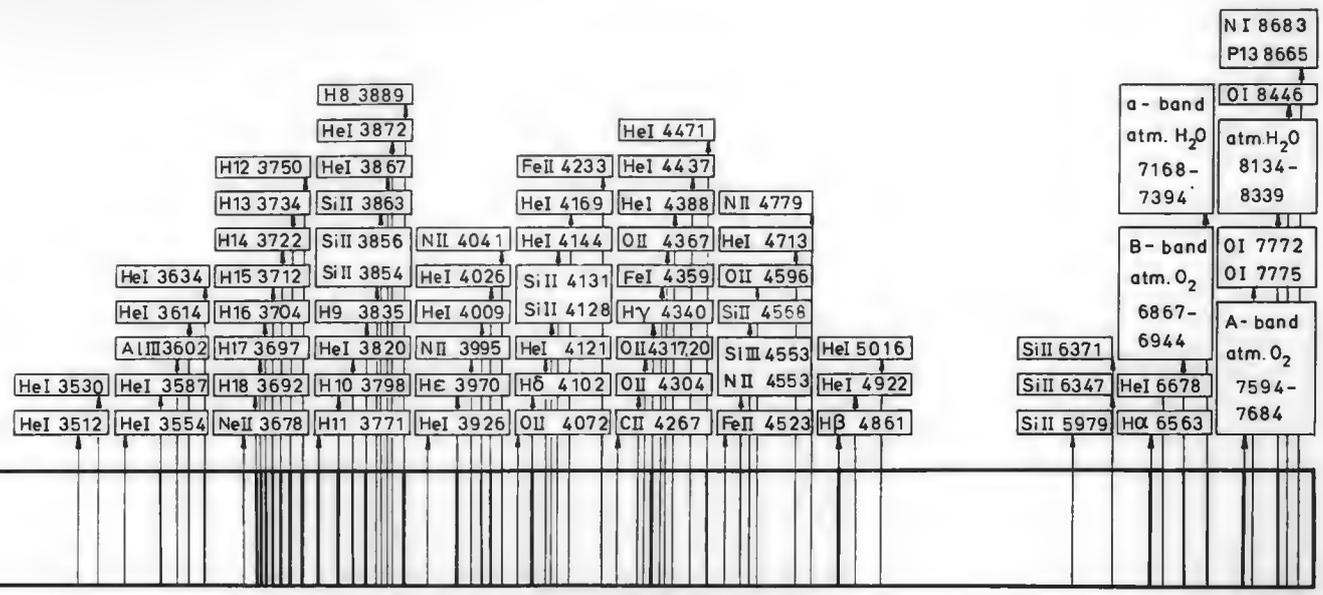
$\alpha$  Lep

F0 Ib



(1) MgI 3829.32	(3) cont. CrII 3906	(7) cont. FeI 4129	FeI 3581	CrII 3678	FeII 3782.83	TiII 3914	H $\delta$ 4102	4290-14(10)	FeI 4520.23	TiII 4798.05	MgI 5167-	ScII 5684	H $\alpha$ 6563	A-band	TiII 4368
H9 3835	(4) FeI 3997	(8) FeI 4143.44	CrII 3585	H21, H20	TiII 3786	FeI 3920.23	4123-31(7)	H $\gamma$ 4340	TiII 4550	H $\beta$ 4861	MgI 5184	NaI 5890	B-band	atm. O <sub>2</sub>	ScII 4374
MgI 3838	FeI 4005	ZrII 4149	ScII 3614	TiII 3685.H	H10 3798	CaII 3934	4143-64(8)	4368-00(11)	FeII 4555	FeII 4924	FeII 5167-	NaI 5896	atm. O <sub>2</sub>	7594-7684	YII 4375
FeI 3841	FeI 4072	FeII 4179	ScII 3632	H18, H17	FeI 3807	YII.VII 3952	TiII 4172	FeI.SclI 4415	CrII 4558	FeII 5018	FeII 5171	interstellar	6867-6944	FeI 4383	
(2) FeI 3850	(5) FeI 4046	TiII 4164	ZrII 4161	H.CaII 3706	FeI 3813.15	CaII 3968.H	FeII 4173	FeII 4416	FeII 4584	FeII 5430	FeII 5456	6270-	6270-	FeII 4385	
SiII 3854.56	MnI 4055	(9) ScII 3643.45	TiII 3641	H.CrII 3713	TiII 3815	FeII.VII 3983	4177-79(9)	FeII 4418	CrII 4588	FeII 5456	FeII 5456	6284	6284	ScII 4385	
FeI 3860	(6) SiII 3863	FeI 4064	YII 4177	H.CaII 3737	FeI 3820.26	3997-05(4)	FeI.VI 4202	TiII 4444	CrII 4618	FeII 4629	FeII 4634	SiII 6347	a-band	FeII 4385	
SiII 3863	FeI 4072	FeII 4179	VII 4178	VII 3746	H9 3835(1)	ZrII 4024	SrII 4215	TiII 4445	FeII 4629	CrII 4634	FeII 4666	SiII 6371	atm. H <sub>2</sub> O	FeII 4385	
(3) FeI 3896	(7) FeI 4123	CrI.TiII 4290	FeII 4179	(10) cont. H12 3750	FeI 3872	MnI 4031.36	FeII 4233	MgII 4481	FeII 4666	ScII 4670	FeII 4666	SiII 6371	atm. H <sub>2</sub> O	ScII 4400	
TiII 3900	FeII 4123	CrI.TiII 4290	FeII 4303	TiII 3759.61	FeI 3879	4046.55(5)	ScII 4247	FeII 4489	ScII 4670	FeII 4491	TiII 4708	SiII 6371	atm. H <sub>2</sub> O	TiII 4400	
FeI 3903	SiII 4128.31	TiII 4294	ScII 4314	TiII 3776	3896-06(3)	SrII 4078	FeI 4271.72	TiII 4501	TiII 4764	TiII 4764	TiII 4764	SiII 6371	7168-7394	TiII 4400	





(1)	(3)	(5)	3631-56 (1)	FeI 3779	FeI 3920,23	FeI,MnI 4084	4233-75 (4)	4468-01 (6)	472790 (7)	MgI 5184	FeI 6246-54	a-band	(6)	S20
FeI 3631	MnI 4055	G-band	NiI 3625	FeI 3768,H	SiI 3905	SrII 4078	CaI 4227	FeI 4445	FeI 4707-10	MgI 5173	CoI 6162-70	atm. H <sub>2</sub> O	TiII 4468	
FeI 3634,35	MgI 4057	FeI,TiI,TiII	FeI,NiI 3619	FeI 3758	FeI 3900,06	4055-72 (3)	SrII 4215	CaI 4435,36	MgI 4703	MgI 5167	BaII 6142	7168-7394	FeI 4476,82	
ScII 3643,45	FeI 4064	4293-	ScII 3614	FeI 3749,H	FeI 3896	FeI 4046	FeI 4202	FeI 4427	FeI 4668	FeI 5134-56	CaI 5589,90	FeI 6138	FeI 4495	
FeI 3648	FeI 4072	4315	FeI 3707,09	FeI 3743,46	3850-88 (2)	MnI 4031-36	FeI 4195-99	FeI 4415	CrI 4665,67	FeI 5065-82	FeI 5587	FeI 6137	TiII 4501	
FeI 3656	(4)	CH	CrI 3605	FeI 3735,37	FeI 3840,41	FeI 4025	FeI 4182,84	FeI 4405	FeI 4647-55	5002-42 (8)	FeI 5415	FeI 6020-27	atm. O <sub>2</sub>	atm. H <sub>2</sub> O
(2)	FeII 4233		CrI 3593	FeI 3728	MgI 3838	TiI 4025	FeI 4176,77	FeI 4383	CrI 4646-56	FeI 4976-85	FeI 5404-	MnI 6013-22	6867-6944	8134-8339
FeI 3850	FeI 4234,36		CN 3590	FeI 3720,23	FeI 3834,H	FeI 4005	FeI 4173	FeI 4376	CN 4606	FeI 4957,58	FeI 5397	NaI 5896		
FeI 3856	ScII 4247	NiI 3524	FeI 3585-87	FeI 3709	MgI 3829,32	TiI 3999	FeI 4154-58	FeI 4368,70	FeI 4593	FeI 4934-40	FeI 5393	NaI 5890	CaI 6718	OI 7775
FeI 3860	FeI 4247	FeI 3521	FeI 3581	FeI 3706	FeI 3826,28	FeI 3997,98	FeI 4143,44	FeI 4353	FeI 4581	FeI 4924	FeI 5341	FeI 5816	H $\alpha$ 6563	OI 7774
FeI 3865	FeI 4250	NiI 3515	FeI 3570	FeI 3694	FeI 3820	MgI 3987	FeI 4132,34	MgI 4352	TiII 4572	FeI 4919,20	FeI 5340	FeI 5812-	BaII 6497	OI 7772
CN 3871	CrI 4254	FeI 3514	NiI 3566	FeI 3687	FeI 3816	CaII 3968	CoI 4119,21	H $\gamma$ 4340	TiII 4549	FeI 4891	FeI 5282,84	NiI 5748-55	FeI 6495	A-band
FeI 3872	FeI 4260	FeI 3498	FeI 3565	FeI 3680	H,FeI 3800	FeI 3953	FeI 4118	FeI 4326	TiI 4536	FeI 4889	FeI 5267,69	FeI 5748-55	CaI 6494-00	atm. O <sub>2</sub>
FeI 3878,79	FeI 4271,72	NiI 3493	FeI 3558	FeI 3670	FeI 3795,98	AlI 3944	FeI 4107	G-band (5)	TiII 4534	H $\beta$ 4861	CaI 5262-70	NiI 5709-12	FeI 6394	7594-7684
FeI 3886,88	CrI 4275	FeI 3491	FeI 3554,55	NiI 3664	FeI 3788	CaII 3934	H $\delta$ 4102	CrI 4290	FeI 4529,31	TiII 4805	FeI 5227-33	FeI 5707-12	FeI 6400-12	
H8 3889														

(7)  
FeI 4727-34  
MnI 4754-66  
FeI 4787-90

(8)  
FeI 5002-07  
FeI 5012-27  
FeI 5018  
FeI 5041  
FeI 5042

9 Peg

G5 Ib

$\epsilon$  Gem

G8 Ib

$\zeta$  Cep

K1 Ib

$\epsilon$  Peg

K2 Ib

$\eta$  Per

K3 Ib

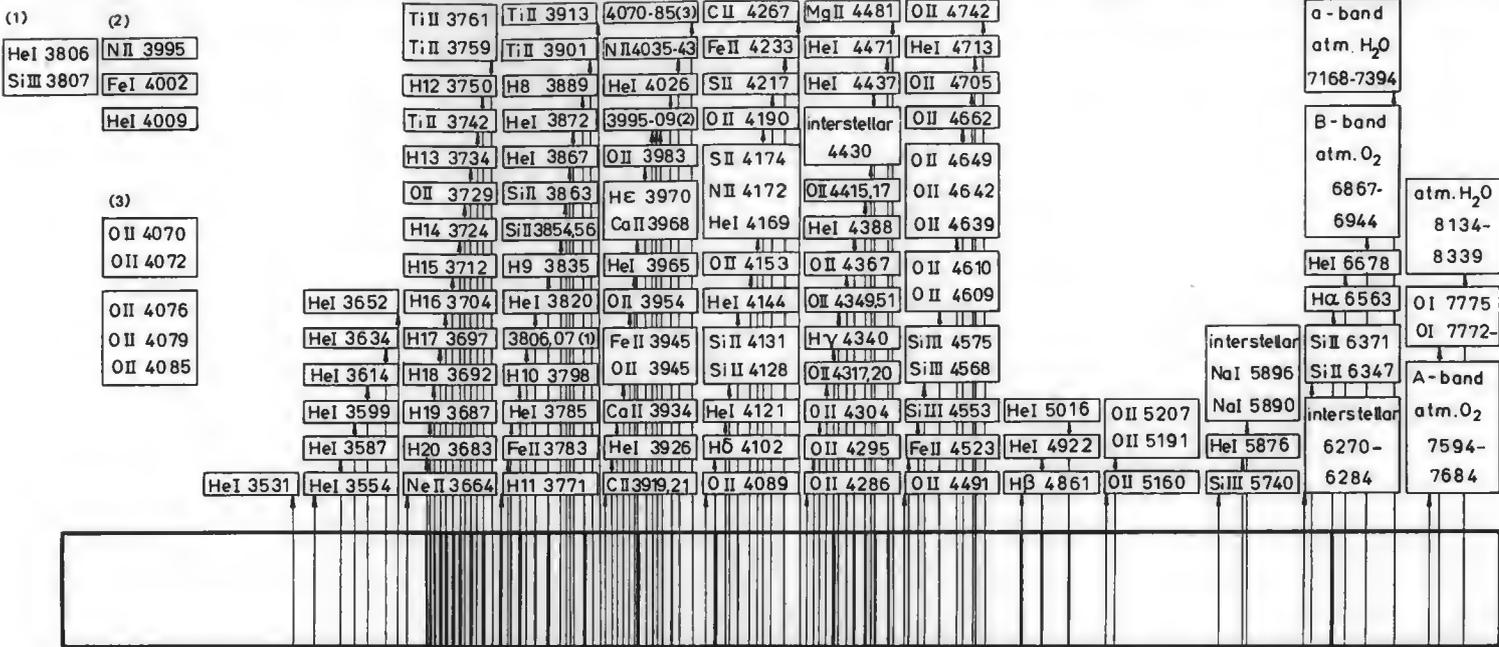
$\xi$  Cyg

K5 Ib

119 Tau

M2 Ib

(1)	(3)	(4)	(6)	FeI 3706	FeI 3860	AlI 3944	H $\delta$ 4102	G-band (2)	TiI 4545,52	TiO 4847	FeI 5226,27	VI 5727-43	BaII 6497	TiO 7589
FeI 4233-	FeI 4427	FeI 4633-38	TiO 5003	FeI 3706	FeI 3860	AlI 3944	H $\delta$ 4102	G-band (2)	TiI 4545,52	TiO 4847	FeI 5226,27	VI 5727-43	BaII 6497	TiO 7589
FeI 4240	CoI 4435,36	TiI 4640	FeI 5006-12	FeI 3709	CaII 3934	CaII 3968	VI 4110-16	FeI 4326	BaII 4554	H $\beta$ 4861	TiO 5240	NaI 5890	TiO 6651	A-band
FeI 4251	FeI 4435	CrI 4646	TiI 5007-	FeI 3720		TiI 3982	VI 4124,28	FeI 4337	TiO 4584	VI 4881	FeI 5247	NaI 5896	B-band	atm. O <sub>2</sub>
CrI 4254	FeI 4445	CrI 4651,52	TiI 5020	FeI 3735		TiI 3990,99	FeI 4132,34	H $\gamma$ 4340	VI 4577,86	FeI 4891	CrI 5297,01	TiI 5919	atm. O <sub>2</sub>	7594-7684
FeI 4258,60	FeI 4462	FeI 4654	FeI 5041			FeI 4005	FeI 4144,48	CrI 4339-44	VI 4594	FeI 4920	FeI 5328	TiI 5922		
FeI 4272	TiO 4463	TiI 4656	FeI 5052,60			TiI 4009,10	FeI 4152	CrI 4351,52	CrI 4601	BaII 4934	CrI 5346,48	CaI 6122		
CrI 4275	FeI 4467	TiO 4669	TiI 5065			TiI 4025	FeI 4171,82	VI 4353	FeI 4603	FeI 4940	FeI 5370,71	FeI 6137	TiO 7054	
CrI 4290	FeI 4482	TiI 4668,75	FeI 5083	(8)		MnI 4031-	FeI 4187-91	FeI 4376	TiO 4626	TiO 4955	FeI 5397,06	BaII 6142	a-band	
FeI 4291,94	FeI 4490	TiI 4682				MnI 4036	CaI 4191	FeI 4383	CrI 4626	FeI 4957	CrI 5410	TiO 6159	atm. H <sub>2</sub> O	
(2)	FeI 4495	(5)		TiO 5497		FeI 4046	FeI 4195-07	VI 4385,90	4633-82 (4)	TiI 4982-99	FeI 5430,34	FeI 6214	7168-7394	
TiI 4299-	TiI 4496	Cr,TiI 4699	(7)	FeI 5501		ScI 4048,54	SrII 4215	FeI 4405	4699-4745 (5)	5003-83 (6)	TiO 5448			
TiI 4315	CrI 4497	TiO 4704	FeI 5108	FeI 5507		FeI 4064	FeI 4216,CN	VI 4405,08	TiO 4761,63	5108-27 (7)	FeI 5447,56			
FeI 4308-	TiI 4513	TiI 4710,15	FeI 5110	(9)		FeI 4072	CaI 4227	FeI 4415	FeI 4787,89	MgI 5167,84	5497-5507 (8)			
FeI 4315	TiI 4523,35	FeI 4734	Fe,CrI 5124	FeI 5615		SrII 4078	4233-	TiO 4424	TiO 4804	TiO 5167	TiO 5597			
TiI,CoI,CH	FeI 4529	Fe,CrI 4745	FeI 5127	FeI 5659		MnI 4083,84	4290 (1)	4427-4535 (3)	MnI 4823	CrI 5204-08	5615-59 (9)			



χ Aur

NEIGHBOURING STAR  
SUPERIMPOSED

B5Iab

σ Cyg

B9 Iab

44 Cyg

F5 Iab

σ<sup>1</sup> CMa

K3 Iab

ψ<sup>1</sup> Aur

M0 Iab

α Ori

M2Iab



(9) Ti I 4682  
 Ti I Cr 4699  
 A-Band  
 Ti I 4710,15  
 atm O<sub>2</sub>  
 Fe I 4734  
 Fe, Cr 4745  
 Ti I 4758,59  
 Ti O 4761,63  
 atm. H<sub>2</sub>O  
 Ti O 5003  
 Fe I 5006  
 Ti I 5007,10  
 Fe I 5012  
 Ti I 5014-20  
 Fe II 5018  
 Fe I 5041  
 Fe I 5047,56  
 Ti O 5448  
 Ti O 5451-  
 Ti O 5464  
 Fe I 5615  
 Fe I 5619  
 VI 5625,28



(1)

Si II 3854  
 Si II 3856  
 Si II 3863  
 He I 3867  
 He I 3872

H I 3771 H I 3759 H I 3750 H I 3734 H I 3722 H I 3712 H I 3704 H I 3697 H I 3687  
 H 8 3889 H 9 3835 H 10 3798 H 11 3771 H 12 3750 H 13 3734 H 14 3722 H 15 3712 H 16 3704 H 17 3697 H 18 3692  
 O I 4070-79 O II 4267 O II 4295  
 N II 4082 N II 4035,41 N II 3995 N II 3983 N II 3952 N II 3942 N II 3938 N II 3934 N II 3932  
 He I 4471 He I 4026 He I 4009 He I 4169 He I 4388 He I 4352 He I 4349 He I 4340 He I 4317 He I 4312 He I 4292 He I 4295 He I 4286 He I 4281 He I 4277 He I 4272 He I 4267 He I 4262 He I 4257 He I 4252 He I 4247 He I 4242 He I 4237 He I 4232 He I 4227 He I 4222 He I 4217 He I 4212 He I 4207 He I 4202 He I 4197 He I 4192 He I 4187 He I 4182 He I 4177 He I 4172 He I 4167 He I 4162 He I 4157 He I 4152 He I 4147 He I 4142 He I 4137 He I 4132 He I 4127 He I 4122 He I 4117 He I 4112 He I 4107 He I 4102 He I 4097 He I 4092 He I 4087 He I 4082 He I 4077 He I 4072 He I 4067 He I 4062 He I 4057 He I 4052 He I 4047 He I 4042 He I 4037 He I 4032 He I 4027 He I 4022 He I 4017 He I 4012 He I 4007 He I 4002 He I 3997 He I 3992 He I 3987 He I 3982 He I 3977 He I 3972 He I 3967 He I 3962 He I 3957 He I 3952 He I 3947 He I 3942 He I 3937 He I 3932 He I 3927 He I 3922 He I 3917 He I 3912 He I 3907 He I 3902 He I 3897 He I 3892 He I 3887 He I 3882 He I 3877 He I 3872 He I 3867 He I 3862 He I 3857 He I 3852 He I 3847 He I 3842 He I 3837 He I 3832 He I 3827 He I 3822 He I 3817 He I 3812 He I 3807 He I 3802 He I 3797 He I 3792 He I 3787 He I 3782 He I 3777 He I 3772 He I 3767 He I 3762 He I 3757 He I 3752 He I 3747 He I 3742 He I 3737 He I 3732 He I 3727 He I 3722 He I 3717 He I 3712 He I 3707 He I 3702 He I 3697 He I 3692 He I 3687 He I 3682 He I 3677 He I 3672 He I 3667 He I 3662 He I 3657 He I 3652 He I 3647 He I 3642 He I 3637 He I 3632 He I 3627 He I 3622 He I 3617 He I 3612 He I 3607 He I 3602 He I 3597 He I 3592 He I 3587 He I 3582 He I 3577 He I 3572 He I 3567 He I 3562 He I 3557 He I 3552 He I 3547 He I 3542 He I 3537 He I 3532 He I 3527 He I 3522 He I 3517 He I 3512 He I 3507 He I 3502 He I 3497 He I 3492 He I 3487 He I 3482 He I 3477 He I 3472 He I 3467 He I 3462 He I 3457 He I 3452 He I 3447 He I 3442 He I 3437 He I 3432 He I 3427 He I 3422 He I 3417 He I 3412 He I 3407 He I 3402 He I 3397 He I 3392 He I 3387 He I 3382 He I 3377 He I 3372 He I 3367 He I 3362 He I 3357 He I 3352 He I 3347 He I 3342 He I 3337 He I 3332 He I 3327 He I 3322 He I 3317 He I 3312 He I 3307 He I 3302 He I 3297 He I 3292 He I 3287 He I 3282 He I 3277 He I 3272 He I 3267 He I 3262 He I 3257 He I 3252 He I 3247 He I 3242 He I 3237 He I 3232 He I 3227 He I 3222 He I 3217 He I 3212 He I 3207 He I 3202 He I 3197 He I 3192 He I 3187 He I 3182 He I 3177 He I 3172 He I 3167 He I 3162 He I 3157 He I 3152 He I 3147 He I 3142 He I 3137 He I 3132 He I 3127 He I 3122 He I 3117 He I 3112 He I 3107 He I 3102 He I 3097 He I 3092 He I 3087 He I 3082 He I 3077 He I 3072 He I 3067 He I 3062 He I 3057 He I 3052 He I 3047 He I 3042 He I 3037 He I 3032 He I 3027 He I 3022 He I 3017 He I 3012 He I 3007 He I 3002 He I 2997 He I 2992 He I 2987 He I 2982 He I 2977 He I 2972 He I 2967 He I 2962 He I 2957 He I 2952 He I 2947 He I 2942 He I 2937 He I 2932 He I 2927 He I 2922 He I 2917 He I 2912 He I 2907 He I 2902 He I 2897 He I 2892 He I 2887 He I 2882 He I 2877 He I 2872 He I 2867 He I 2862 He I 2857 He I 2852 He I 2847 He I 2842 He I 2837 He I 2832 He I 2827 He I 2822 He I 2817 He I 2812 He I 2807 He I 2802 He I 2797 He I 2792 He I 2787 He I 2782 He I 2777 He I 2772 He I 2767 He I 2762 He I 2757 He I 2752 He I 2747 He I 2742 He I 2737 He I 2732 He I 2727 He I 2722 He I 2717 He I 2712 He I 2707 He I 2702 He I 2697 He I 2692 He I 2687 He I 2682 He I 2677 He I 2672 He I 2667 He I 2662 He I 2657 He I 2652 He I 2647 He I 2642 He I 2637 He I 2632 He I 2627 He I 2622 He I 2617 He I 2612 He I 2607 He I 2602 He I 2597 He I 2592 He I 2587 He I 2582 He I 2577 He I 2572 He I 2567 He I 2562 He I 2557 He I 2552 He I 2547 He I 2542 He I 2537 He I 2532 He I 2527 He I 2522 He I 2517 He I 2512 He I 2507 He I 2502 He I 2497 He I 2492 He I 2487 He I 2482 He I 2477 He I 2472 He I 2467 He I 2462 He I 2457 He I 2452 He I 2447 He I 2442 He I 2437 He I 2432 He I 2427 He I 2422 He I 2417 He I 2412 He I 2407 He I 2402 He I 2397 He I 2392 He I 2387 He I 2382 He I 2377 He I 2372 He I 2367 He I 2362 He I 2357 He I 2352 He I 2347 He I 2342 He I 2337 He I 2332 He I 2327 He I 2322 He I 2317 He I 2312 He I 2307 He I 2302 He I 2297 He I 2292 He I 2287 He I 2282 He I 2277 He I 2272 He I 2267 He I 2262 He I 2257 He I 2252 He I 2247 He I 2242 He I 2237 He I 2232 He I 2227 He I 2222 He I 2217 He I 2212 He I 2207 He I 2202 He I 2197 He I 2192 He I 2187 He I 2182 He I 2177 He I 2172 He I 2167 He I 2162 He I 2157 He I 2152 He I 2147 He I 2142 He I 2137 He I 2132 He I 2127 He I 2122 He I 2117 He I 2112 He I 2107 He I 2102 He I 2097 He I 2092 He I 2087 He I 2082 He I 2077 He I 2072 He I 2067 He I 2062 He I 2057 He I 2052 He I 2047 He I 2042 He I 2037 He I 2032 He I 2027 He I 2022 He I 2017 He I 2012 He I 2007 He I 2002 He I 1997 He I 1992 He I 1987 He I 1982 He I 1977 He I 1972 He I 1967 He I 1962 He I 1957 He I 1952 He I 1947 He I 1942 He I 1937 He I 1932 He I 1927 He I 1922 He I 1917 He I 1912 He I 1907 He I 1902 He I 1897 He I 1892 He I 1887 He I 1882 He I 1877 He I 1872 He I 1867 He I 1862 He I 1857 He I 1852 He I 1847 He I 1842 He I 1837 He I 1832 He I 1827 He I 1822 He I 1817 He I 1812 He I 1807 He I 1802 He I 1797 He I 1792 He I 1787 He I 1782 He I 1777 He I 1772 He I 1767 He I 1762 He I 1757 He I 1752 He I 1747 He I 1742 He I 1737 He I 1732 He I 1727 He I 1722 He I 1717 He I 1712 He I 1707 He I 1702 He I 1697 He I 1692 He I 1687 He I 1682 He I 1677 He I 1672 He I 1667 He I 1662 He I 1657 He I 1652 He I 1647 He I 1642 He I 1637 He I 1632 He I 1627 He I 1622 He I 1617 He I 1612 He I 1607 He I 1602 He I 1597 He I 1592 He I 1587 He I 1582 He I 1577 He I 1572 He I 1567 He I 1562 He I 1557 He I 1552 He I 1547 He I 1542 He I 1537 He I 1532 He I 1527 He I 1522 He I 1517 He I 1512 He I 1507 He I 1502 He I 1497 He I 1492 He I 1487 He I 1482 He I 1477 He I 1472 He I 1467 He I 1462 He I 1457 He I 1452 He I 1447 He I 1442 He I 1437 He I 1432 He I 1427 He I 1422 He I 1417 He I 1412 He I 1407 He I 1402 He I 1397 He I 1392 He I 1387 He I 1382 He I 1377 He I 1372 He I 1367 He I 1362 He I 1357 He I 1352 He I 1347 He I 1342 He I 1337 He I 1332 He I 1327 He I 1322 He I 1317 He I 1312 He I 1307 He I 1302 He I 1297 He I 1292 He I 1287 He I 1282 He I 1277 He I 1272 He I 1267 He I 1262 He I 1257 He I 1252 He I 1247 He I 1242 He I 1237 He I 1232 He I 1227 He I 1222 He I 1217 He I 1212 He I 1207 He I 1202 He I 1197 He I 1192 He I 1187 He I 1182 He I 1177 He I 1172 He I 1167 He I 1162 He I 1157 He I 1152 He I 1147 He I 1142 He I 1137 He I 1132 He I 1127 He I 1122 He I 1117 He I 1112 He I 1107 He I 1102 He I 1097 He I 1092 He I 1087 He I 1082 He I 1077 He I 1072 He I 1067 He I 1062 He I 1057 He I 1052 He I 1047 He I 1042 He I 1037 He I 1032 He I 1027 He I 1022 He I 1017 He I 1012 He I 1007 He I 1002 He I 997 He I 992 He I 987 He I 982 He I 977 He I 972 He I 967 He I 962 He I 957 He I 952 He I 947 He I 942 He I 937 He I 932 He I 927 He I 922 He I 917 He I 912 He I 907 He I 902 He I 897 He I 892 He I 887 He I 882 He I 877 He I 872 He I 867 He I 862 He I 857 He I 852 He I 847 He I 842 He I 837 He I 832 He I 827 He I 822 He I 817 He I 812 He I 807 He I 802 He I 797 He I 792 He I 787 He I 782 He I 777 He I 772 He I 767 He I 762 He I 757 He I 752 He I 747 He I 742 He I 737 He I 732 He I 727 He I 722 He I 717 He I 712 He I 707 He I 702 He I 697 He I 692 He I 687 He I 682 He I 677 He I 672 He I 667 He I 662 He I 657 He I 652 He I 647 He I 642 He I 637 He I 632 He I 627 He I 622 He I 617 He I 612 He I 607 He I 602 He I 597 He I 592 He I 587 He I 582 He I 577 He I 572 He I 567 He I 562 He I 557 He I 552 He I 547 He I 542 He I 537 He I 532 He I 527 He I 522 He I 517 He I 512 He I 507 He I 502 He I 497 He I 492 He I 487 He I 482 He I 477 He I 472 He I 467 He I 462 He I 457 He I 452 He I 447 He I 442 He I 437 He I 432 He I 427 He I 422 He I 417 He I 412 He I 407 He I 402 He I 397 He I 392 He I 387 He I 382 He I 377 He I 372 He I 367 He I 362 He I 357 He I 352 He I 347 He I 342 He I 337 He I 332 He I 327 He I 322 He I 317 He I 312 He I 307 He I 302 He I 297 He I 292 He I 287 He I 282 He I 277 He I 272 He I 267 He I 262 He I 257 He I 252 He I 247 He I 242 He I 237 He I 232 He I 227 He I 222 He I 217 He I 212 He I 207 He I 202 He I 197 He I 192 He I 187 He I 182 He I 177 He I 172 He I 167 He I 162 He I 157 He I 152 He I 147 He I 142 He I 137 He I 132 He I 127 He I 122 He I 117 He I 112 He I 107 He I 102 He I 97 He I 92 He I 87 He I 82 He I 77 He I 72 He I 67 He I 62 He I 57 He I 52 He I 47 He I 42 He I 37 He I 32 He I 27 He I 22 He I 17 He I 12 He I 7 He I 2 He I

atm. H<sub>2</sub>O 7168-7394  
 atm. H<sub>2</sub>O 8134-8339  
 interstellar 6270-6284  
 interstellar Na I 5890 Na I 5896  
 B-band atm. O<sub>2</sub> 6867-6944  
 He I 6678  
 He I 6563  
 O I 7775 O I 7772  
 A-band atm. O<sub>2</sub> 7594-7684

HD 15497

NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED →

←

B6 Ia

β Ori

B8 Ia

HR 1035

B9 Ia

HR 1040

A0 Ia

HR 618

A1 Ia

α Cyg

A2 Ia

HR 825

A5 Ia

φ Cas

F0 Ia

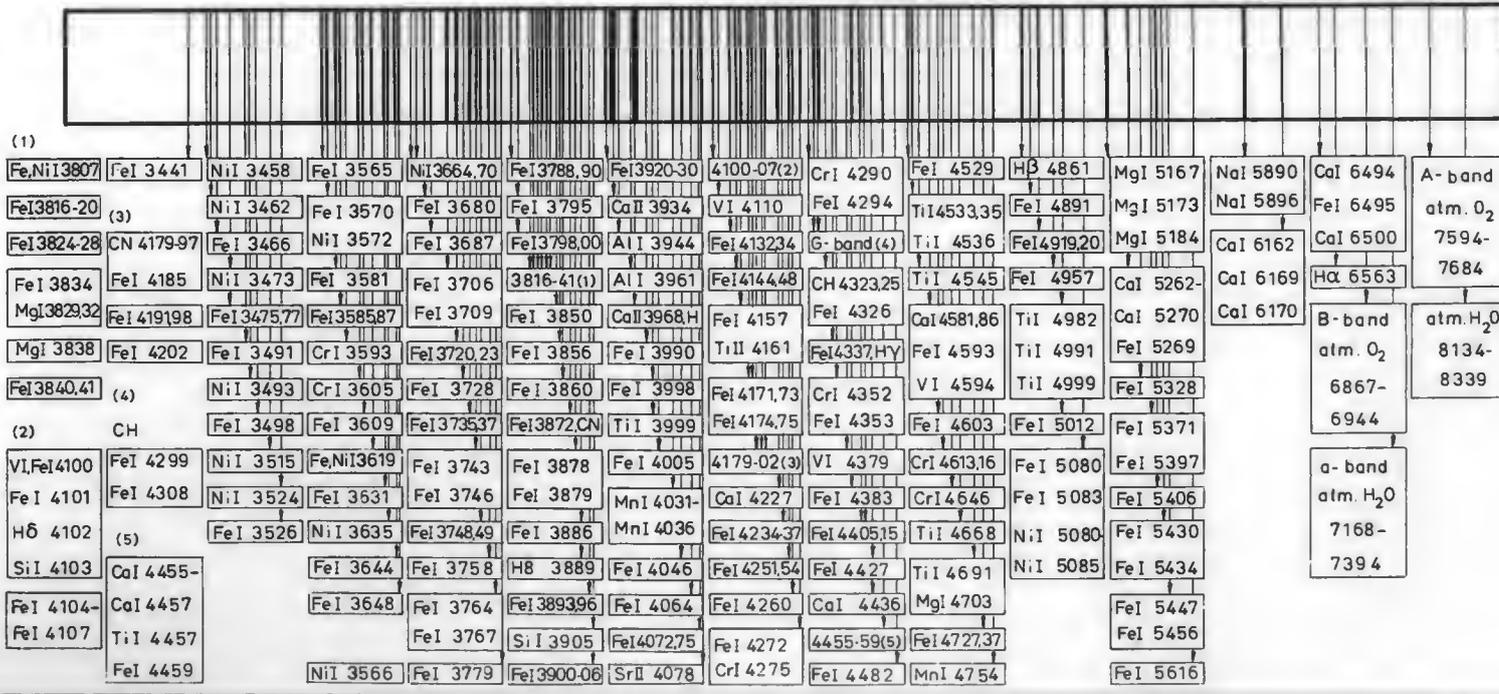
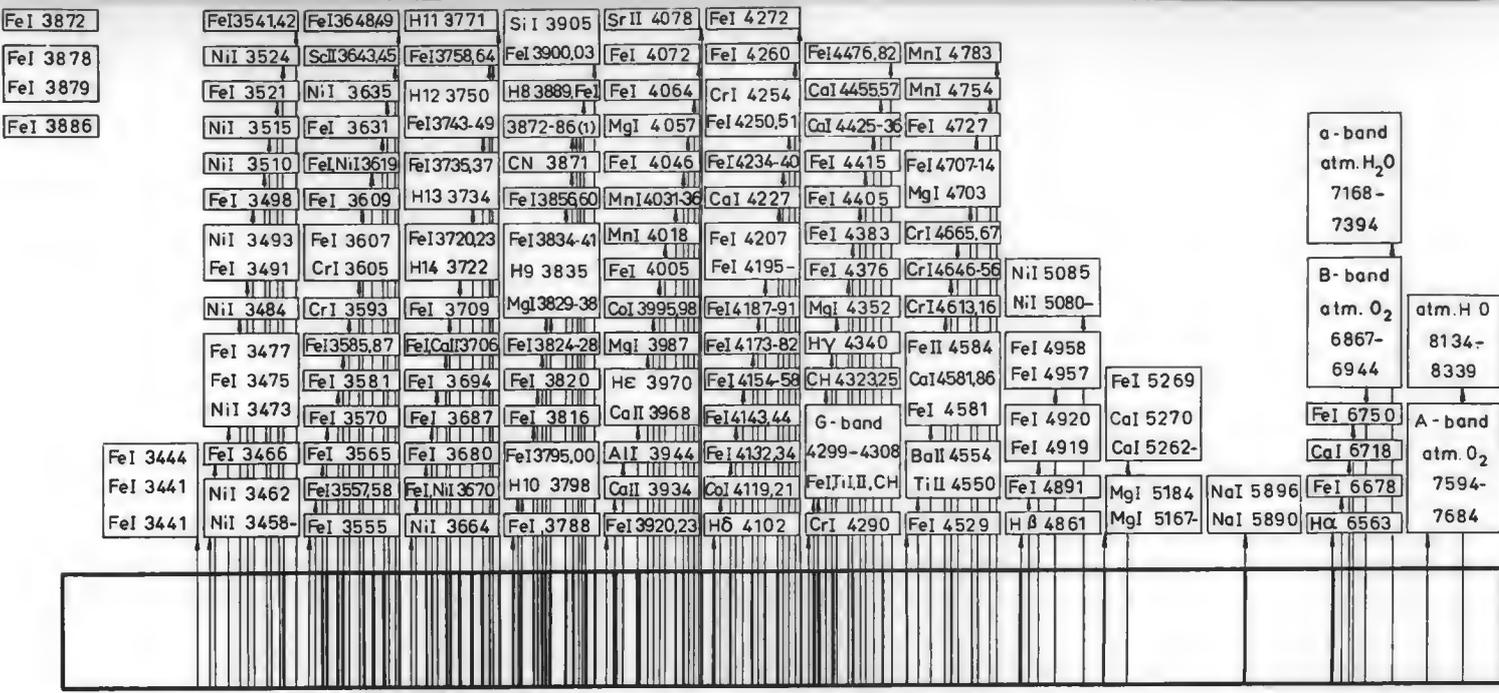
(1) (4) (8)

Fe II 3782 Fe I 3896 Cr I, Ti II 4290 V II 3557 H 25 - H 22 3782-86(1) Ca II 3934 H 6 4102 4290-14(8) Ti II 4550 Y II 4823 Mg I 5167- Sc II 5684 Ca I 6439 A-band  
 Fe II 3783 Ti II 3900 Ti II 4294 Fe I 3581 Cr II 3678 H 10 3798 Al I 3944 Cr I 4111,13 Sc II 4321 Fe II 4555 Cr II 4824 Mg I 5183 Ba II 5854 Ca I 6463 atm. O<sub>2</sub>  
 Ti II 3786 Fe I 3903 Fe I, Ti II 4300 Cr II 3585 H 21, H 20 Fe I 3807 VII, VI 3952 4123-31(5) Fe I 4326 Cr II 4558 H β 4861 Fe II 5167- Fe II 6456 7594-  
 (2) Cr II 3906 Ti II 4302 Sc II 3614 Ti II 3685, H Fe I 3813,16 Ca II 3968, H 4143-64(6) Hy 4340 Ti II 4564 Fe II 4924 Fe II 5172 Na I 5890 He I 6563 7684  
 Mg I 3829,32 (5) Fe II 4303 Sc II 3631 H 18, H 17 Ti II 3815 Y II 3983 Ti II 4172 Fe II 4352 Ti II 4572 Fe II 5018 Fe I 5227 Fe I 5227  
 H 9 3835 Fe II 4123 Ti II 4308 Fe II 3632 H, Ca II 3706 Fe I 3820 Fe I 4002,05 Fe II 4173 4368-009 Fe II 4584 Ti II 5129 Ti II 5227 Ca I 6103  
 Mg I 3838 Si II 4128,31 Sc II 4314 Ti II 3641 H Cr II 3713 Fe I 3824,26 Ti II 4012 Y II 4177 Fe I, Sc II 4415 Cr II 4617,19 Ti II 5262-  
 Fe I 3840,41 Fe I 4129 (9) Sc II 3643,45 VII Cr II 3715 3833-41(2) Zr II 4024 V II 4178 Fe II 4417 Fe II 4629 Fe II 5265,84 Ca I 6122  
 (3) (6) Ti II 4368 H 14 3722 3850-60(3) Ti II 4028 Fe II 4179 Ti II 4418 Cr II 4634 Fe II 5317-  
 Fe I 3850 Fe I 4143,44 Sc II 4374 V II 3728 Fe I 3872 Mn I 4031-36 4202-15(7) Ti II 4444-45 Fe II 4666 Fe II 5326  
 Si II 3854,56 Zr II 4161 Y II 4375 H, Ca II 3737 Fe I 3879 Fe I 4046 Ca I 4227 Ti II 4468 Sc II 4670 Ca I 6142 Ba II 6142 atm. H<sub>2</sub>O  
 Fe I 3860 Ti II 4164 Fe I 4383 Ti II 3742 H 8 3889 Ti II 4054 Fe II 4233 Mg II 4481 Ti II 4708 Ca I 6162 Ca I 6162 a-band  
 Si II 3863 (7) Fe I, Sc II 4385 VII 3746, H 3896-06(4) Fe I 4064 Sc II 4247 Fe II 4489,91 Fe II 4731 Fe II 5425-  
 Fe I 4202 Ti II 4395 Ti II 3758-61 Ti II 3914 Fe I 4072 Zr II 4258 Ti II 4501 Ti II 4764 Fe I 5424,56 Si II 6347  
 Sr II 4215 Sc II, Ti II 4400 H, Ti II 3776 Fe I 3920,23 Sr II 4078 Fe I 4271,72 Fe II 4520,23 Ti II 4798,05 Fe II 5535

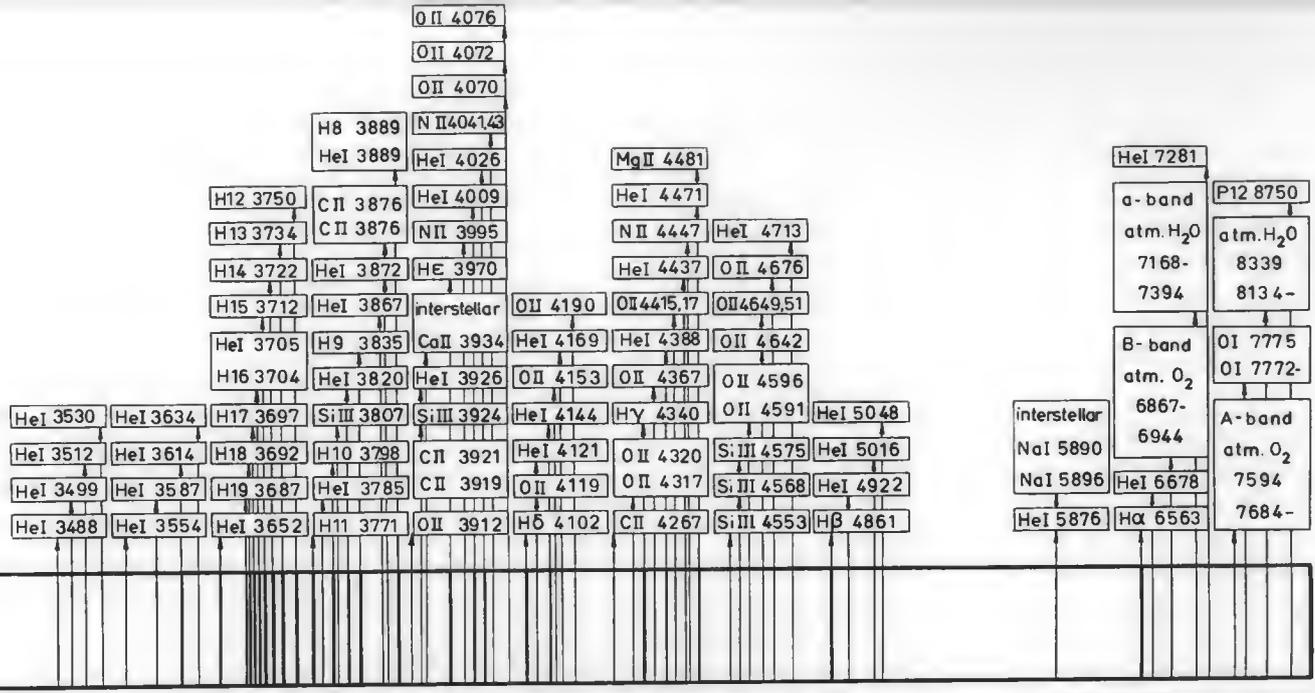












γ Peg

B2 IV

τ Her

B5 IV

ξ Ari

B7 IV

γ Gem

A0 IV

ε Cep

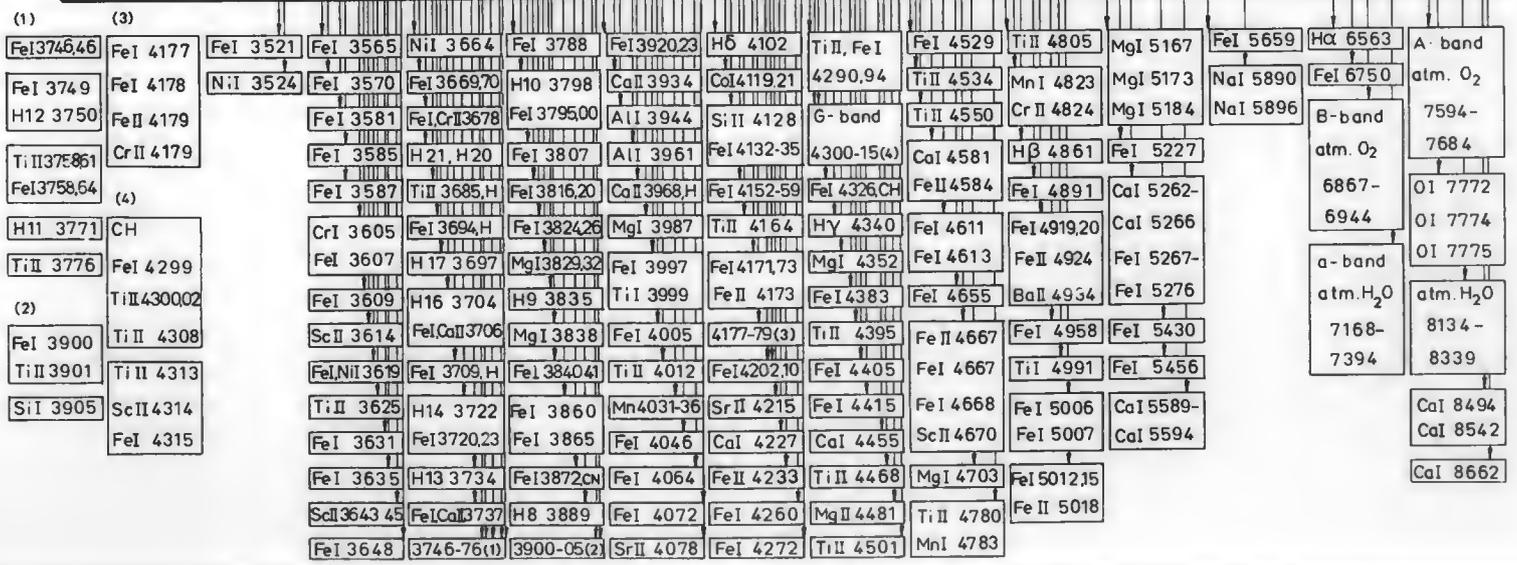
F0 IV

β Cas

F2 IV

α Tri

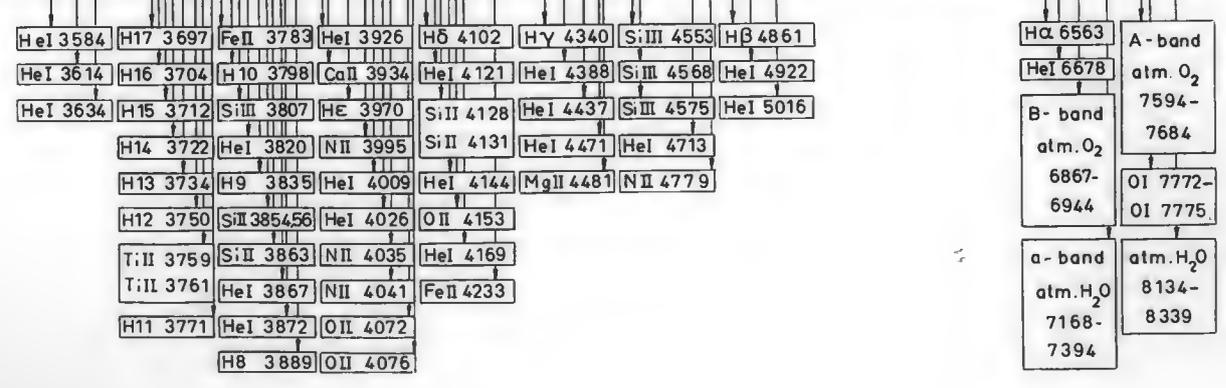
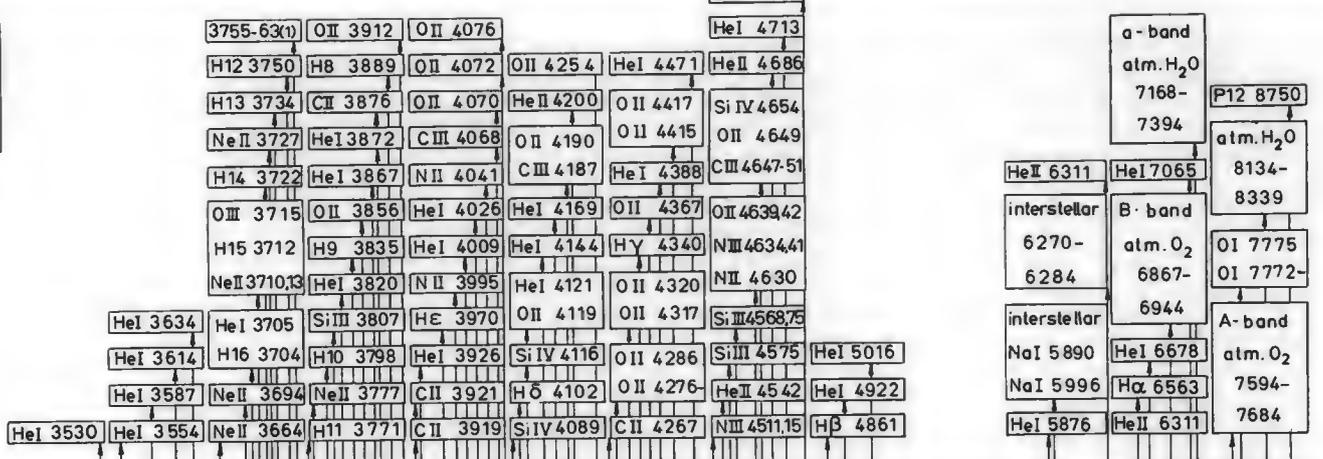
F6 IV

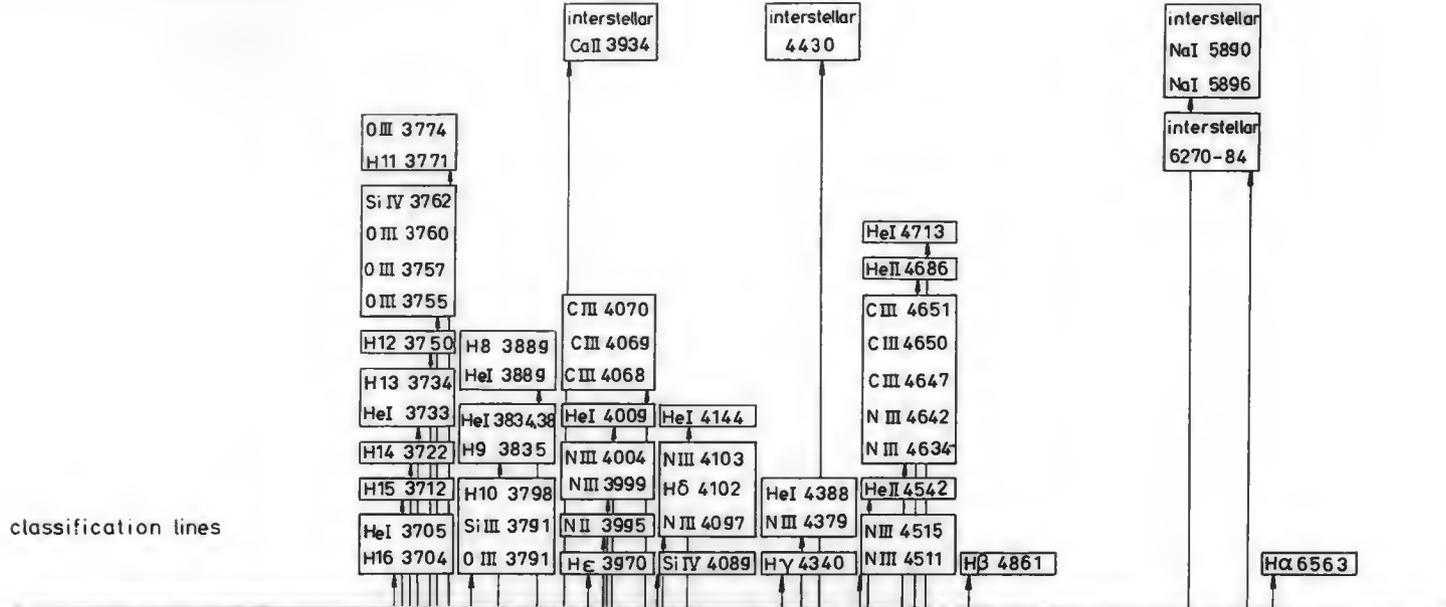




(1)

OIII 3755  
 OIII 3757  
 OIII 3760  
 SiIV 3763





HD 210809 09 Ib



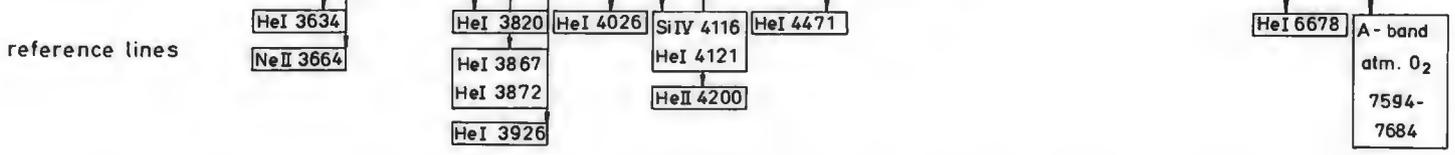
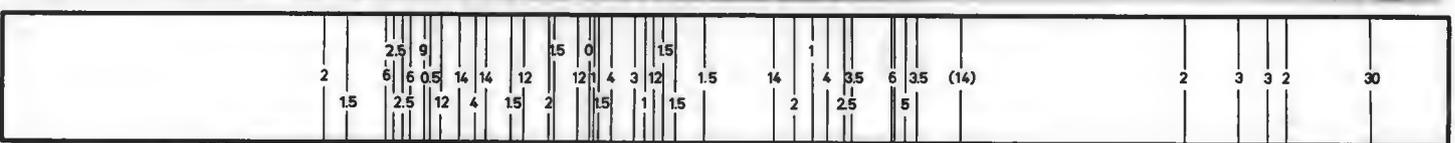
HD 207198 09 II



ι Ori 09 III

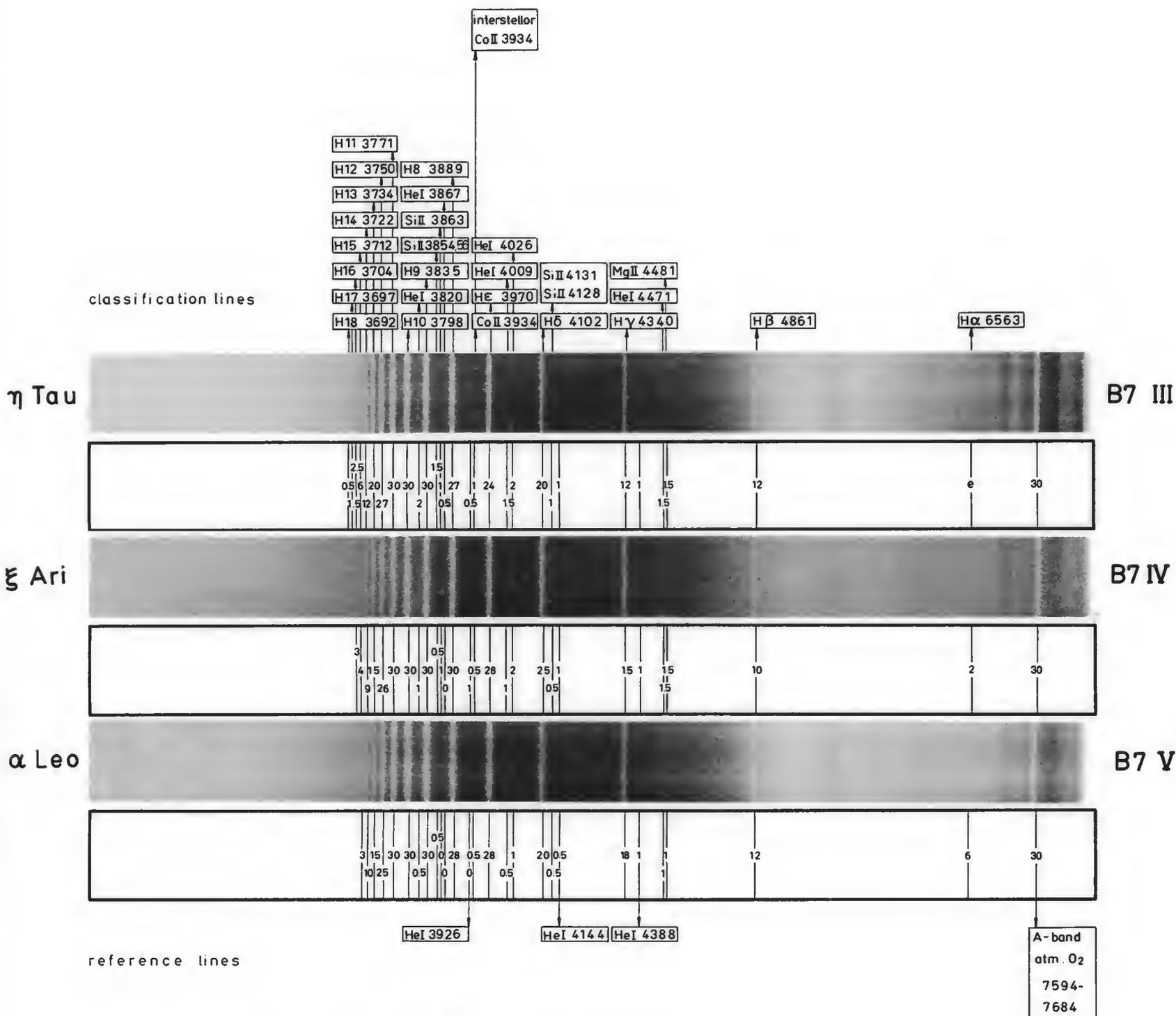


10 Lac 09 V



1. Small differences in H-line width: in higher luminosity classes H-lines slightly sharper (weaker, when broadened through scintillation effects).
2. Decrease of H- absorption intensities for lines shorter than H12 faster in lower luminosity classes.
3. Increased strength of H16 through blend with HeI3705 and H13 through blend with HeI 3733 most pronounced in luminosity class V, faintly present in higher luminosity classes
4. Increasingly stronger in higher luminosity classes: (N II 3995); (slightly stronger absorption at Hδ through N III 4097, 4103 in 09 Ib?) blend O III 3755, 3757, 3760, SiIV 3762; SiIV 4089.
5. Increasingly stronger in lower luminosity classes: HeI 4009, (HeI 4144); HeI 4388 (+ N III 4379?); HeI 4713.

Most important regions for luminosity classification: both sides of Hδ; H11 - H16; λ 4634 - λ 4713.



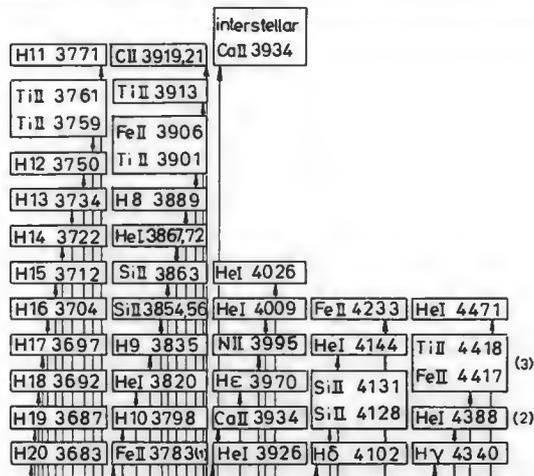
1. H-lines slightly sharper in luminosity class III.
2. Increasingly stronger in higher luminosity classes: HeI 3820; HeI 3867; HeI 4009; HeI 4026; HeI 4471; MgII 4481  
SiII 3854,3856; SiII 3863; SiII 4128, 4131;  
(CoII 3934 increased through interstellar K-line)

Most important region for luminosity classification: H10 - H8.

HeI 3820: exceedingly sharp luminosity indicator at B7 to separate class V from higher luminosity classes

η Tau: Hα in emission.

- (1) Possibly blended with HeI 3785
- (2) Possibly blended with FeII 4385
- (3) Possibly blended with OII 4415,17



classification lines

β Ori



B8 Ia



13 Cep



B8 Ib



γ CMa



B8 II

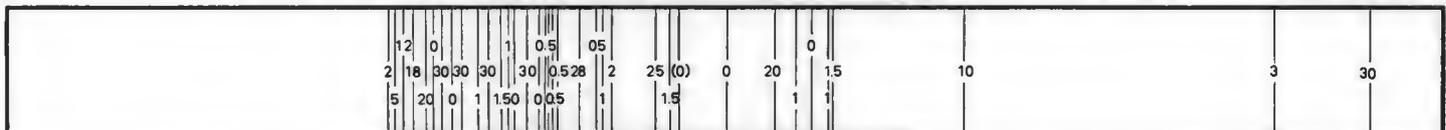


27 Tau

NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED



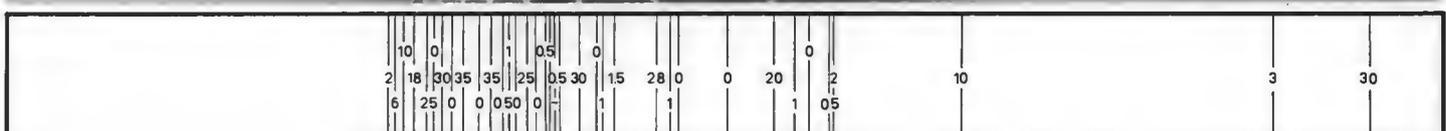
B8 III



ζ Peg



B8 V



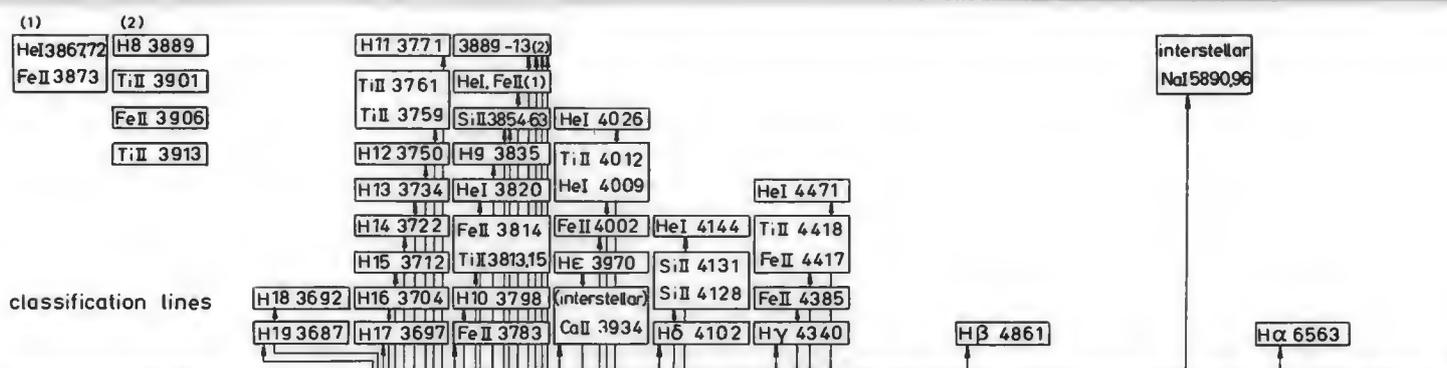
reference line

MgII 4481

A - bond  
atm. O<sub>2</sub>  
7594-  
7684

1. In highest luminosity classes: H- lines very sharp - Hα hardly detectable - higher series members visible.
2. Balmer jump indicated in class Ia.
3. Increasingly stronger in higher luminosity classes: HeI 3820 ; HeI 3867,72; HeI 3926; HeI 4009 ; HeI 4026; HeI 4144; HeI 4471  
SiII 3854, 3856; SiII 3863; SiII 4128, 4131 ;  
CaII 3934 (increased through interstellar K - line in Ia and Ib).
4. Faintly present in highest luminosity classes: numerous metallic lines e.g. TiII 3759, 3761, blend TiII 3901, FeII 3906; TiII 3913, CII 3919,21  
FeII 3783; FeII 4233; blend FeII 4417; TiII 4418.

Most important region for luminosity classification: H10 - HE



classification lines

HR 1035

B9 Ia



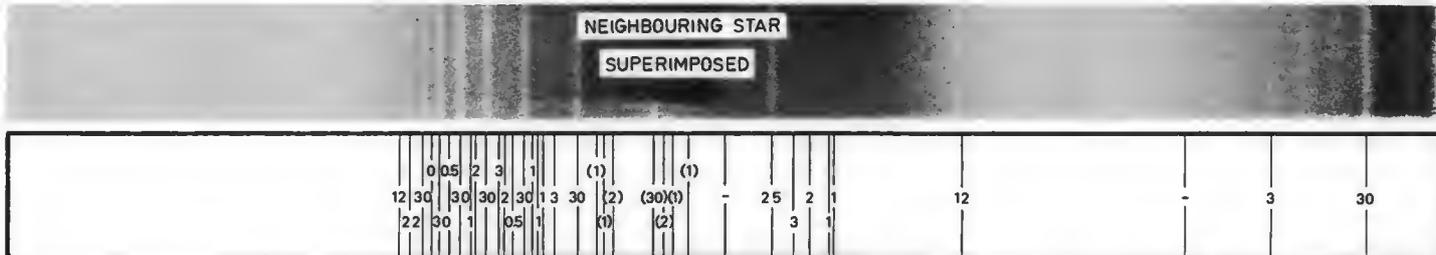
$\alpha$  Cyg

B9 Iab



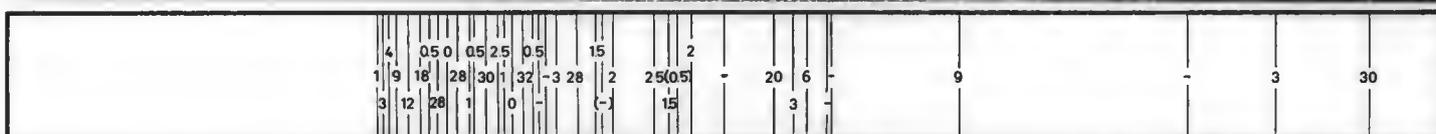
HR 1804

B9 Ib



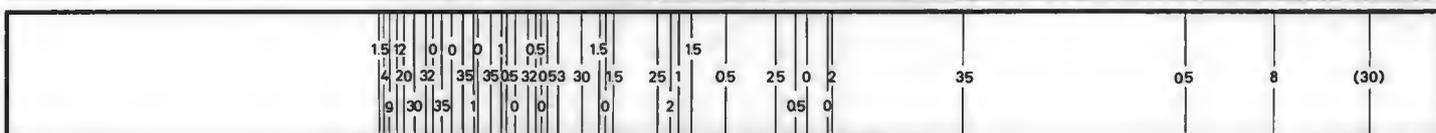
HD 43836

B9 II



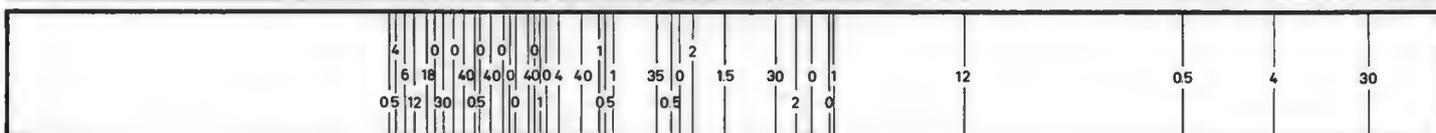
$\gamma$  Lyr

B9 III



$\alpha$  Del

B9 V



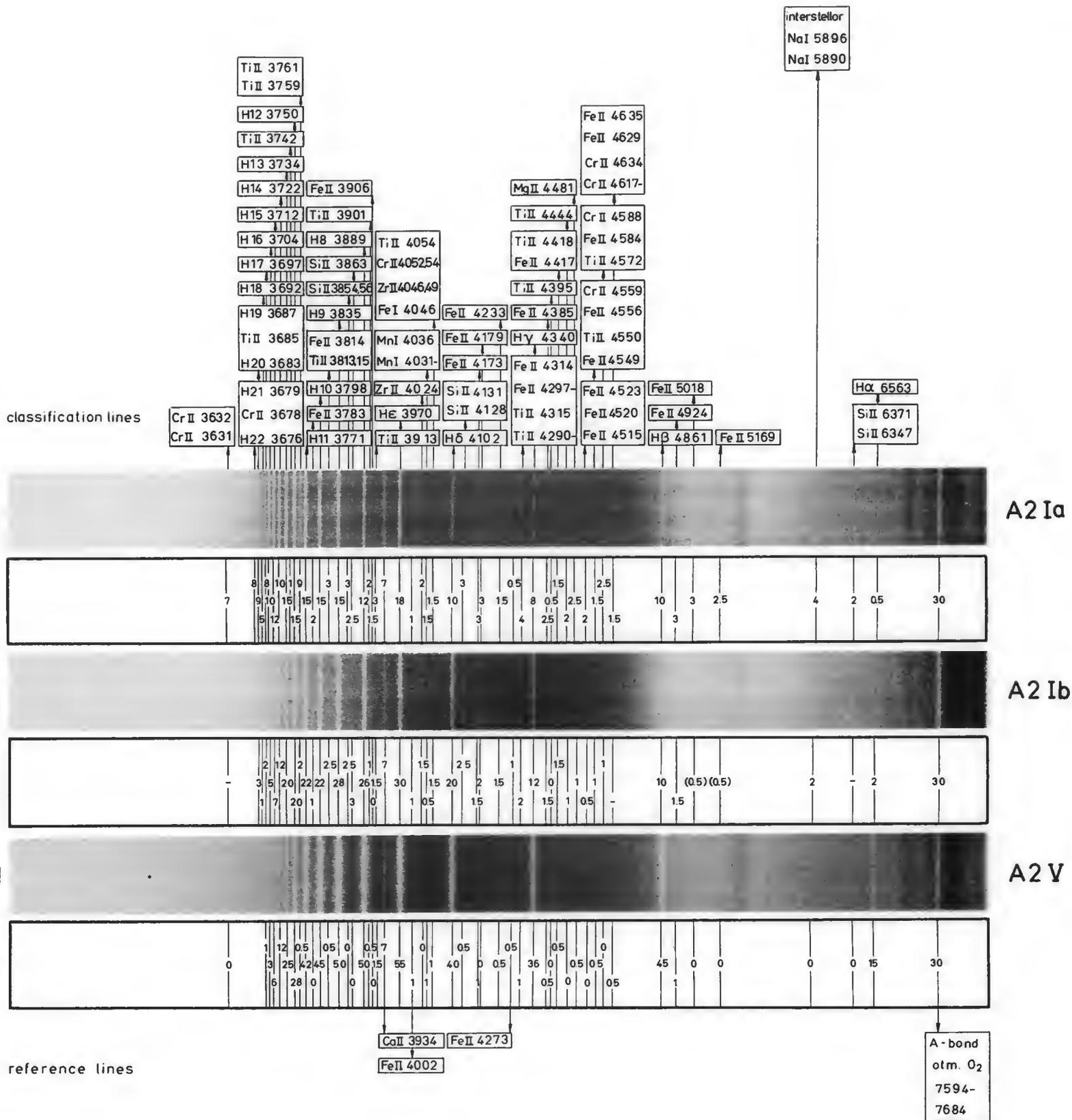
reference lines

FeII 4173, 79 MgII 4481  
 FeII 4233

A-band atm. 0.2  
 7594-7684

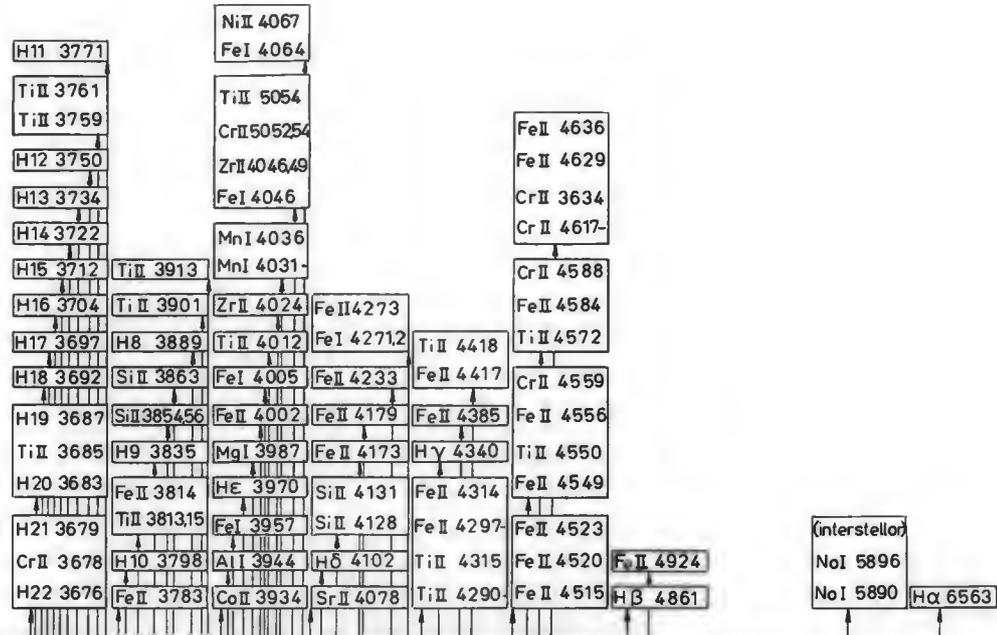
1. H-lines very sharp in luminosity classes Ia and Iab - H $\alpha$  hardly detectable in classes brighter than III.
  2. Balmer discontinuity pronounced in Ia, present in Iab.
  3. Increasingly stronger in higher luminosity classes: HeI 3820; blend HeI 3867.72, FeII 3873; blend HeI 4009, TiII 4012; HeI 4026; HeI 4144; HeI 4471; SiII 3854, 3856; SiII 3863; SiII 4128, 4131; TiII 3759, 3761; blend TiII 3813.15, FeII 3814; FeII 3783; (FeII 4002).
  4. In highest luminosity classes numerous metallic lines faintly present, e.g. TiII and FeII lines between  $\lambda$  4500 and  $\lambda$  4700.
- Most important region for luminosity classification: H12-He





1. H-lines extremely sharp in highest luminosity class - sharp in class Ib H $\alpha$  faint in supergiants.
2. On well exposed plates with small scintillation H-lines visible to higher series members in highest luminosity classes.
3. Bolmer discontinuity strong in Ia (I $\alpha^!$ ), clearly present in Ib.
4. Increasingly stronger in higher luminosity classes: Mg II 4481; Si II 3854, 3856; Si II 3863; Si II 4128, 4131; Ti II 3685 (blend with H20, H19) Ti II 3742; Ti II 3759, 3761; blend Ti II 3813, 15, Fe II 3814; Ti II 3901; Ti II 3913; Ti II 4444; blend Ti II 4290, 94, 4300, 02, 08, 313, 4315, Fe II 4297, 4303, 4314 Cr II 3631, 3632; Cr II 3678 (blend with H22, H21); Mn I 4031, 4033, 4034, 4036; Fe II 3783; Fe II 3906; Fe II 4173; Fe II 4179; Fe II 4233; Fe II 4385; blend Fe II 4417, Ti II 4418; Zr II 4024; blend Zr II 4046, 4049, Fe I 4046, Cr II 4052, 4054, blends: Fe II 4549, Ti II 4550, Fe II 4556, Cr II 4559, Ti II 4054; Ti II 4572, Fe II 4584, Cr II 4588 Cr II 4617, 4619, 4634, Fe II 4629, 4635.

Most important regions for luminosity classification: H22 - K; H $\delta$  - H $\gamma$ ;  $\lambda$  4385 -  $\lambda$  4635.



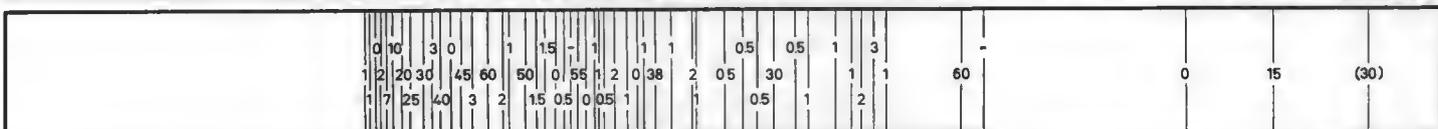
HD 210221

A3 Ib



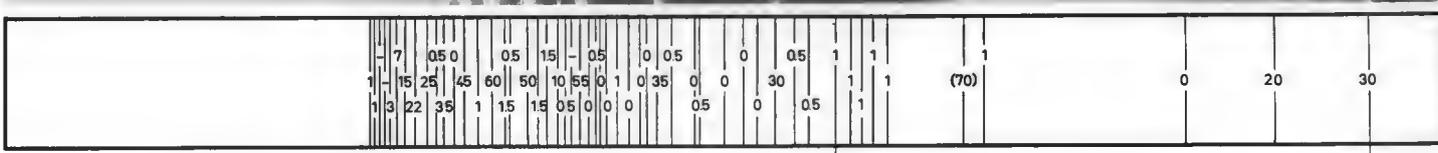
θGem

A3 III



λGem

A3 V



MgII 4481

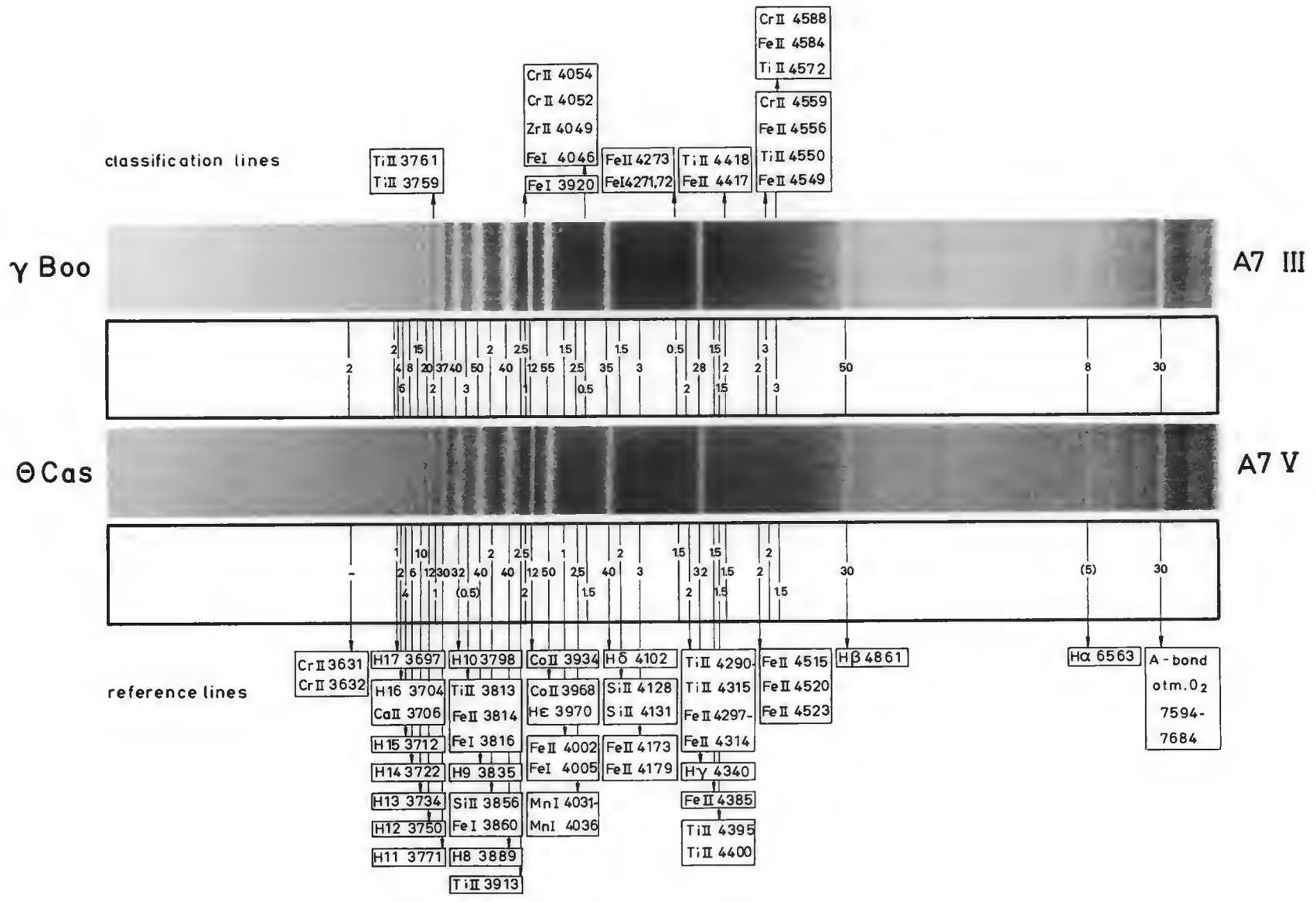
A-bond  
otm.02  
7594-  
7684

reference lines

- H- lines sharper in higher luminosity classes - Hα weak in supergiants.
- Higher members of Bolmer series weaker in class V.
- Bolmer discontinuity weakly present in class Ib.
- Increasingly stranger in higher luminosity classes: MgI 3987; AlI 3944; SiII 3854, 3856; SiII 3863; SiII 4128, 4131; CoII 3934; TiII 3685 (blend with H20, H19); TiII 3759, 3761; blend TiII 3813, 15 FeII 3814; TiII 3901; TiII 3913; TiII 4012; blend TiII 4290, 4300, 4302, 4313, 4315, FeII 4297, 4303, 4314; CrII 3678 (blend with H22, H21); MnI 4031, 4033, 4034, 4036; FeI 3957; FeI 4005; blend FeI 4046, ZrII 4046, 4049, CrII 4052, 4054, TiII 4054; blend FeI 4064, NiII 4067; blend FeI 4271, 2, FeII 4273 FeII 3783; FeII 4002; FeII 4173; FeII 4179; FeII 4233; FeII 4385; blend FeII 4417, TiII 4418; FeII 4515, 4520, 4523; FeII 4924; SrII 4078; ZrII 4024. blends: FeII 4549, TiII 4550, FeII 4556, CrII 4559  
TiII 4572, FeII 4584, CrII 4588  
CrII 4647, 4619, 4634, FeII 4629, 4635

Most important regions for luminosity classification: λ 4128 - λ 4179; λ 4179 - λ 4635; He - Hδ; H12 - K.

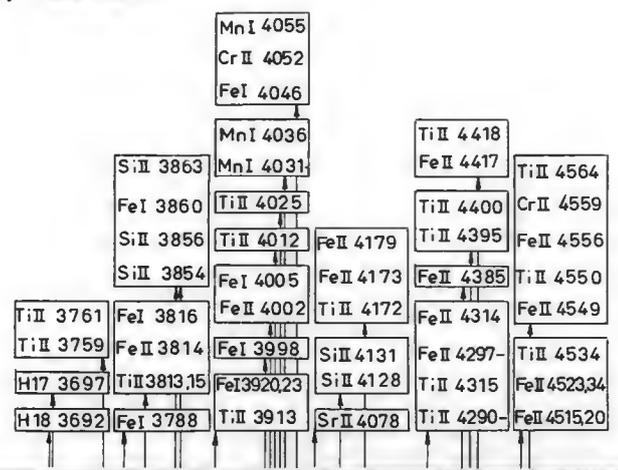




1. No significant difference in H-line quality between classes III and V.
2. Stronger in luminosity class III: Ti II 3759, 3761; blend Fe II 4417, Ti II 4418; blend Fe II 4549, Ti II 4550, Fe II 4556, Cr II 4559; blend Ti II 4572, Fe II 4584, Cr II 4588
3. Stronger in luminosity class V: Fe I 3920; Fe I 4046; blend Fe I 4271,2, Fe II 4273.

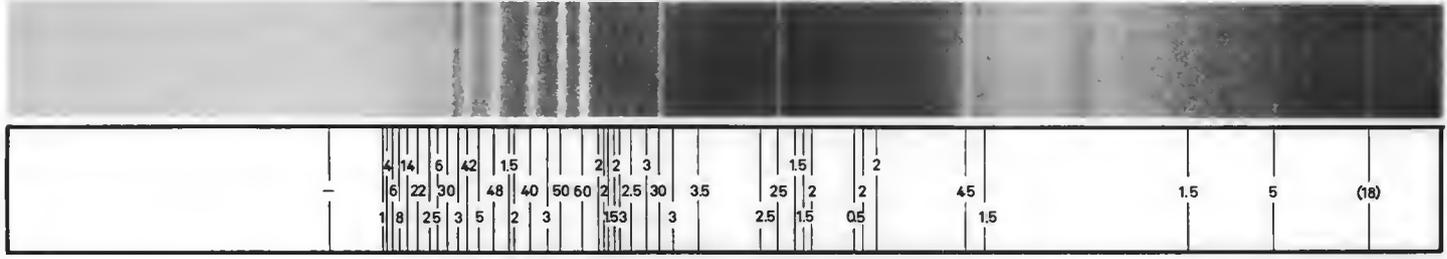
Most important regions for luminosity classification: H12 - H11,  $\lambda$  4549 -  $\lambda$  4635

Most important regions for luminosity classification:  
Hε - Hδ ; H9 - H8 ;

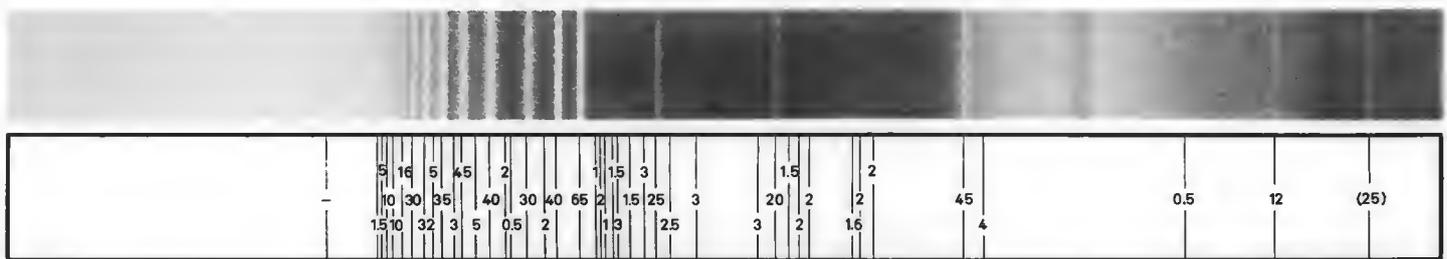


classification lines

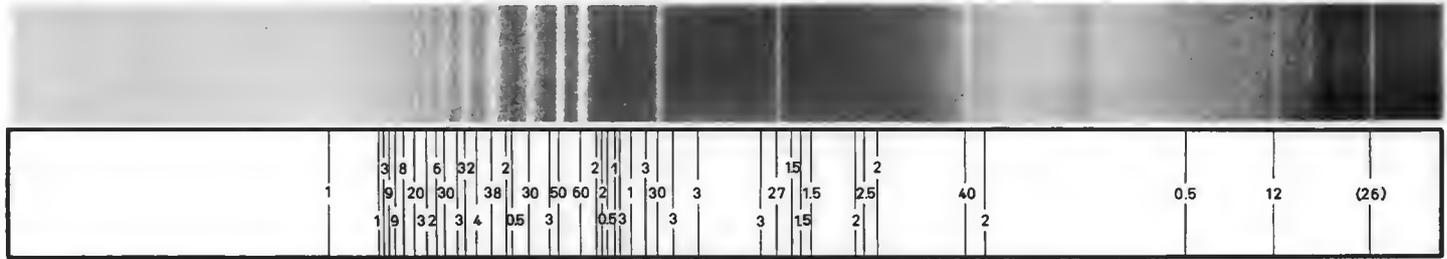
α Lep F0 Ib



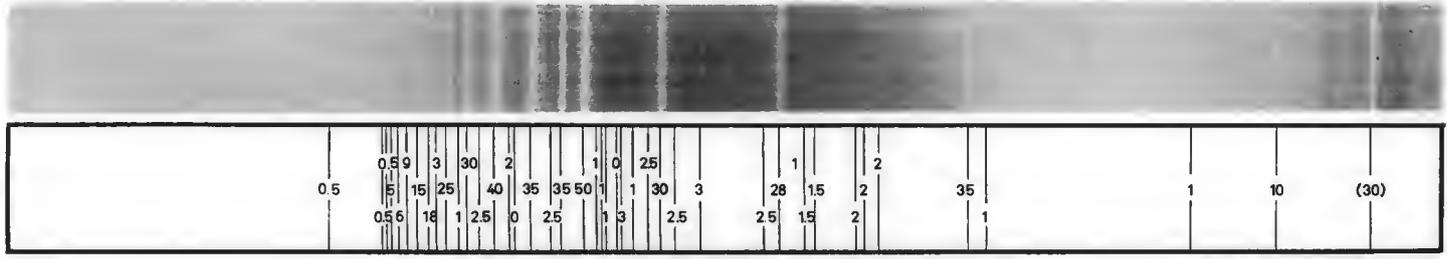
HR 1242 F0 II



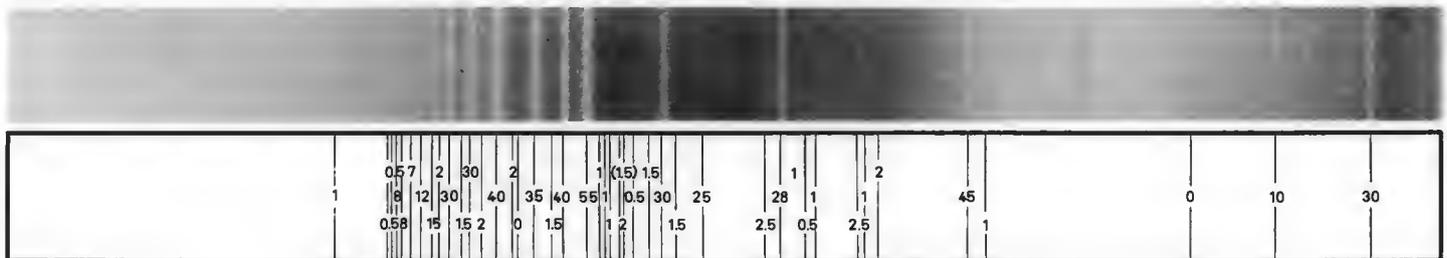
ζ Leo F0 III



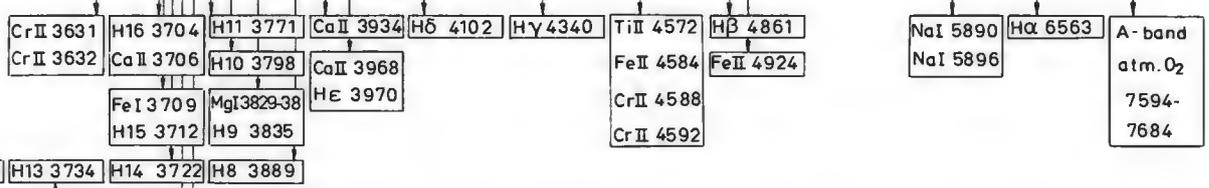
ε Cep F0 IV



ρ Gem F0 V

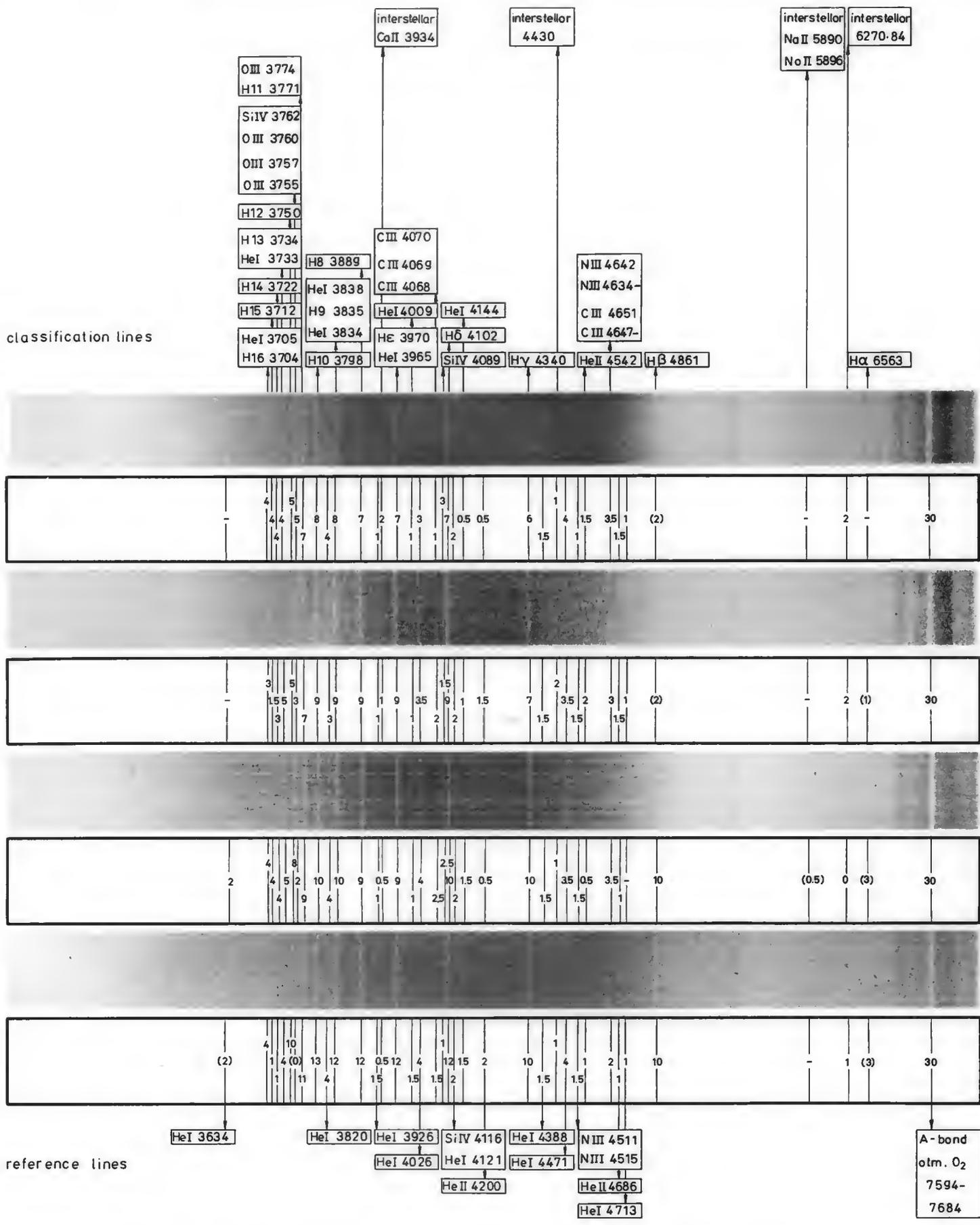


reference lines



- H17 and H18 stranger in higher luminosity classes - otherwise no marked differences in H-lines.
- Blend TiII 4290, 4300, 4302, 4313, 4315, FeII 4297, 4303, 4314 — early stages of G-Band apparently broader in classes II-I.
- (Increasingly) stranger in higher luminosity classes: SiII 3863; SiII 4128, 4131; TiII 3759, 3761; blend TiII 3813, 3815; FeII 3814, FeI 3816; (blend TiII 3913, FeI 3920, 3923); (TiII 4012); blend TiII 4172, FeII 4173, 4179; TiII 4395, 4400; (FeI 3788), (FeI 3998); blend FeI 4046, CrII 4052, 4056 (blend Fe II 4002, FeI 4005); FeII 4385; blend FeII 4417, TiII 4418; blend Fe II 4549, TiII 4550, FeII 4556, CrII 4559, TiII 4564; SrII 4078; ZrII 4024.
- Stranger in lower luminosity classes: blend SiII 3854, 3856, FeI 3860 - FeI contribution more prominent in lower luminosity classes. blend FeII 4515, 4520, 4523, 4534, TiII 4534

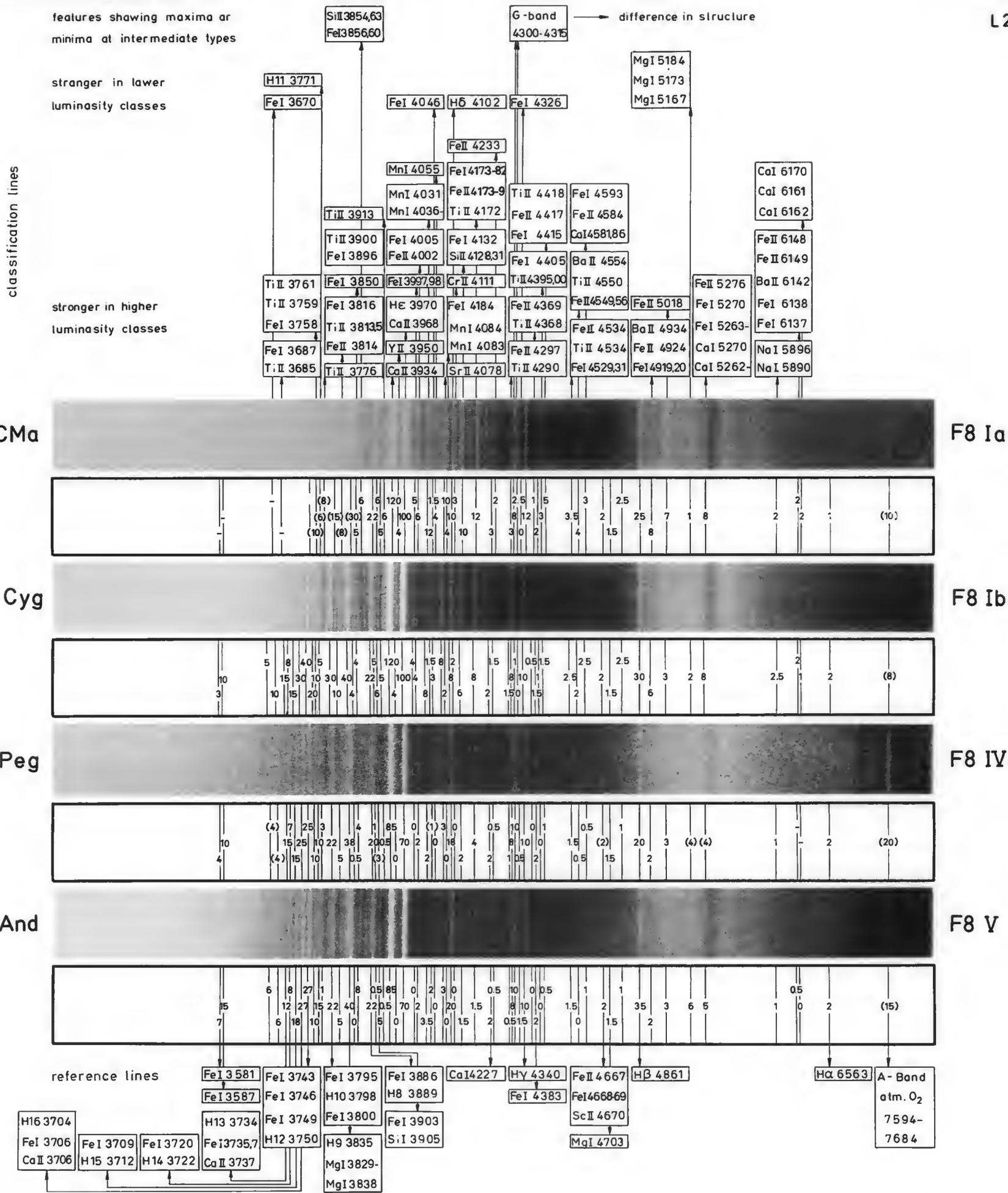




1. In higher luminosity classes H-lines slightly sharper (weaker when broadened through scintillation effects).
2. Decrease of H-absorption intensities for lines shorter than H12 faster in lower luminosity classes - abrupt disappearance of H-lines on the violet side of H16 in luminosity class V.
3. Increased strength of H16 through blend with HeI 3705 and H13 through blend with HeI 3733 most pronounced in luminosity class V.
4. Increasingly stronger in higher luminosity classes: (HeII 4542); C III 4647, 4650, 4651 (+OII)  
blend O III 3755, 3757, 3760, Si IV 3762 (equal to H12 in Ia!); Si IV 4089.
5. Increasingly stronger in lower luminosity classes: (HeI 4009); HeI 4144.

Most important regions for luminosity classification: both sides of Hδ; H11 - H16  
 α Com: weak Hα-emission





1. H $\delta$  considerably weakened in high luminosity classes; H11 weaker in high luminosity classes. (All other high series members blended)  
H $\gamma$  and H $\delta$  intensities comparable to metallic line intensities in supergiants, especially in class Ia.
2. Structure of G-band: smooth in lower luminosity classes, blue component (Ti II 4300, 4302, Fe II 4303) stranger in supergiants.
3. Fe I 3856,60 strang in lowest luminosity class, in class Ia blend enhanced through Si II 3854, 3856, 3863.
4. Numerous (ionized) metallic lines not mentioned individually stranger in high luminosity classes.
5. Important line ratios:
 

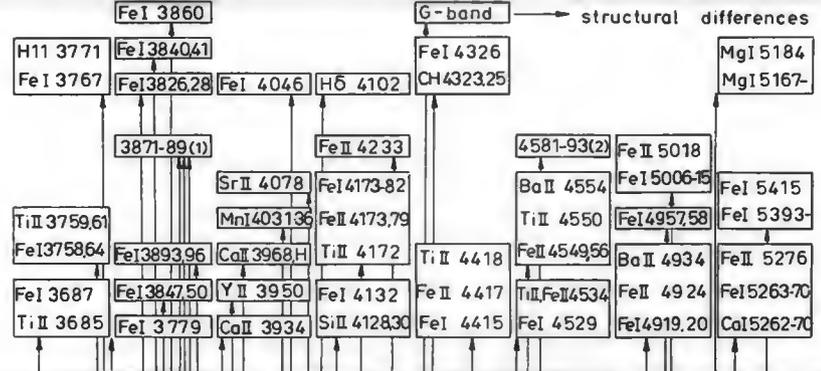
H $\delta$ 4102 / Sr II 4078 :	= 1 in Ia	;	$\approx$ 1 in Ib ;	> 1 in lower luminosity classes
Mn I 4055 / Fe I 4046 :	< 1 in V and IV	;	> 1 in Ib and Ia	

Most important regions for luminosity classification: H $\epsilon$  - H $\beta$ , especially H $\delta$  and both sides of H $\delta$ , both sides of H $\gamma$

classification lines

stronger in lower luminosity classes

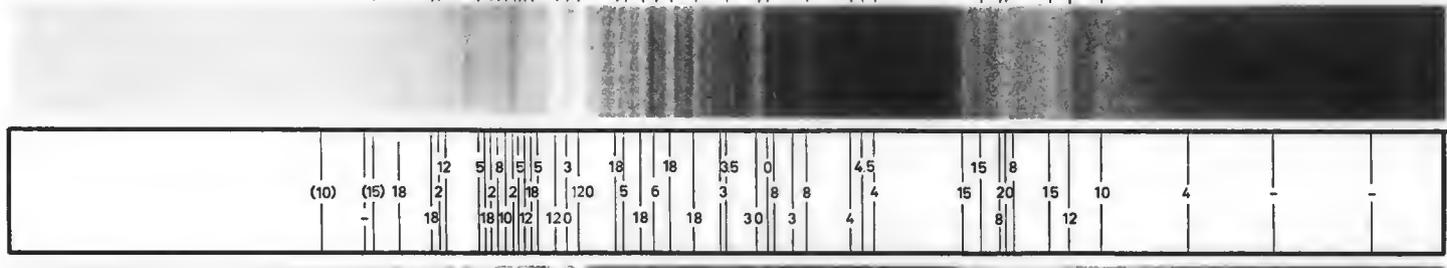
stronger in higher luminosity classes



(2) stronger in higher luminosity

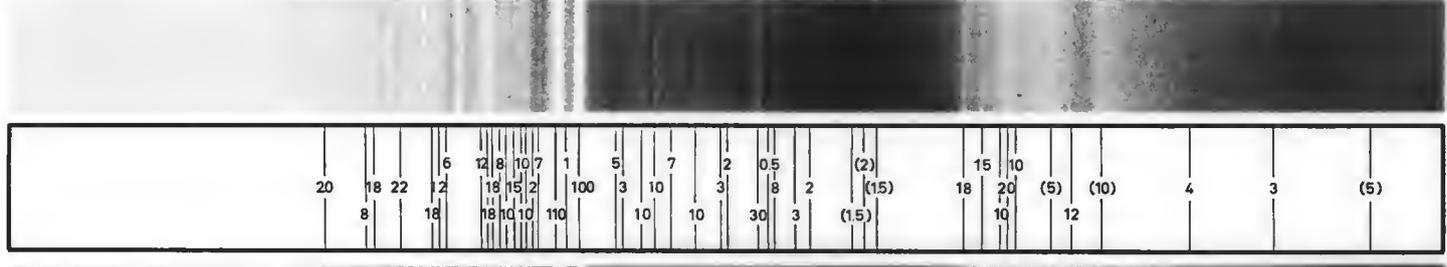
HR 8752

G0 Ia



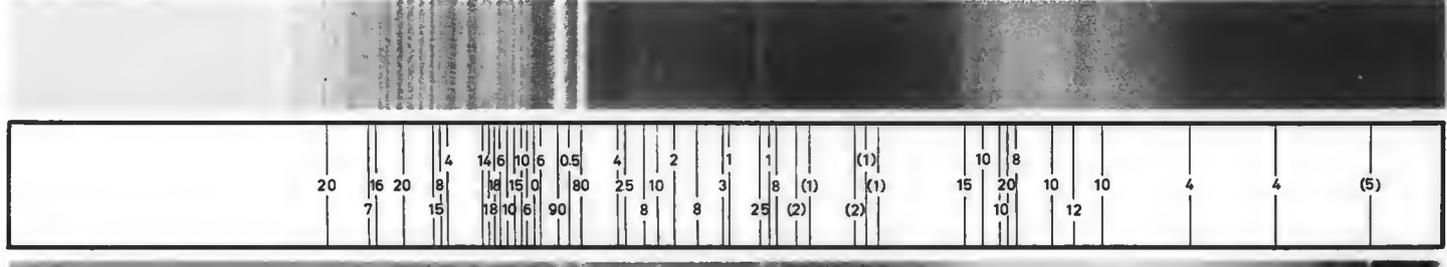
μ Per

G0 Ib



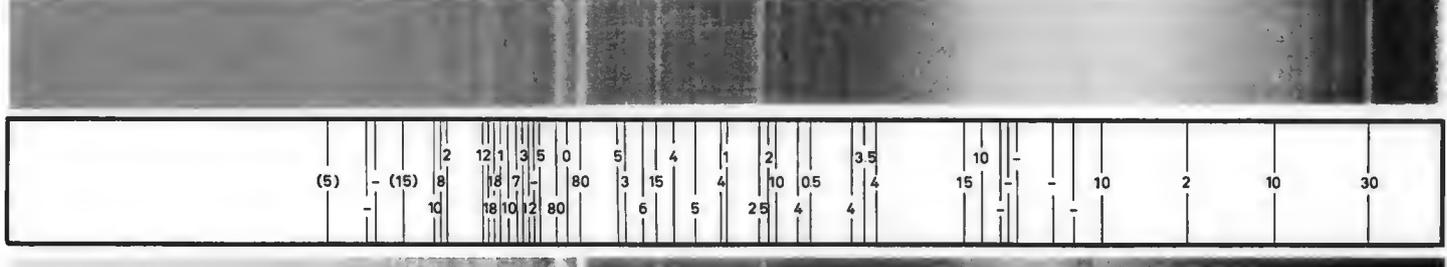
ε Leo

G0 II



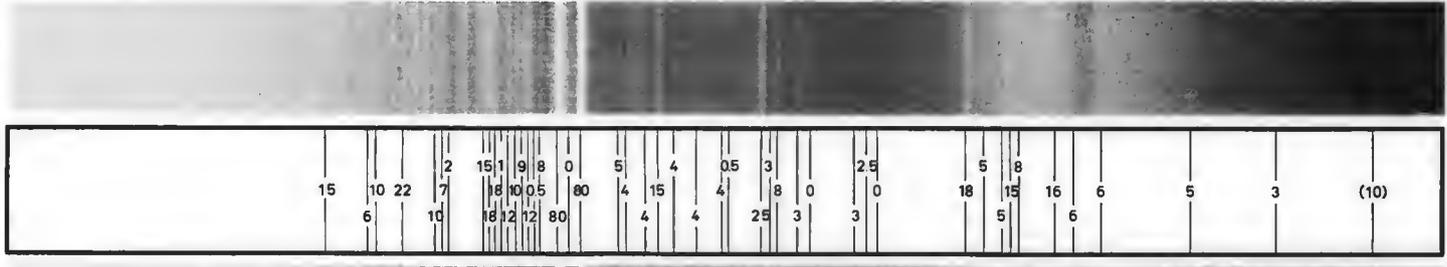
31 Com

G0 III



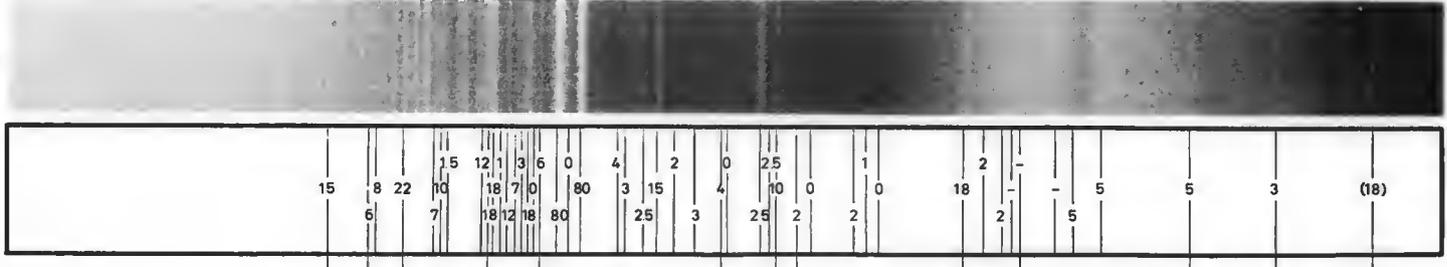
ζ Her

G0 IV

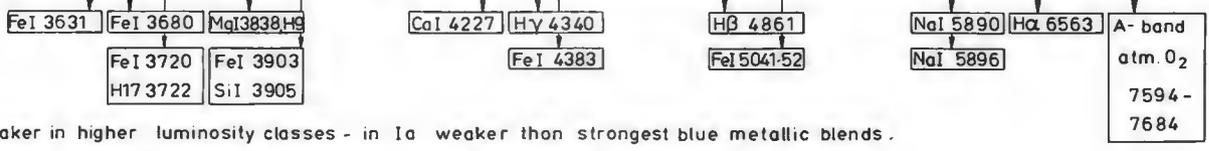


η Cas

G0 V

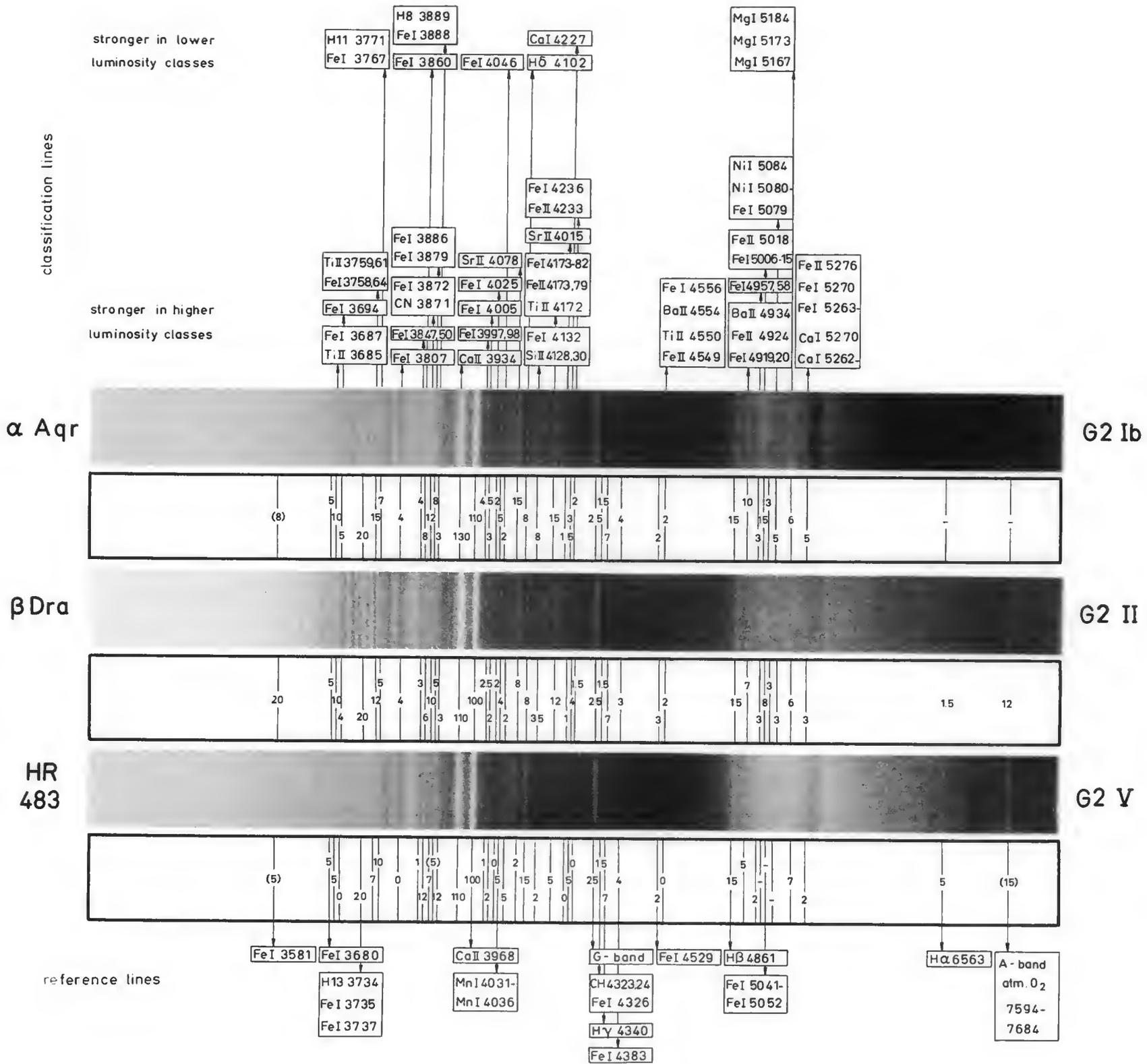


reference lines



1. Hδ considerably weaker in higher luminosity classes - in Ia weaker than strongest blue metallic blends.
2. G-band: smooth structure in classes V - II ; blue component stronger in Ib and much stronger in Ia.
3. Several metallic lines not mentioned individually stronger in highest luminosity classes
4. Important line ratios : Hδ 4102 / SrII 4078 : < 1 in Ia ; = 1 in Ib ; > 1 in II - V

Most important regions for luminosity classification : H9 - HE ! ; Hδ and both sides of Hδ to HE and Hγ respectively



- H $\delta$  considerably stronger and broader in lower luminosity classes
  - No marked structural differences in G-band.
  - Structural differences: blend near  $\lambda$ 4175 narrower in class V
  - CN break at  $\lambda$ 4215 marginal in Ib, very uncertain in II, absent in V
  - Absorption break near  $\lambda$ 3840 less pronounced in Ib
  - Several blends of metallic lines not mentioned individually stronger in higher luminosity classes
  - Important line ratios:
 

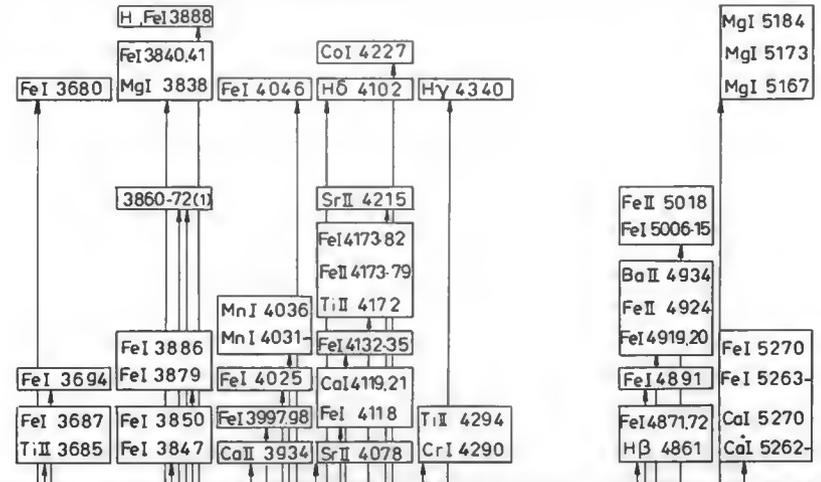
H $\delta$ 4102 / SrII 4078 > 1 in lower luminosity classes MgI 5167-84 / $\lambda$ 5006-48 > 1 in V Ca II 4227 / blend 4172-82 FeI 4046 / MnI 4031-36 FeI 4046 / FeI 4025 > 1 in lower luminosity classes FeI 4005 / FeI 3997,98 > 1 in V TiII, FeI 3687 / FeI 3680 > 1 in high luminosity classes	= 1 in II = 1 in intermediate types = 1 in V = 1 in V = 1 in Ib and II = 1 in intermediate types = 1 in V	< 1 in Ib < 1 in II - I < 1 in higher luminosity classes < 1 in higher luminosity classes. < 1 in II - I
---	---	--
- Most important regions for luminosity classification: CaII 3968 - H $\gamma$  ;  $\lambda$  3680 -  $\lambda$  3690 ;  $\lambda$  3816 - H $\gamma$

(1) features showing maxima or minima at intermediate types

classification lines

stranger in lower luminosity classes

stronger in higher luminosity classes



FeI 3860  
FeI 3872  
CN 3871

9 Peg

G5 Ib



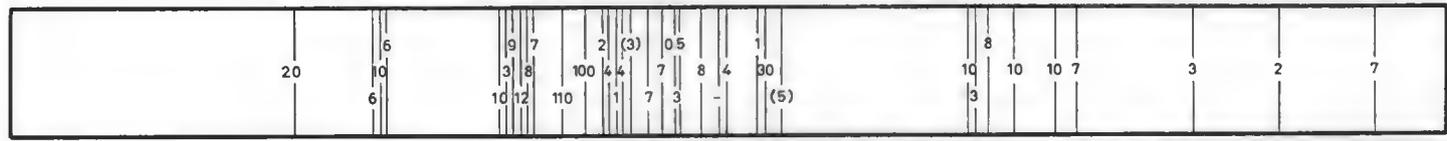
β Sct

G5 II



HR 1327

G5 III



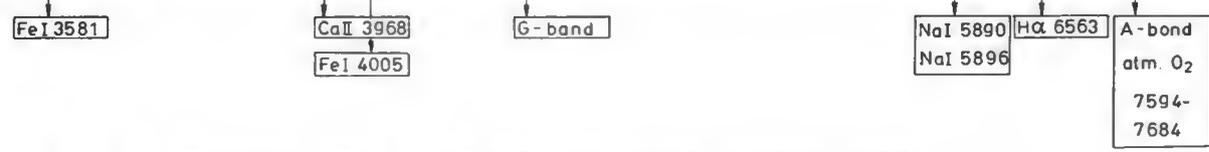
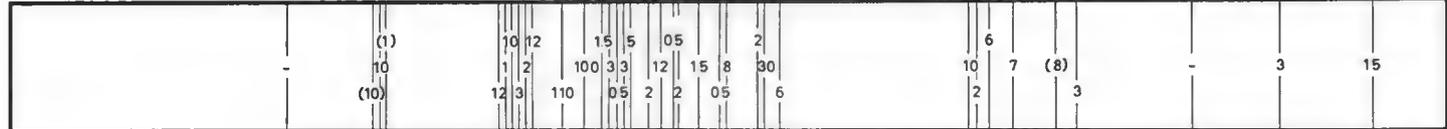
μ Her

G5 IV



κ Cet

G5 V



reference lines

- Small differences in H-lines: Hδ (possibly Hγ) slightly stranger and broader in lower luminosity classes.
  - Structural differences: blend at λ 4175 degenerates into line going from highest to lowest luminosity classes.
  - CN break at 4215 clearly present in Ib, marginal in II, absent in III-V
  - λ 3816 - λ 3889 absorption intensities at nearly equal strength in Ib, marked intensity break near λ 3840 in all lower classes
  - Important line ratios:
 

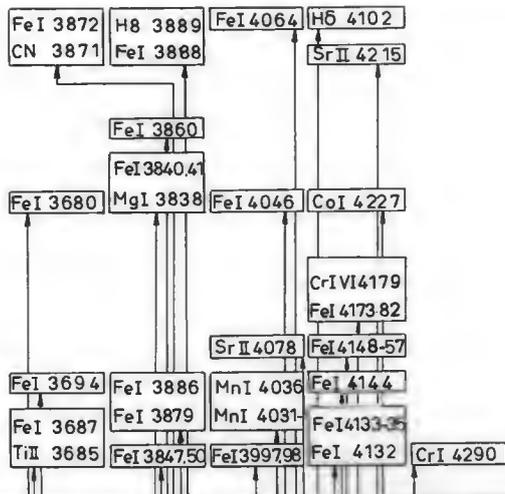
Hδ 4102 / SrII 4078	> 1 in IV and V	= 1 in III	< 1 in Ib and II
FeI 4046 / MnI 4031-36	> 1 in V	= 1 in IV-III	< 1 in Ib
FeI 4005 / FeI 3997,98	> 1 in V-III	= 1 in II	< 1 in Ib
- TiII; FeI 3687 / FeI 3680 > 1 in III-Ib; = 1 in IV and V; MgI 5167 - 84 / λ 5006 - 18 > 1 in V; = 1 in IV and III; < 1 in II-I
- Most important regions for luminosity classification: CaII 3968 - Hγ; λ 3816 - Hγ

features showing maximum or minima of intermediate types

classification lines

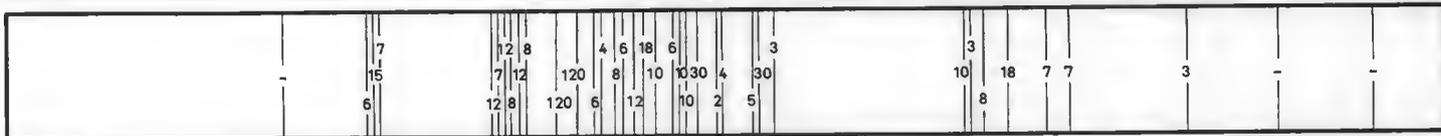
stronger in lower luminosity classes

stronger in higher luminosity classes



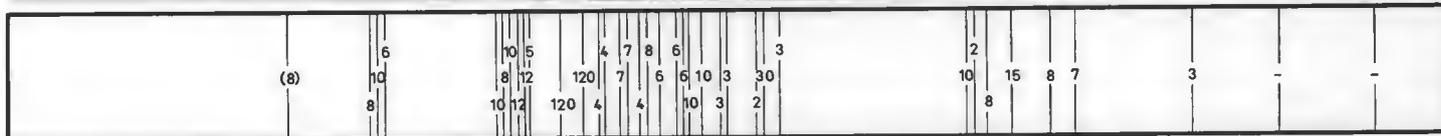
$\epsilon$  Gem

G8 Ib



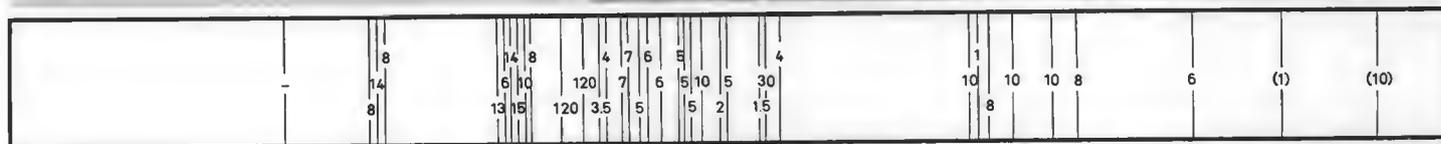
$\zeta$  Cyg

G8 II



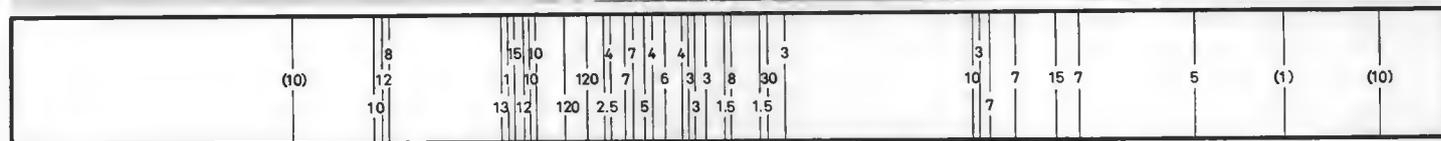
$\beta$  Her

G8 III



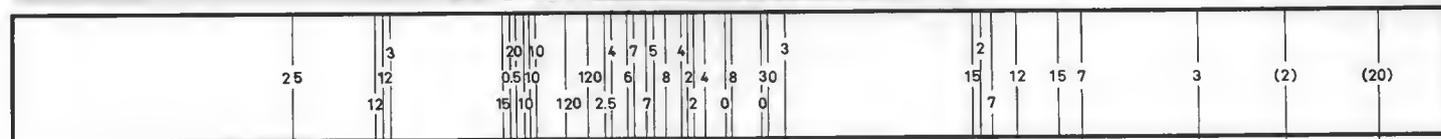
$\beta$  Aql

G8 IV



61 UMa

G8 V



FeI 3581

CoII 3934

G-Bond

H $\beta$  4861

CoI 5262-70

NoI 5890

H $\alpha$  6563

A-bond

reference lines

CoII 3968

H $\gamma$  4340

FeI 4891

FeI 5263-70

NoI 5896

o/m. O<sub>2</sub>

FeI 4005

7594-

7684

- H $\delta$  slightly stronger in Ib and V than in intermediate types.
- Structural differences: blend of  $\lambda$  4175 degenerates into line going from highest to lowest luminosity classes.
- CN break at  $\lambda$  4215 pronounced in Ib; present in II and III, absent in IV and V.
- $\lambda$  3816 -  $\lambda$  3889: absorption intensities of comparable strength in III - Ib, marked intensity break near  $\lambda$  3840 in V and IV
- Important line ratios:
 

H $\delta$ 4102 / SrII 4078	> 1 in V and IV	; = 1 in III	; < 1 in II and Ib
MgI 5167-84 / $\lambda$ 5006-15	> 1 in V and IV	; = 1 in III	; < 1 in II and Ib
FeI 4046 / MnI 4031-36	> 1 in V	; = 1 in IV - III	; < 1 in Ib
FeI 4005 / FeI 3997, 98	> 1 in V - III	; = 1 in II	; < 1 in Ib
FeI 3867 / FeI 3860	> 1 in IV - Ib	; = 1 in V	

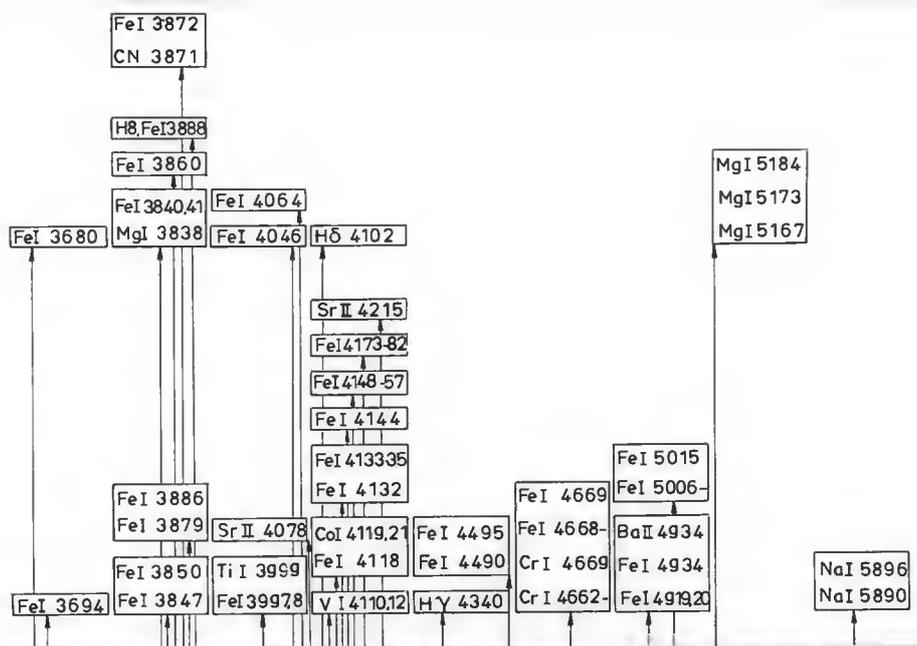
Most important regions for luminosity classification: CoII 3968 -  $\lambda$  4227;  $\lambda$  3816 - 49; H $\beta$  -  $\lambda$  5200

features showing maxima or minima at intermediate types

classification

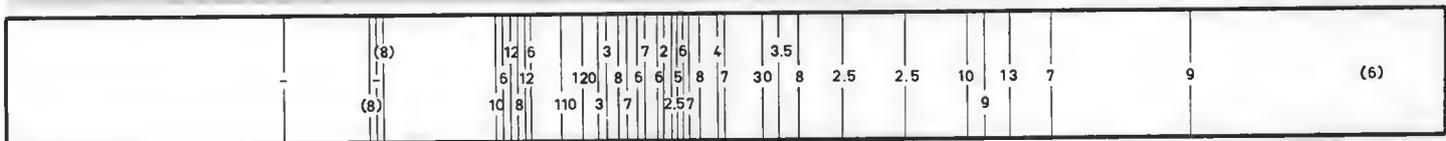
stronger in lower luminosity classes

stronger in higher luminosity classes



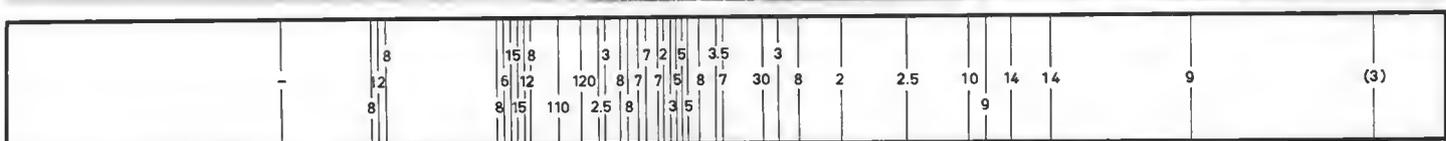
θ Lyr

K0 II



κ Cyg

K0 III



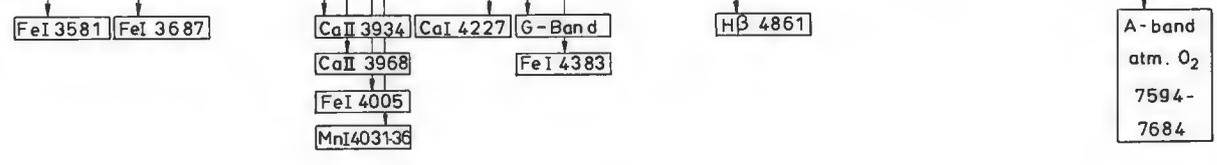
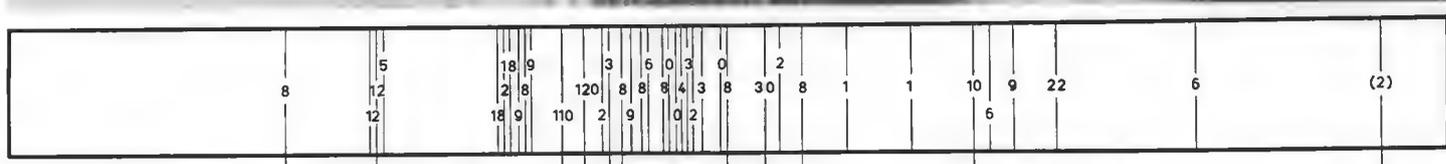
η Cep

K0 IV



σ Dra

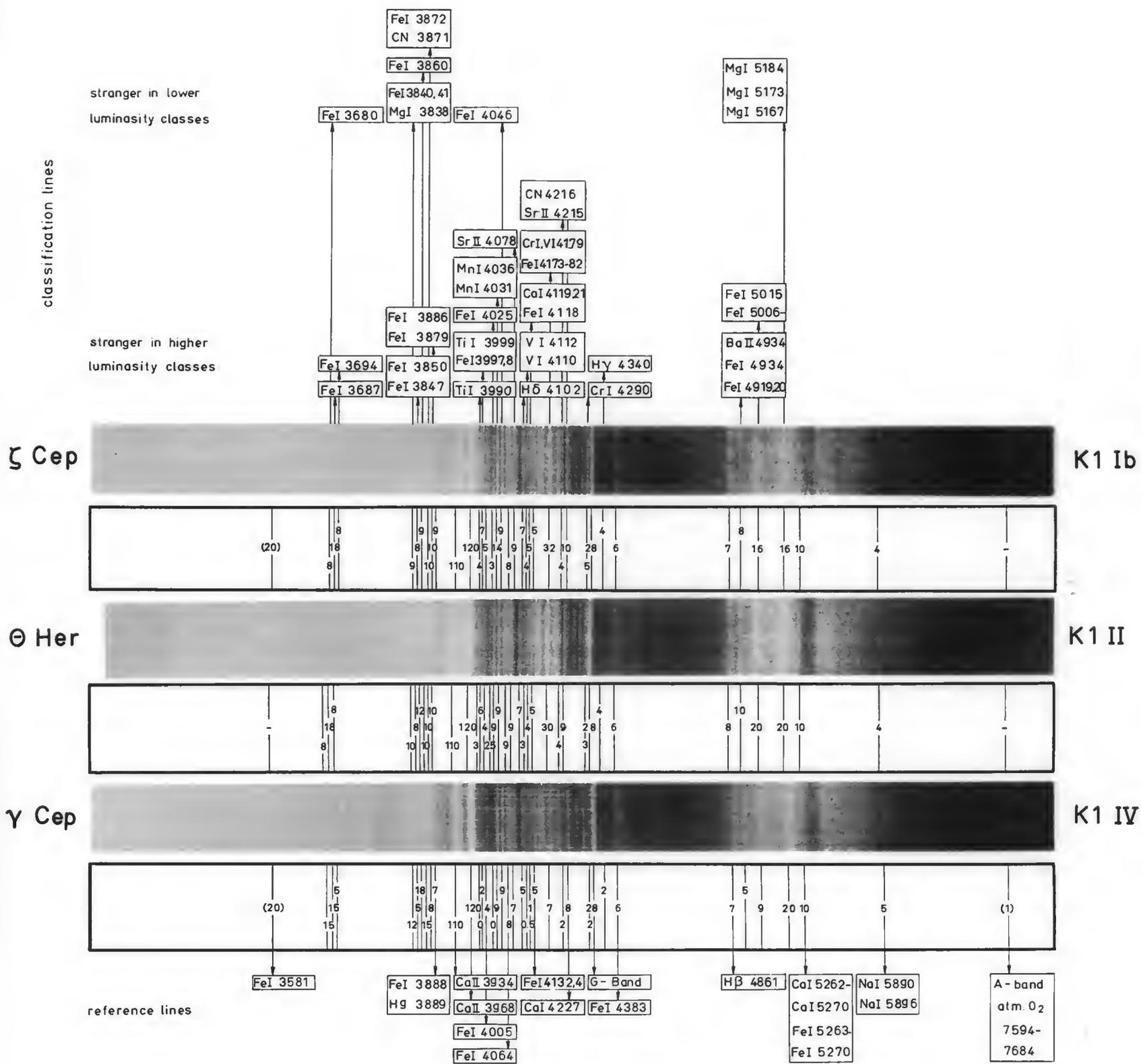
K0 V



reference lines

- Hδ slightly stronger in lower luminosity classes ; Hγ increasingly stronger in higher luminosity classes.
- Structural differences: blend at λ 4175 degenerates into line going from highest to lowest luminosity classes
- CN break at λ 4216 clearly present in II and III, marginal in IV, absent in V.
- λ 3816 - λ 3889: absorption intensities of comparable strength in II and III; marked intensity break near λ 3840 in V (and IV)
- Important line ratios: Hδ 4102 / Sr II 4078 > 1 in V and IV ; = 1 in III ; < 1 in II.  
 MgI 5167-84 / FeI 5006-15 > 1 in V and IV ; = 1 in III ; < 1 in II CaII 4227 / FeI 4148-52 > 1 in V-III ; = 1 in II ;  
 FeI 4046 / MnI 4031-36 > 1 in V ; = 1 in IV and III ; < 1 in II FeI 4005 / FeI 3997,98, TiI > 1 in V-III ; = 1 in II ;  
 CN 3871, FeI / FeI 3860 > 1 in II ; = 1 in IV and III ; < 1 in V FeI 3867 / FeI 3860 > 1 in III and II ; = 1 in V and IV

Most important regions for luminosity classification: CaII 3968 - CaI 4227 ; λ 3816 - Hγ ; Hβ - λ 5200



1. Hγ and Hδ stranger in high luminosity classes.
2. CN break at λ 4216 strang in Ib and II, marginal in IV.
3. λ 3816 - λ 3889 absorption intensities of comparable strength in II and Ib, slight intensity break near λ 3840 in IV

4. Important line ratios :

MgI 5167-84 / FeI 5006-15	> 1 in IV	; = 1 in II and Ib ;
G-Band / FeI 4173-82, Cr, VI	> 1 in IV	; (= 1 in III) ; < 1 in II and Ib
SrII 4215 / VI 4110, 12	> 1 in IV - II	; = 1 in Ib
FeI 4132,4 / FeI 4118, CoI	> 1 in IV - II	; = 1 in Ib
FeI 4046 / MnI 4031 - 36		= 1 in IV - II ; < 1 in Ib.
FeI 4005 / FeI 3997,8, TiI 3999	> 1 in IV	; (= 1 in III) ; < 1 in II and Ib
FeI 3687 / FeI 3680	> 1 in II and Ib	; = 1 in IV ;

Most important regions for luminosity classification : CaII 3968 - Hγ ; λ 3816 - Hγ ; Hβ - 5200

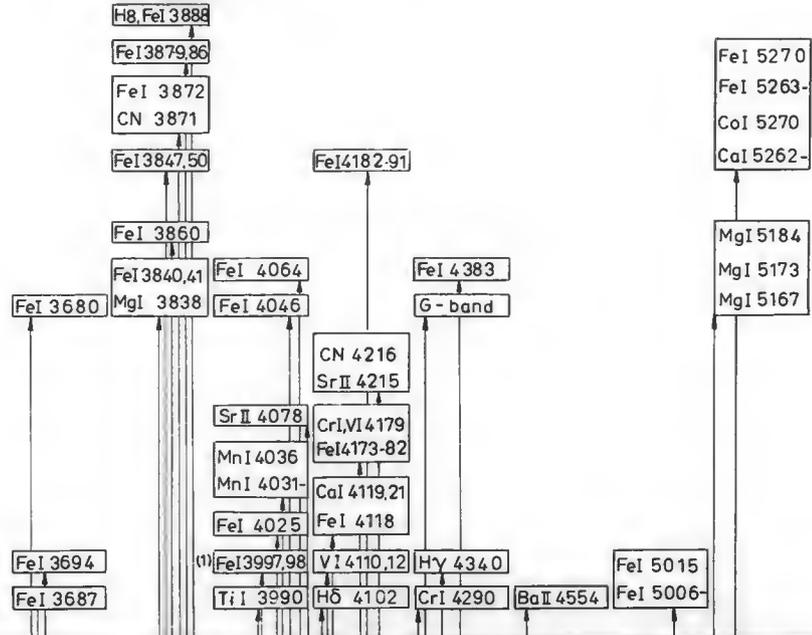
(1) TiI 3999

classification lines

features showing maxima or minima at intermediate types

stranger in lower luminosity classes

stranger in higher luminosity classes



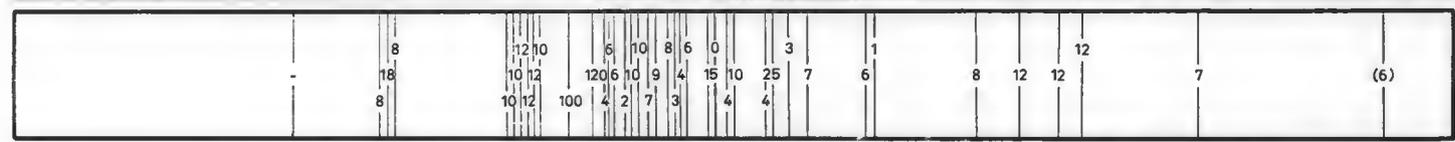
ε Peg

K2 Ib



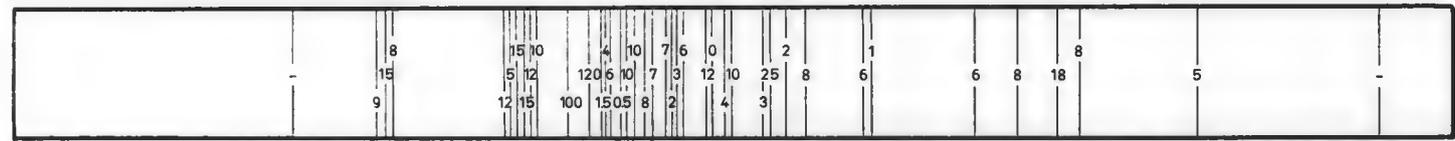
56 Ori

K2 II



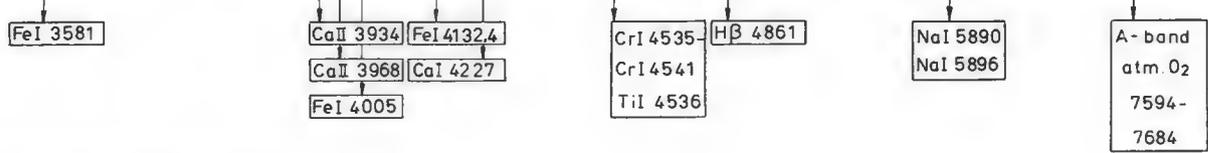
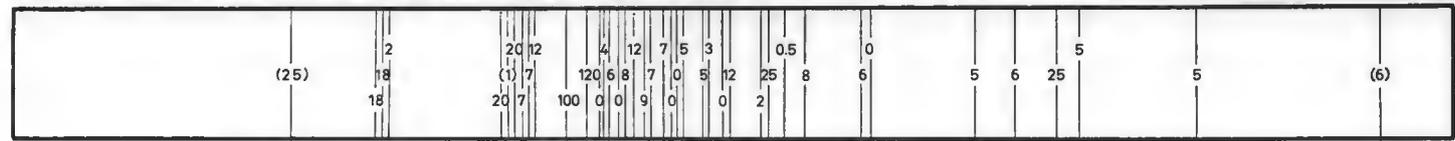
ι Dra

K2 III



ε Eri

K2 V

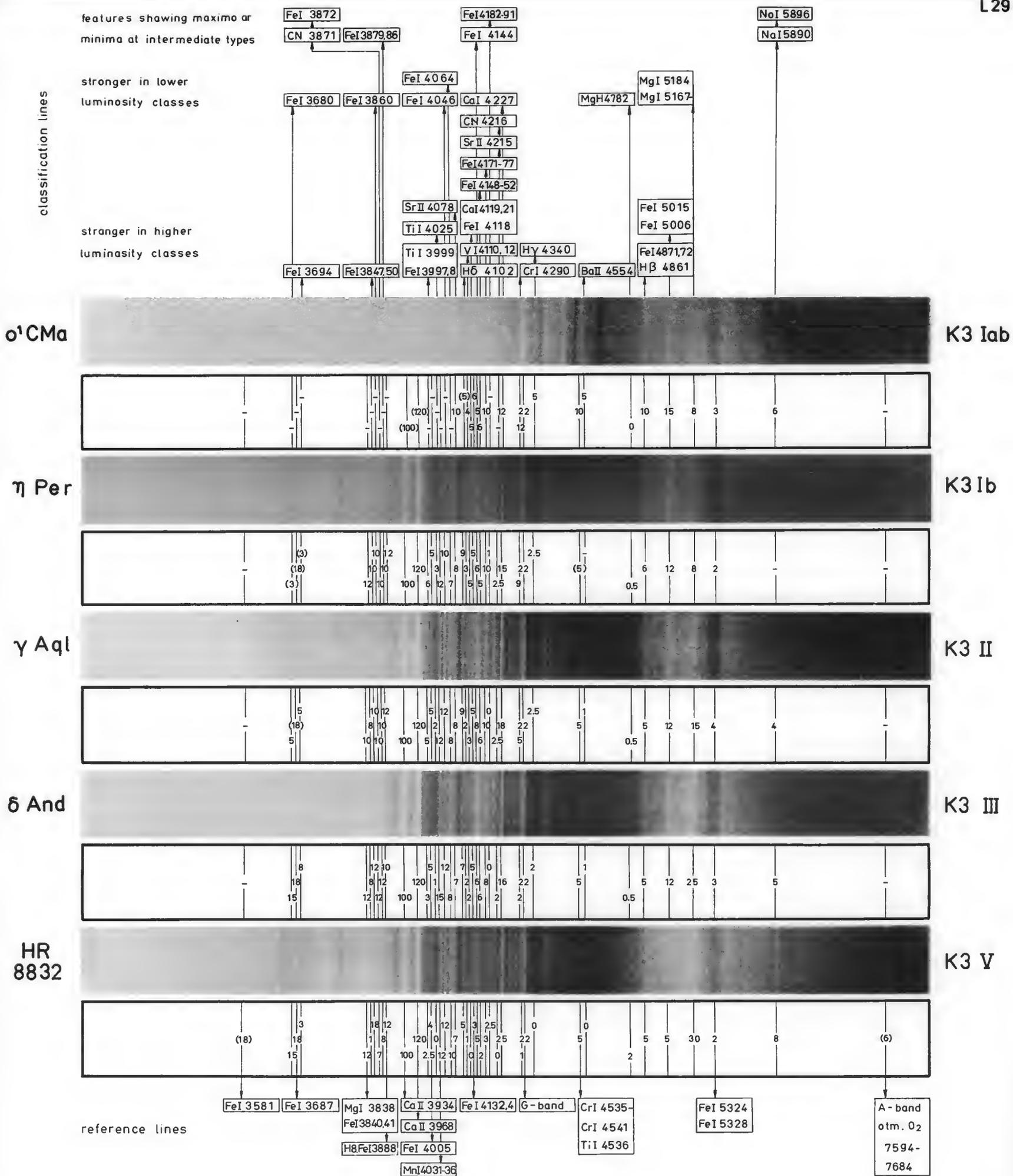


reference lines

- 1 Hγ and Hδ stranger in high luminosity classes.
2. Structural differences: blend near λ4175 degenerates into line in class V, has strong violet border in Ib.
3. CN break at λ 4216 present in III, II and Ib; absent in V
- 4 λ 3816 - λ 3889: absorption intensities of comparable strength in III - Ib, marked intensity break near λ 3840 in V
5. Important line ratios:
 

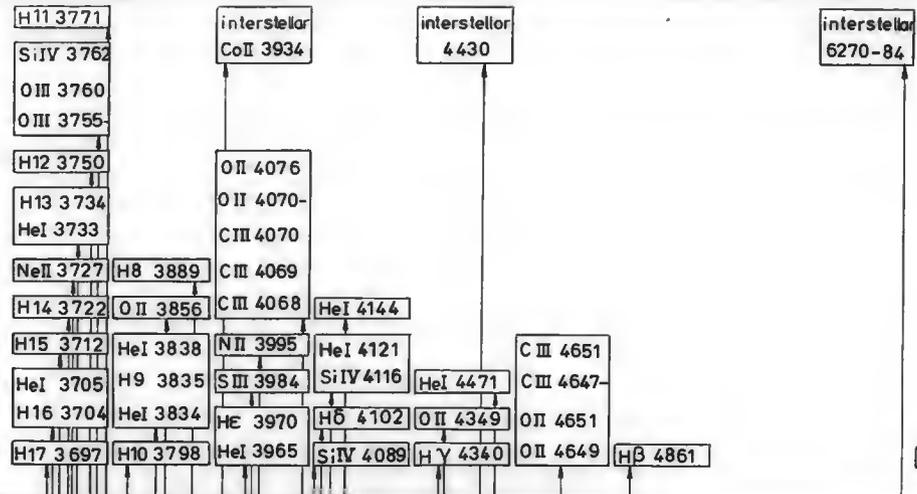
MgI 5167-84 / FeI 5006-15	> 1 in V - III ; = 1 in II and Ib ;
Hγ 4340 / SrII 4215	> 1 in V ; = 1 in Ib ; < 1 in II and III
CrI 4290 / SrII 4215	> 1 in Ib and V; = 1 in II ; < 1 in III
Sr II 4215 / V I 4110,12, FeI	> 1 in II and III; = 1 in Ib and V ;
FeI 4046 / MnI 4031-36	> 1 in V ; = 1 in II and III ; < 1 in Ib
FeI 4005 / FeI 3997, 98, TiI 3999	> 1 in V - III ; = 1 in II ; < 1 in Ib
FeI 3687 / FeI 3680	> 1 in III - Ib ; = 1 in V

Most important regions for luminosity classification : Ca II 3968 - Hγ ; Hβ - λ 5200 ; λ 3816 - H9.



1. Hγ (and probably Hδ) stronger in higher luminosity classes.
  2. Structural differences: blend at λ 4175 degenerates into line in class V, has strong violet border in class I.
  3. CN break at λ 4216 present in Iab and Ib, pronounced in II and III, absent in V.
  4. Absorption intensities of comparable strength in the wavelength interval λ 3816 - λ 3889 in classes III - I, intensity break near λ 3840 in V
  5. Important line ratios:
 

MgI 5167-84 / FeI 5006-15	> 1 in V-II ; = 1 between II and Ib ; < 1 in V
G-band / CaI 4227	> 1 in III - I ; = 1 in IV ; < 1 in V
SrII 4078 / FeI 4064	> 1 in I ; = 1 in II ; < 1 in V-III
CrI 4290 / FeI 4132	> 1 in I ; = 1 in II ; < 1 in V-III
FeI 4005 / FeI 3997,8, TiI 3999	> 1 in V-III ; = 1 in II ; < 1 in I
- Most important regions for luminosity classification : Ca II 3968 - Hγ ; Hβ - λ 5200



classification lines

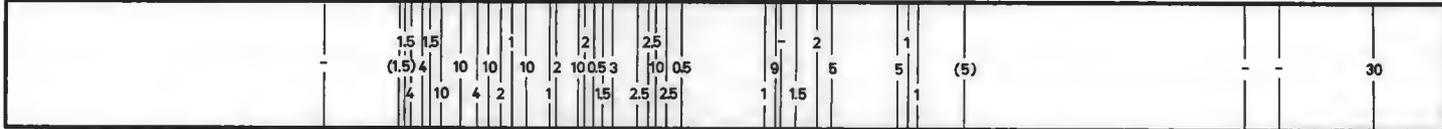
ε Ori

B0 Ia



69 Cyg

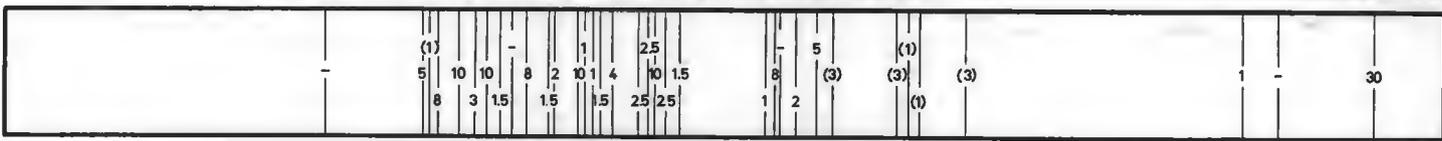
B0 Ib



HD 43818

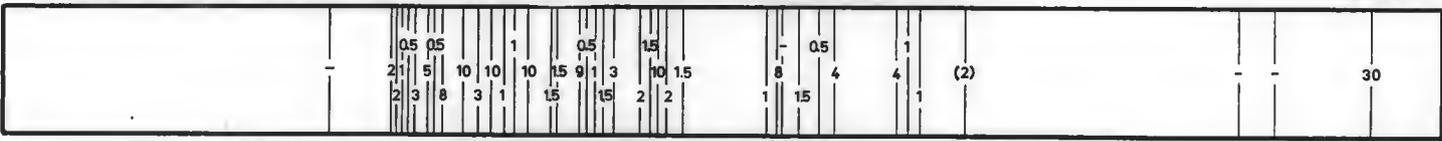
NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED

B0 II



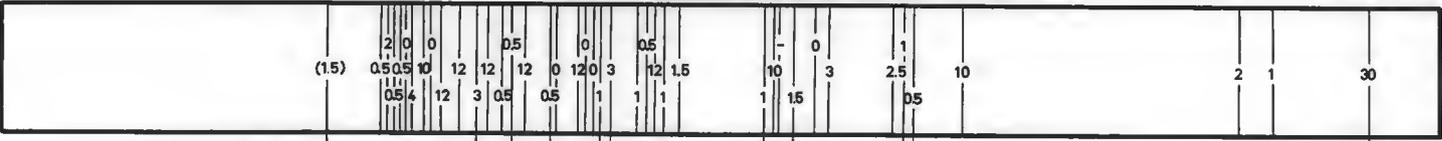
HR 2479

B0 III

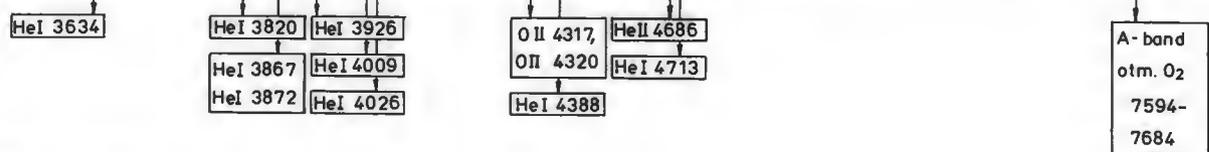


υ Ori

B0 V

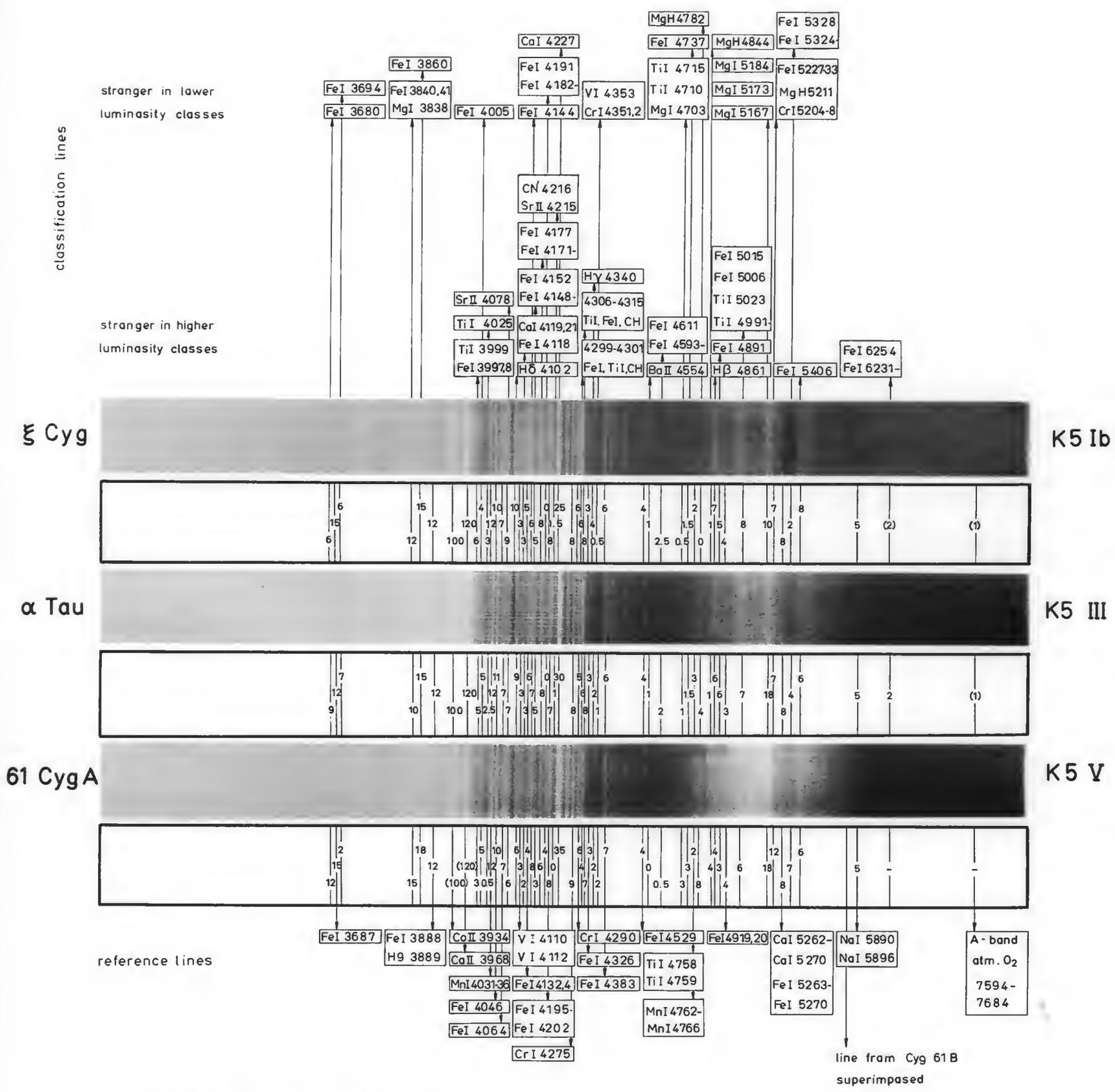


reference lines



1. H-lines markedly shorter in highest luminosity class.
2. Foster decrease of H-line strengths with higher series members in lower luminosity classes.
3. Increased strength of H16 through blend with HeI 3705 and H13 through blend with HeI 3733 most pronounced in luminosity class V
4. Increasingly stronger in higher luminosity classes: blend C III 4068, 4069, 4070, O II 4070, 4070, 4072, 4076; blend C III 4647, 4650, 4651, O II 4649, 4651; N II 3995; (O II 3856), blend O III 3755, 3757, 3760, Si IV 3762, Si IV 4089; blend Si IV 4116, He I 4121; S III 3984.
5. Better detectable in luminosity class I - not covered by H-line wings and/or stronger: O II 4349, Ne II 3727
6. Slightly stronger in lower luminosity classes: He I 4144

Most important regions for luminosity classification: both sides of H6, H11 - H17



- H-lines stronger in higher luminosity classes
- CN break at  $\lambda$  4215 possibly present in Ib, absent in III and V.
- Absorption intensities in wavelength interval  $\lambda$  4102 -  $\lambda$  4159 of comparable strength in I; intensity differences increasingly more pronounced in lower luminosity classes.
- Important line ratios:
 

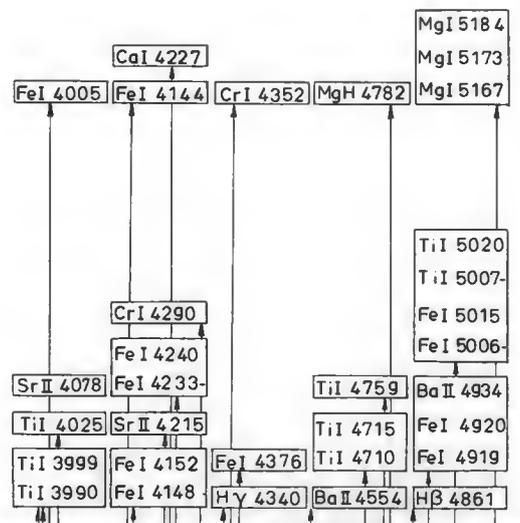
CrI 4352 / H $\gamma$ 4340	< 1 in III - I ; = 1 in V ;	FeI 5406 / CaI, FeI 5262-70 < 1 in Y - III ; = 1 in Ib ;
TiI, FeI, CH 4306-15 / Cr 4275	< 1 in V ; = 1 in III - I ;	H $\gamma$ 4340 / FeI 4326 < 1 in Y - III ; (= 1 in II) ; > 1 in Ib
FeI 4118, CaI 4119, 21 / V I 4110, 12	< 1 in V ; = 1 in III - I ;	FeI 4195 - 02 / FeI 4144 = 1 in Y - III ; > 1 in Ib
H $\delta$ 4102 / FeI 4046	< 1 in Y - III ; = 1 in Ib ;	H $\delta$ 4102 / SrII 4078 = 1 in V ; > 1 in III - I
FeI 4005 / FeI 3997, 8, TiI 3999	< 1 in Ib ; = 1 in III ; > 1 in V	SrII 4078 / FeI 4064 < 1 in Y ; = 1 in III ; > 1 in Ib

Most important regions for luminosity classification: H $\epsilon$  -  $\lambda$  4383 ; H $\beta$  -  $\lambda$  5410

classification lines

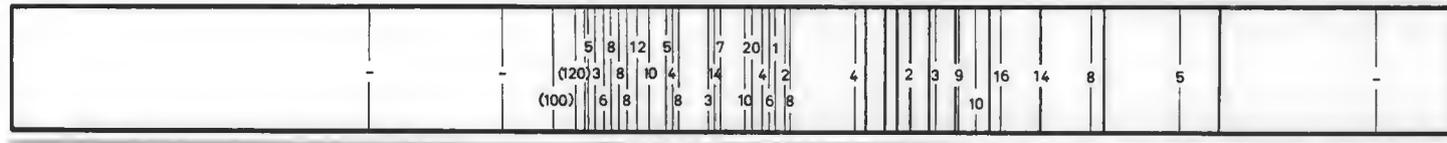
stranger in lower  
luminosity classes

stranger in higher  
luminosity classes



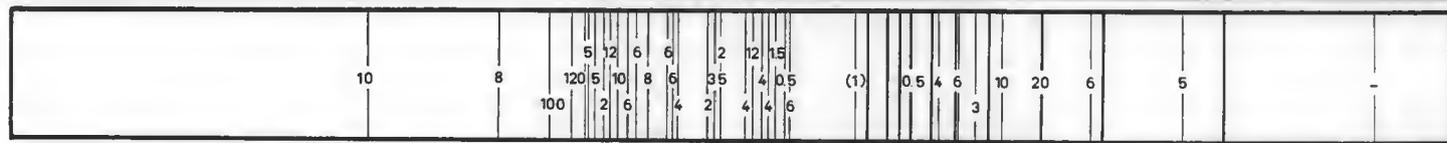
ψ<sup>1</sup> Aur

M0 Iab



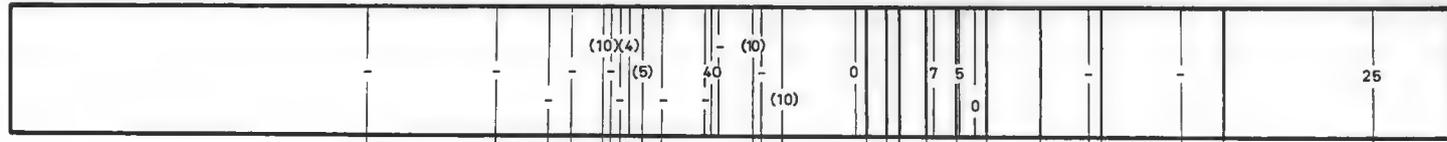
β And

M0 III

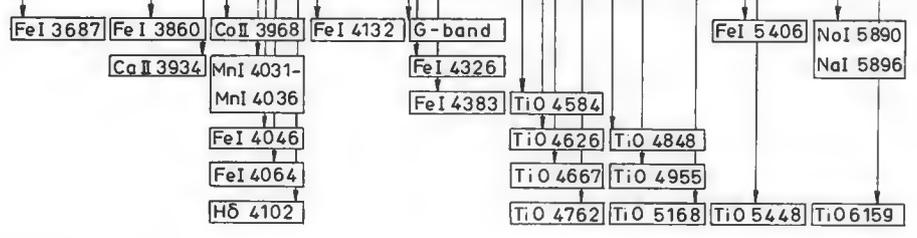


HD  
147379

M0 V



reference lines



- H - lines stranger in higher luminosity classes.
- Intensity break at  $\lambda 4762$  more pronounced in lower luminosity classes.
- Absorption intensities in wavelength interval  $\lambda 4102 - \lambda 4159$  of comparable strength in I. intensity differences pronounced in lower luminosity classes.
- Important line ratios:
 

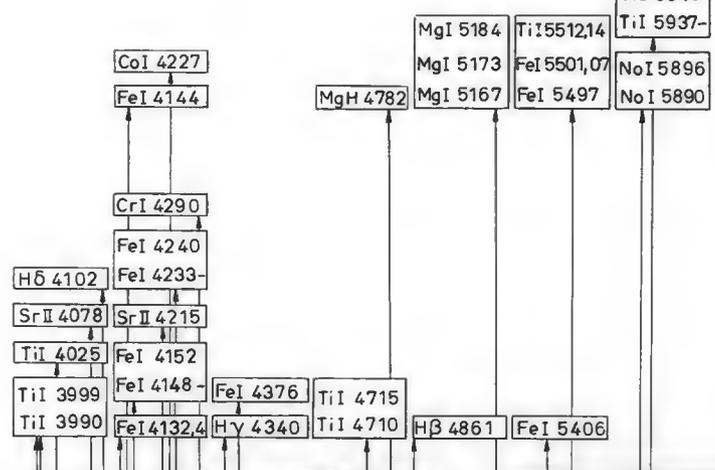
H $\gamma$ 4340 / FeI 4326	= 1 in III	; > 1 in Iab
FeI 4153-59 / FeI 4132	< 1 in III	; (= 1 in II) ; > 1 in Iab
H $\delta$ 4102 / Sr II 4078	< 1 in Iab	; (= 1 in II) ; > 1 in III
Sr II 4078 / Fe I 4064	= 1 in III	; > 1 in Iob
FeI 4005 / Ti I 3999	< 1 in Iab	; = 1 in III ;

Most important regions for luminosity classification: H $\epsilon$  -  $\lambda 4383$

classification lines

stronger in lower  
luminosity classes

stronger in higher  
luminosity classes



μ Cep

M2 Ia



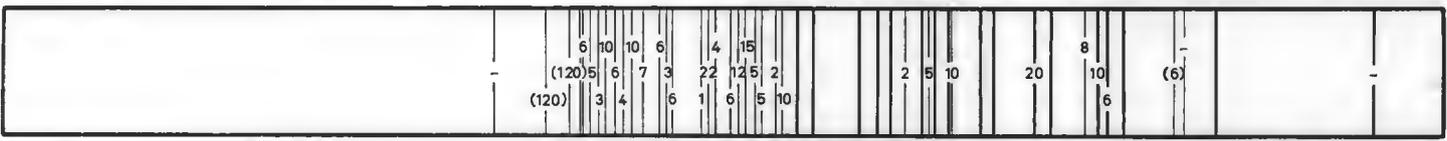
α Ori

M2Iab



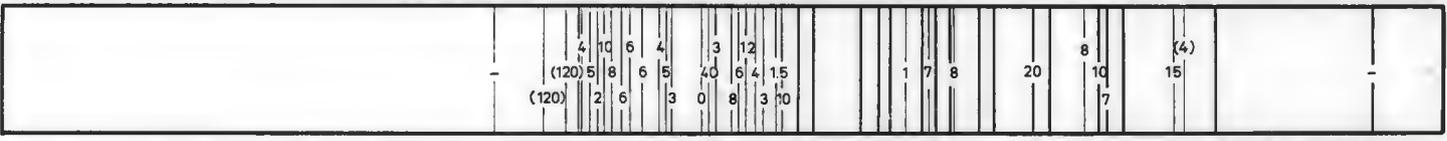
119 Tau

M2 Ib



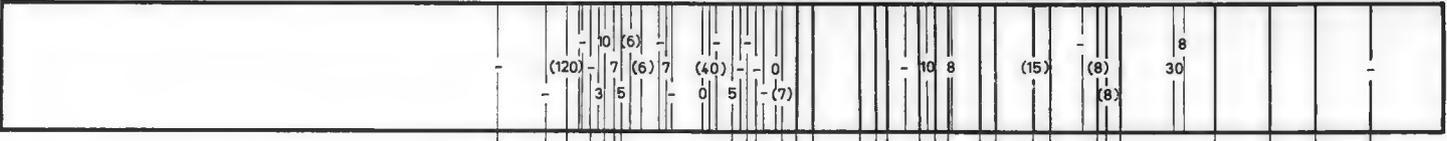
83 UMa

M2 III

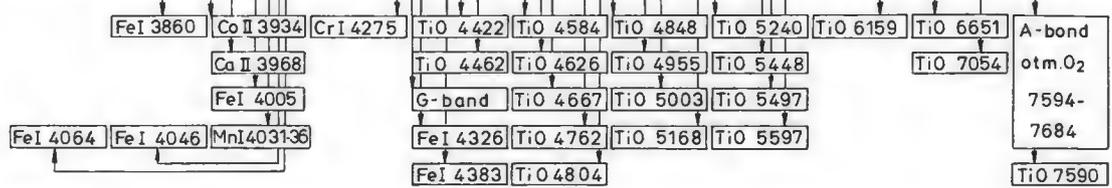


HD  
95735

M2 V



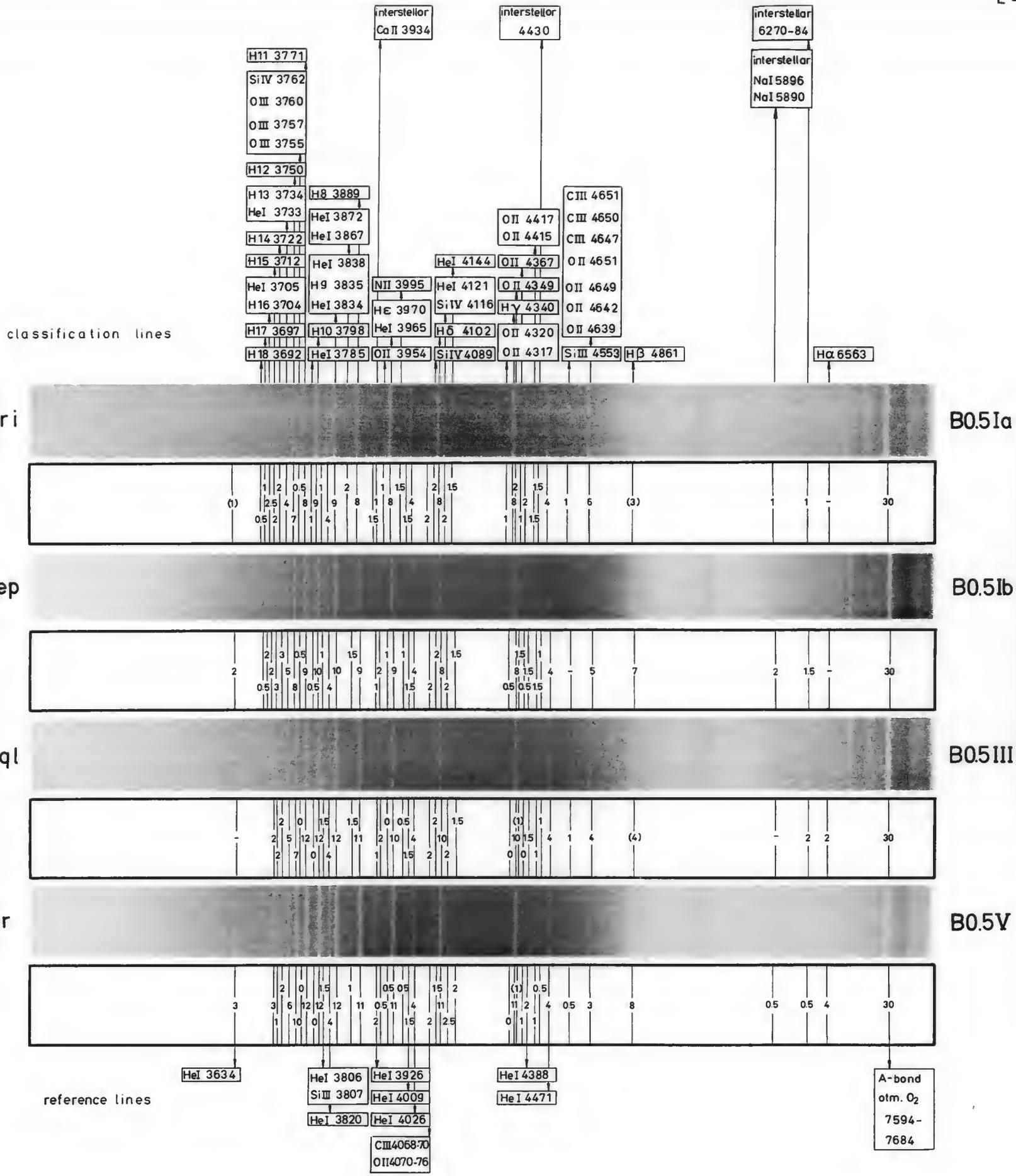
reference lines



- H- lines stronger in higher luminosity classes.
- Intensity break at  $\lambda$  4762 increasingly more pronounced in lower luminosity classes.
- Important line ratios :
 

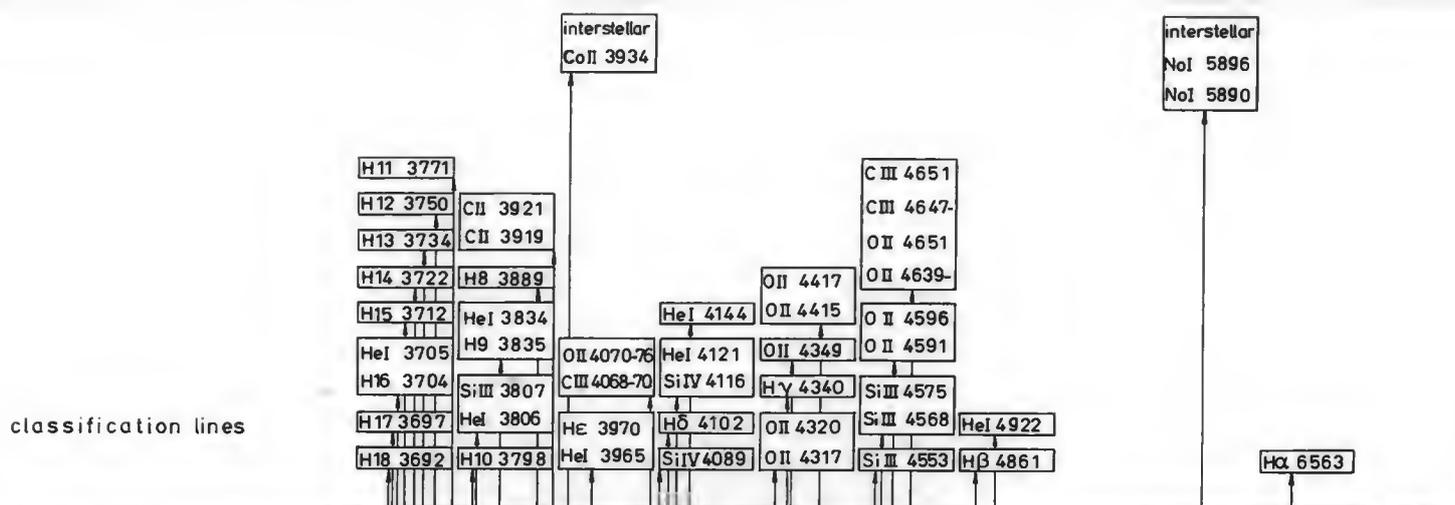
	FeI 5497-5507 / FeI 5406	< 1 in III-Io ; (= 1 in IV?) ;	
TiO 5448 / FeI 5406	< 1 in Ia ; > 1 in V-Iob	FeI 4376 / FeI 4326	< 1 in V-Iob; = 1 in Ia ;
H $\gamma$ 4340 / FeI 4326	< 1 in V-III; = 1 in Ib ; > 1 in Iob, Io	FeI 4132,4 / H $\delta$ 4102	< 1 in V-Ib; = 1 in Iob ; (> 1 in Io?)
H $\delta$ 4102 / SrII 4078	< 1 in Ib-Ia; = 1 in V-III	FeI 4005 / Ti I 3999	< 1 in Ib-Io ; (= 1 in II) ; > 1 in V-III

Most important regions for luminosity classification: H $\epsilon$  -  $\lambda$  4383,  $\lambda$  5406 -  $\lambda$  5514



1. H-lines slightly shorter (weaker, when broadened) in higher luminosity classes.
2. Foster decrease of H-line strengths with higher series members (markedly on the violet side at H16) in lower luminosity classes.
3. Slightly increased strength of H16 through HeI 3705 (and to a lesser degree of H13 through HeI 3733) most pronounced in lower luminosity classes.
4. Increasingly stronger in higher luminosity classes: HeI 3785; HeI 3767, 3772, blend C III 4647, 4650, 4651, OII 4639, 4642, 4649, 4651; NII 3995; (OII 3954); OII 4317, 4320; OII 4349; (OII 4367); O II 4415, 4417; blend O III 3755, 3757, 3760; SiIV 3762.
5. Stronger in luminosity class V: (blend HeI 4121, SiIV 4116); HeI 4144.

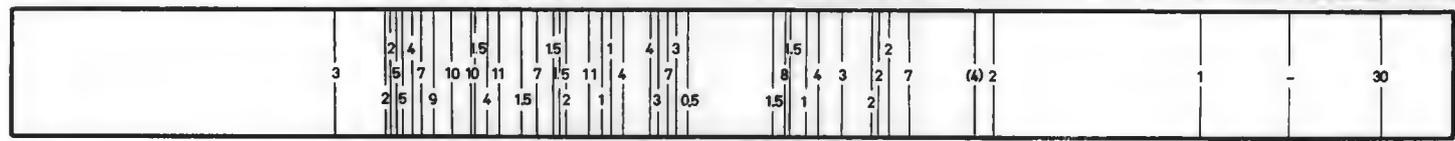
Ratio HeI 4471/CIII, OII 4650: > 1 in supergiants; = 1 in giants; < 1 in dwarfs  
 Most important regions for luminosity classification: both sides of Hδ, H11 - H18, both sides of Hγ.



classification lines

α Cas

B1 Ia



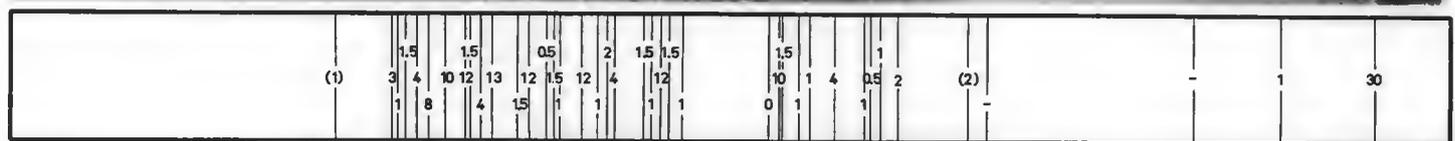
ζ Per

B1 Ib



HD 199216

B1 II



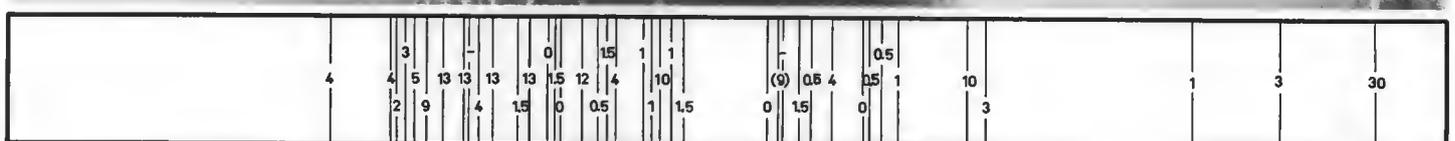
ο Per

B1 III

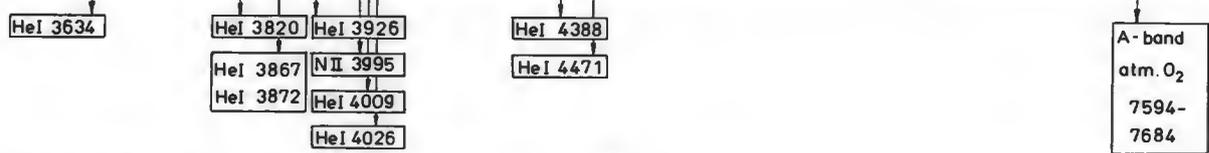


HR 1191

B1 V



reference lines

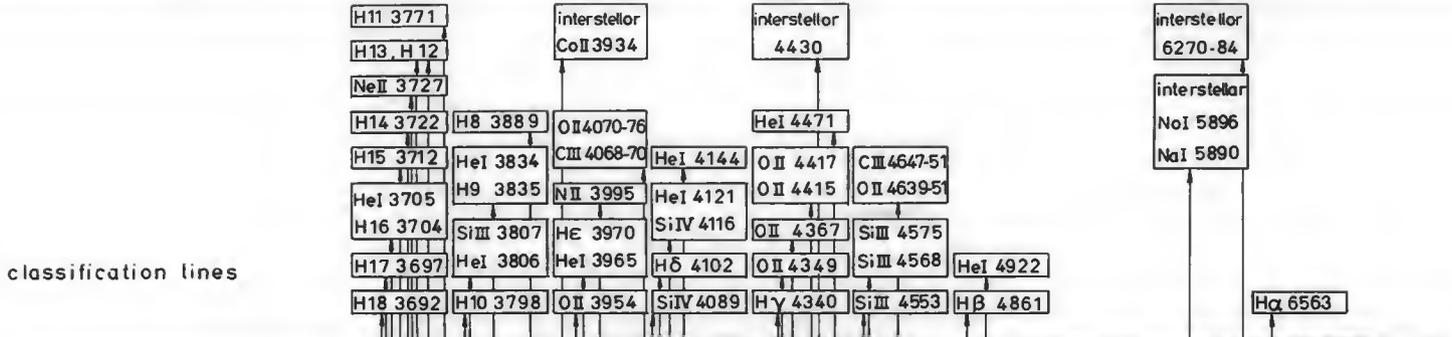


1. H-lines slightly shorter (weaker, when broadened) in higher luminosity classes.
2. Abrupt decline of H-line strengths on the violet side of H16 - which is markedly strengthened through HeI 3705 - in lower luminosity classes
3. (Increasingly) stronger in higher luminosity classes: HeI 4121 (→ SiIV 4116); blend CIII 4068 - 70, OII 4070 - 76; blend CIII 4647 - 51, OII 4639 - 51  
OII 4317, 4320; OII 4415, 4417; OII 4591, 4596; SiIII 4553; SiIII 4568, 4575; SiIV 4089 (only in Ia)
4. Better detectable in higher luminosity classes (not covered by H-line wings and/or stronger): blend HeI 3806, SiIII 3807; OII 4349
5. Stronger in low luminosity classes: H16 + HeI 3705; HeI 4144; (HeI 4922)

Ratio HeI 4471 / CIII, OII 4650: > 1 in class Ia; ≈ 1 in class Ib; < 1 in lower luminosity classes

α Cas: Hα - emission

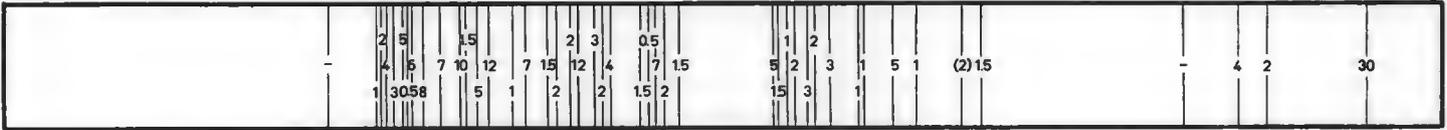
Most important regions for luminosity classification: both sides of Hδ; λ 4550 - λ 4650; H11 - H18; both sides of Hγ



classification lines

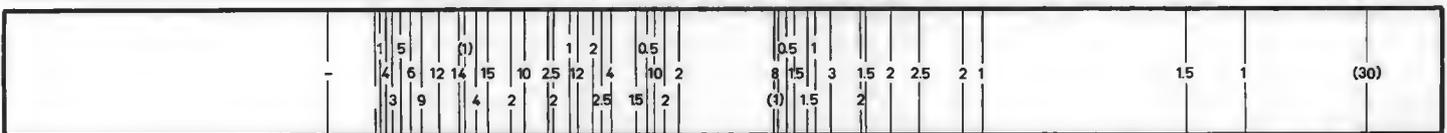
$\chi^2$  Ori

B2 Ia



9 Cep

B2 Ib



$\epsilon$  CMa

B2 II



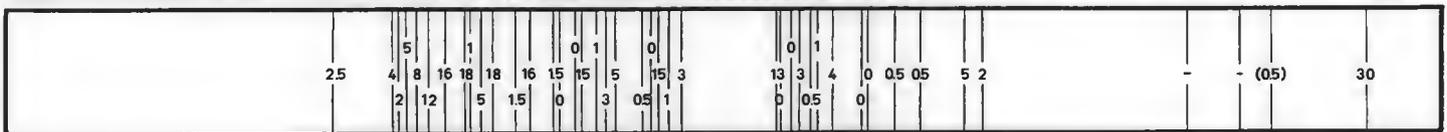
12 Lac

B2 III



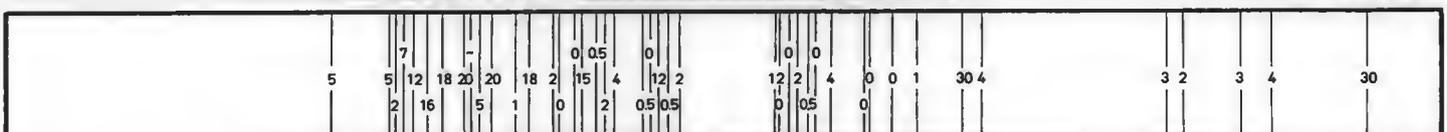
$\gamma$  Peg

B2 IV

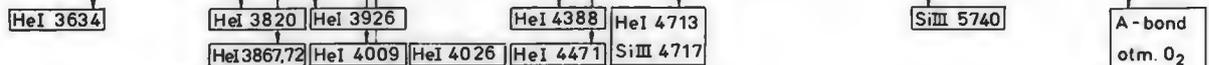


$\zeta$  Cas

B2 V

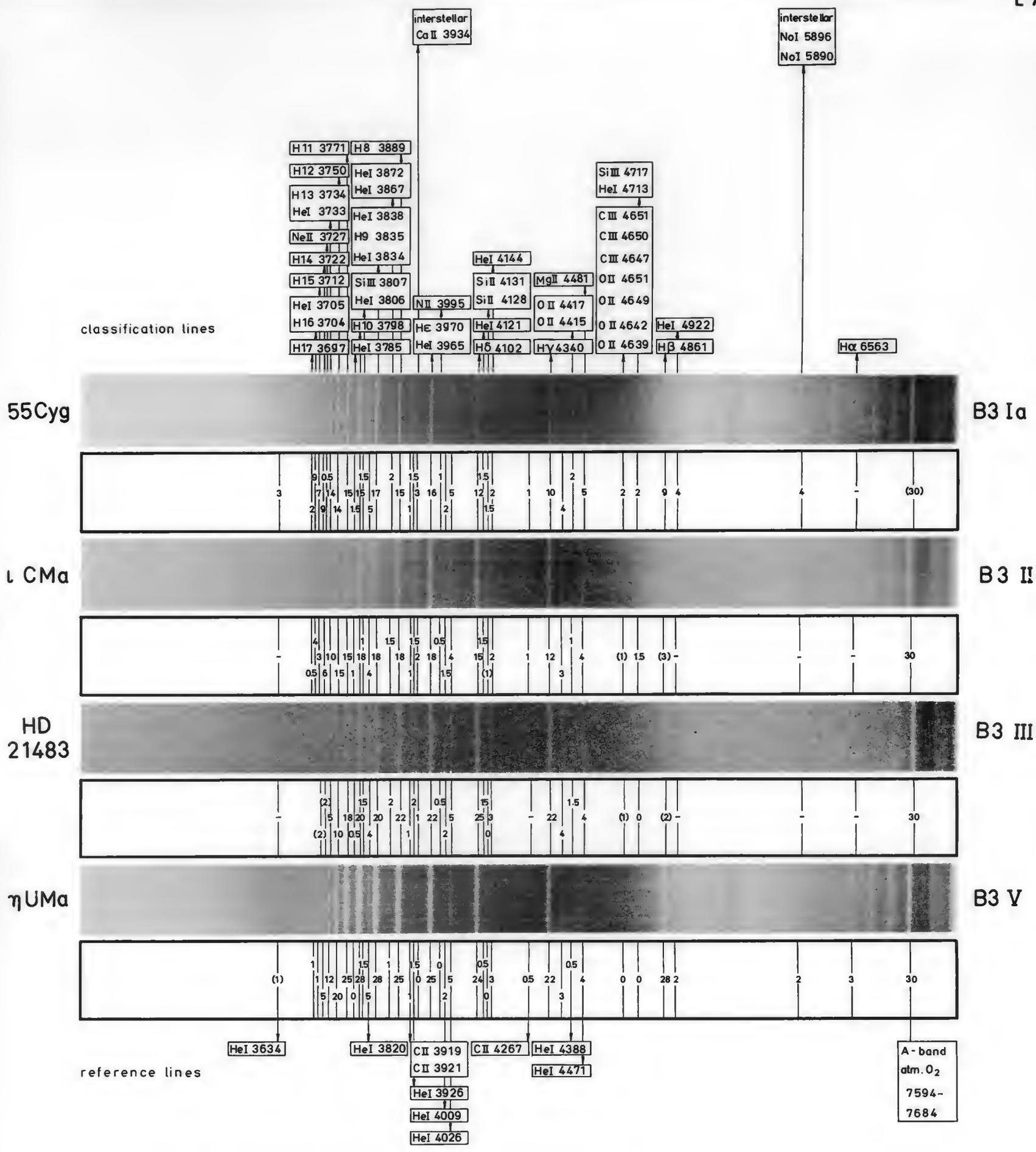


reference lines



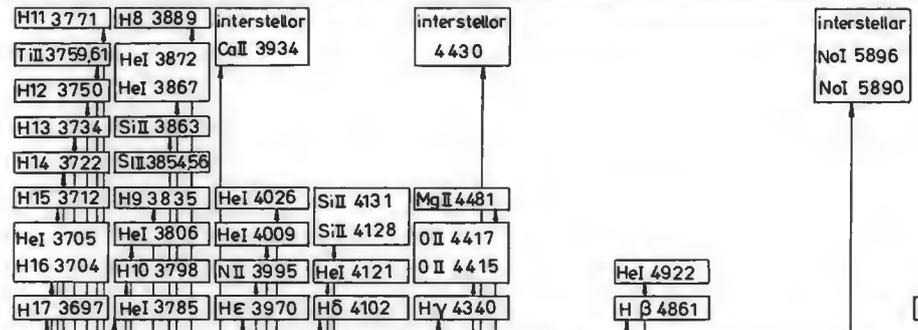
1. H-lines quite sharp in highest luminosity class.
2. Abrupt decline of H-line strengths on the violet side of H16 (markedly strengthened through HeI 3705) in lower luminosity classes.
3. (Increasingly) stronger in higher luminosity classes : blend HeI 4121, SiIV 4116; blend C III 4068, 4069, 4070, OII 4070, 4070, 4072, 4076; blend C III 4647, 4650, 4651, OII 4639-4651, NII 3995 (in Ia stronger than HeI 4009), OII 3954; OII 4367; OII 4415, 4417; Si III 4553; Si III 4568, 4575; (Si IV 4089).
4. Better detectable in luminosity class I (not covered by H-line wings and/or stronger): blend HeI 3806, Si III 3807; OII 4349; Ne II 3727
5. Increasingly stronger in lower luminosity classes: H16 + HeI 3705; HeI 4144; HeI 4922.

Most important regions for luminosity classification: both sides of Hδ; HE - HeI 4026; H11 - H18; both sides of Hγ  $\chi^2$  Ori : Hα - emission ?



1. H-lines very sharp - H $\alpha$  hardly detectable in luminosity class Ia.
2. Higher series members of hydrogen decrease faster in lower luminosity classes.
3. (Increasingly) stronger in higher luminosity classes: H 16 + HeI 3705; HeI 3785; HeI 3867, 3872; HeI 4121; HeI 4713 (+Si III 4717?)(HeI 4922); NII 3995; OII 4415, 4417; blend OII 4639, 4642, 4649, 4651, CIII 4647, 4650, 4651; SiII 4128, 4131;
4. Better detectable in luminosity class I (not covered by H-(He-) line wings and/or stronger): blend HeI 3806; Si III 3807; Ne II 3727; MgII 4481
5. Increasingly stronger in lower luminosity classes: HeI 4144.

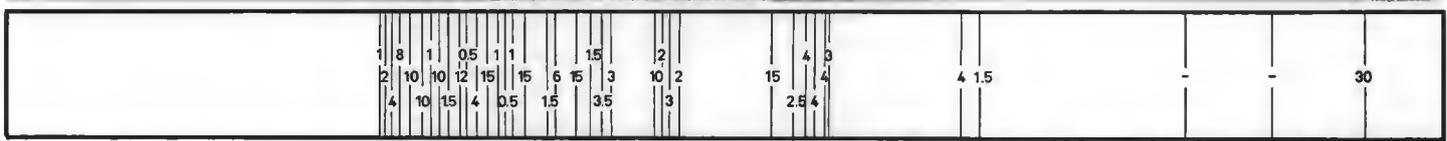
Most important regions for luminosity classification: red side of H $\delta$ ; H $\epsilon$  - HeI 4026; H13 - H18;  $\lambda$ 4630 -  $\lambda$ 4720



classification lines

5 Per

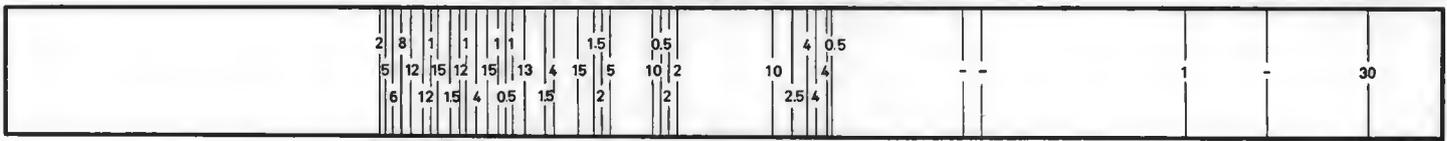
B5 Ia



χ Aur

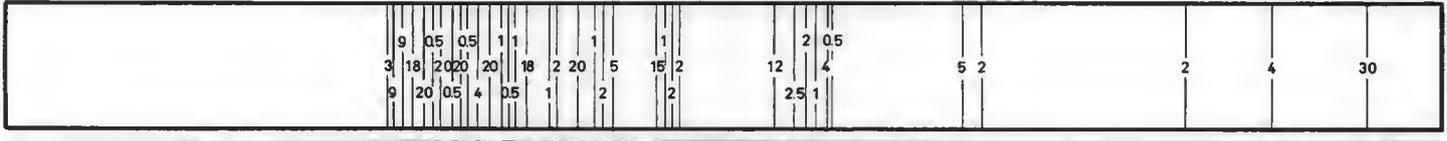
B5Iab

NEIGHBOURING STAR SUPERIMPOSED



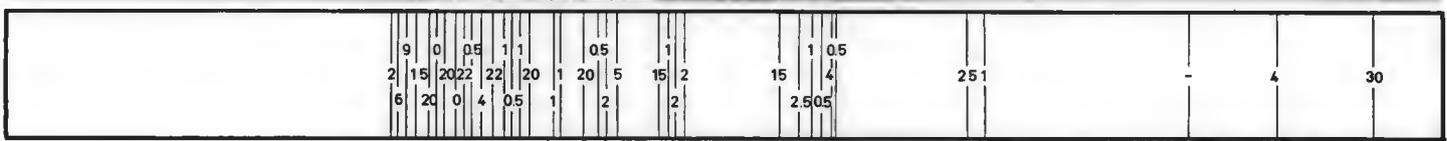
67 Oph

B5 Ib



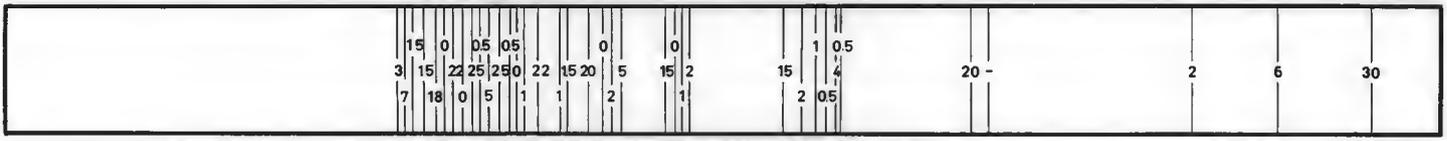
δ Per

B5 III



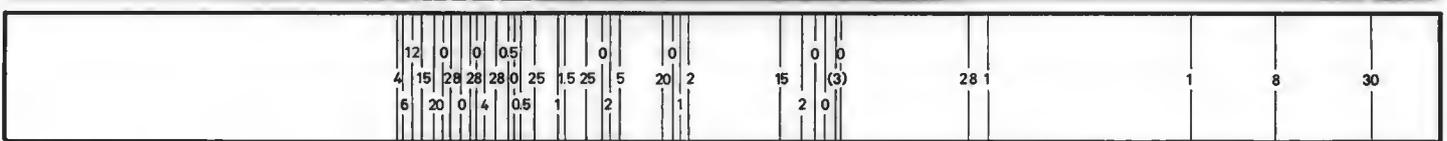
τ Her

B5 IV



λ Cyg

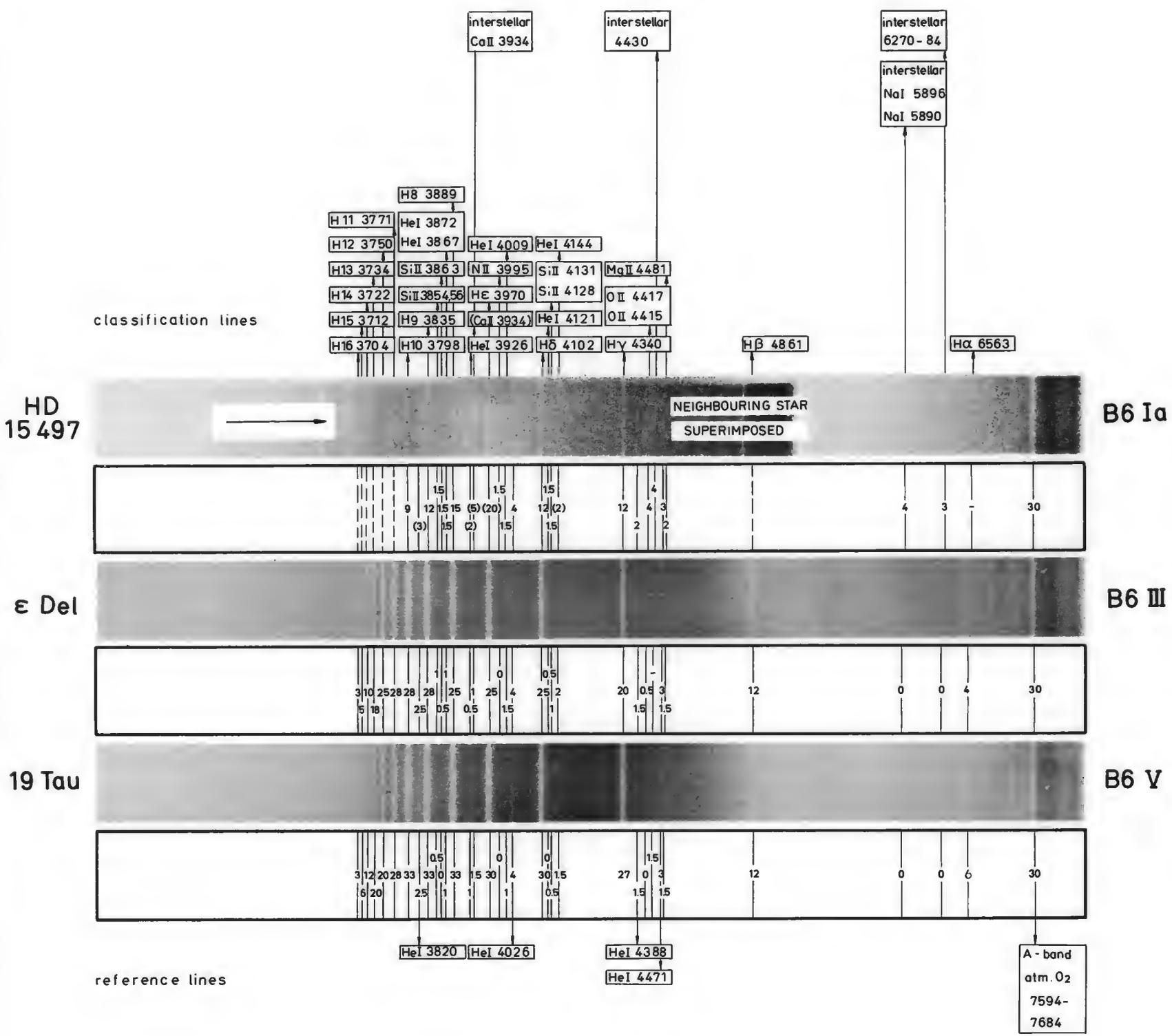
B5 V



reference lines



- H- lines increasingly sharper (weaker, when broadened) - Hα hardly detectable - in higher luminosity classes.
  - Higher series members of hydrogen visible in highest luminosity classes on well exposed plates with small scintillation.
  - Increasingly stronger in higher luminosity classes: HeI 3785; HeI 3806; (HeI 3867, 3872); (HeI 4009); HeI 4121; (HeI 4922); NII 3995; OII 4415, 4417; SiII 3854, 3856; SiII 3863; SiII 4128, 4131; TiII 3759, 3761.
  - Weaker in class Io: HeI 4026; ratio HeI 4009/ HeI 4026: > 1 in Io, < 1 in all other luminosity classes.
- Most important regions for luminosity classification: He- HeI 4026; red side of Hδ, H17- H8.
- χ Aur: Hα in emission?



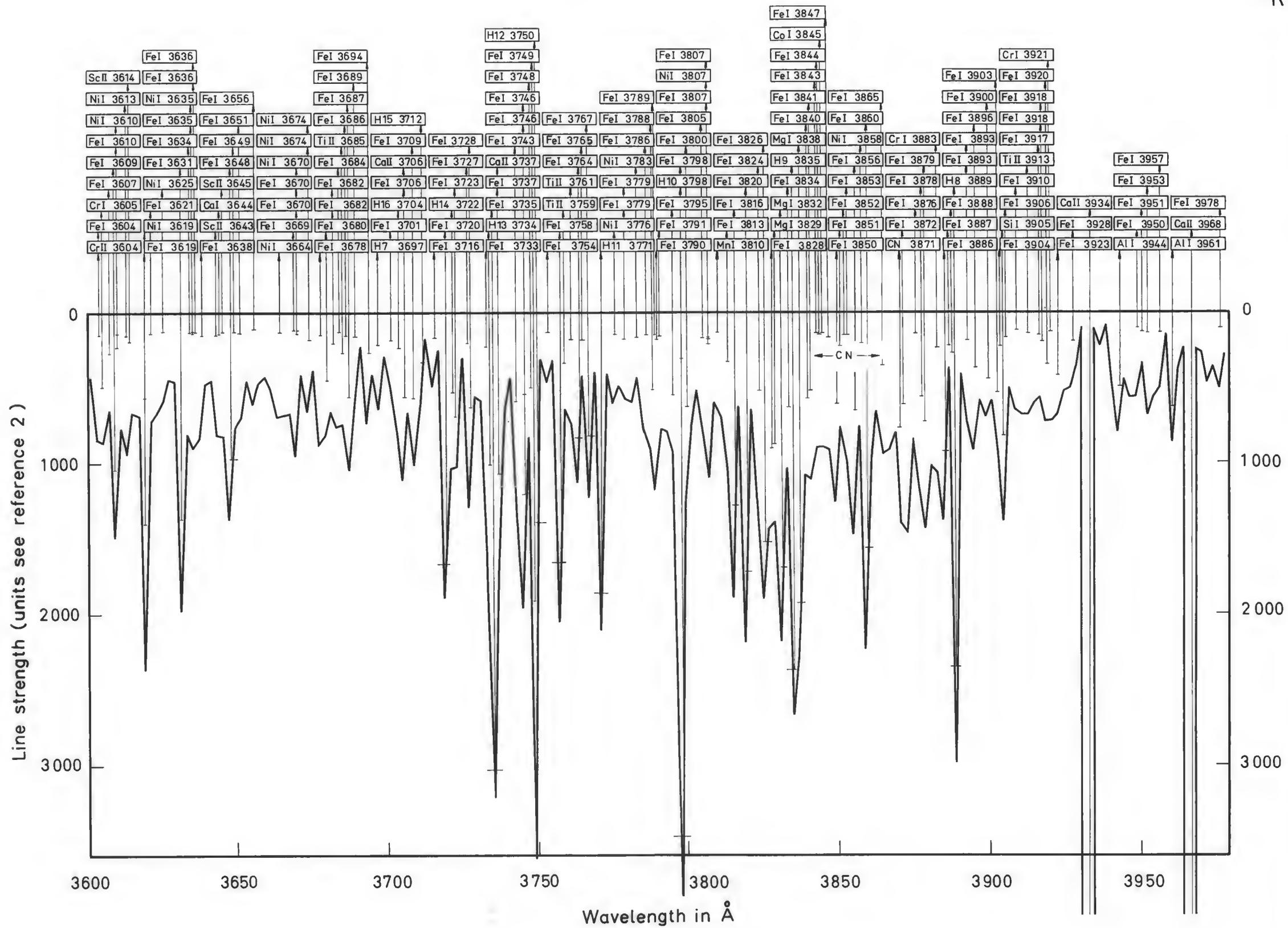
1. H-lines sharper in higher luminosity classes - H $\alpha$  hardly detectable in Ia.

2. Increasingly stronger in higher luminosity classes: HeI 3867, 3872; (HeI 4009); HeI 4121, (HeI 4144); NII 3995; SiII 3854, 3856; SiII 3863; SiII 4128, 4131; MgII 4481

Most important regions for luminosity classification: H9 - H8; red side of H $\delta$ ; He - HeI 4026.

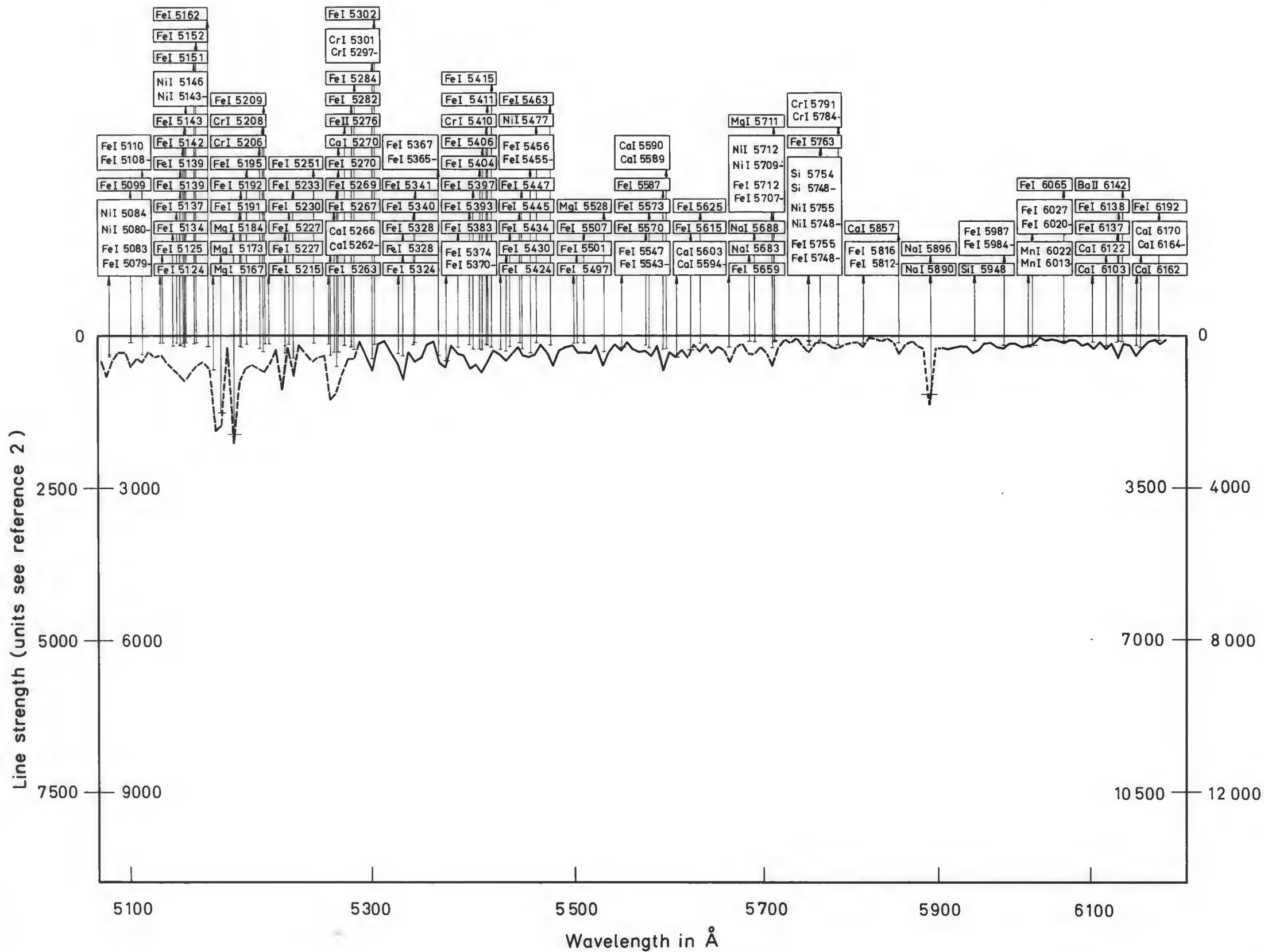
Difference between classes III and V hardly noticeable.





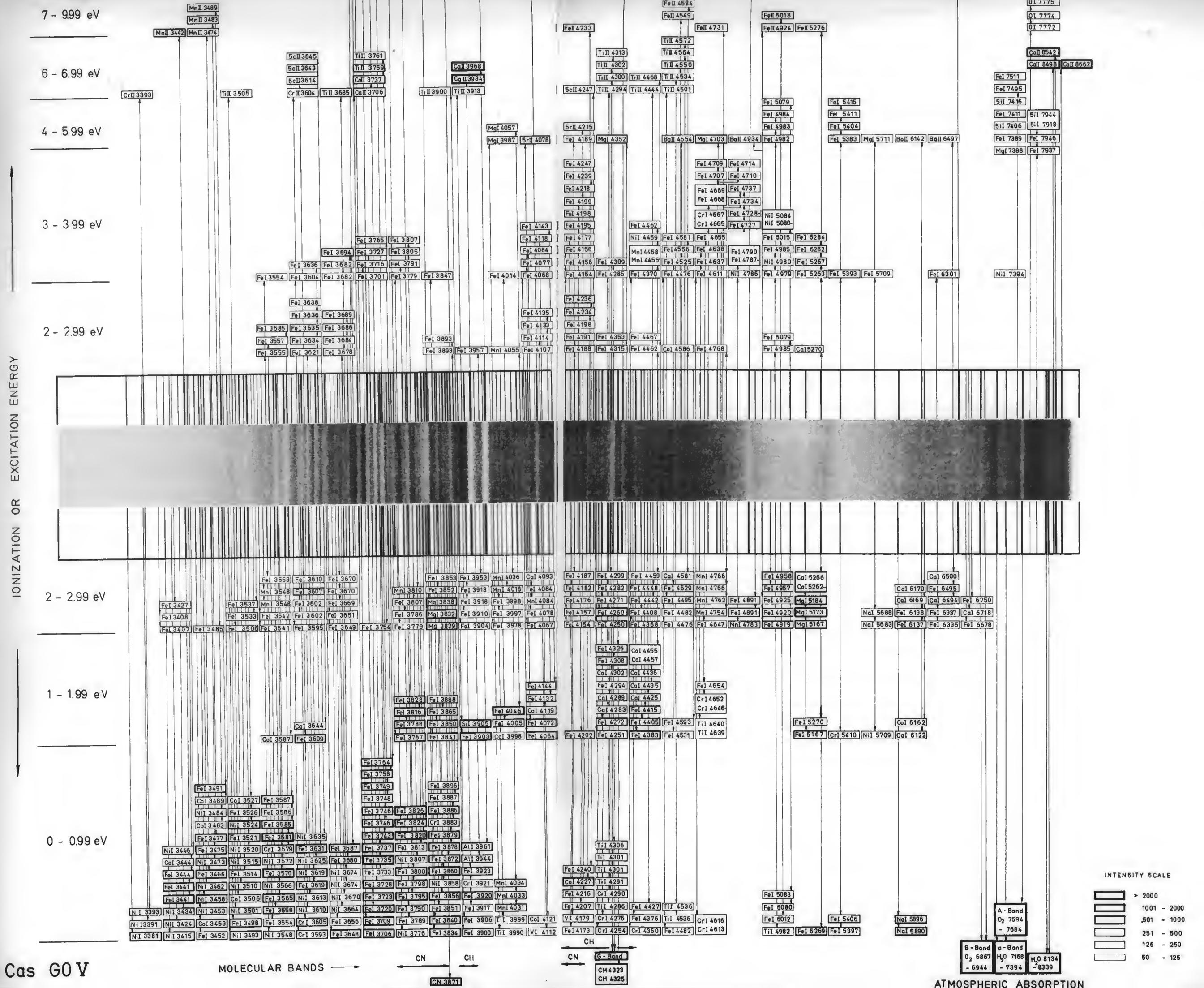
















Seitter / Bonner Spectral Atlas II

Seitter / Bonner Spektral-Atlas I

O.S.

523.  
87

O.S.

523.  
87