

# STUDIO SPETTROFOTOMETRICO DI 56 ARIETIS

Nota di TERESITA TAMBURINI (\*)

(Osservatorio Astronomico di Merate - Centro di Astrofisica del C.N.R.)

RIASSUNTO. — Si danno i risultati dello studio spettroscopico di 56 Ari. Le misure di profondità centrale delle righe e le loro variazioni con la fase vengono confrontate con gli analoghi risultati di Deutsch e di Bonsack. La caratteristica doppia onda dell'He I notata da Deutsch non è confermata dalle presenti misure; invece un accenno di doppia onda è visibile nelle curve di variazione del Si II. In questo senso i presenti risultati sono in accordo con quelli di Bonsack. Vengono misurate le larghezze equivalenti delle righe meglio misurabili e meno affette da blend: il confronto con le corrispondenti misure, relative ad altre stelle A peculiari e ad una A normale conferma che le righe del Si II e dello Sr II sono eccezionalmente intense. Del Si II sono presenti anche le righe ad alto potenziale di eccitazione. Il tipo spettrale che meglio spiega le caratteristiche spettrali osservate è compreso fra B5 e B7, e la classe di luminosità fra IV e V.

ABSTRACT. — The results of the spectroscopic study of 56 Ari are given. The central depth of the lines and their variation with the phase are compared with the results by Deutsch and Bonsack. The characteristic double wave of He I, remarked by Deutsch, is not confirmed by the present measures, but it is an indication of double wave in the variation curves of Si II. In this regard the present results agree with Bonsack one's. The equivalent widths of the most defined lines are measured: the comparison with the corresponding measures of some A peculiar stars and one A normal confirms the lines of Si II and Sr II are exceptionally strong. Also the high-excitation lines of Si II are present. The most probable spectral type and luminosity class are comprised between B5-B7 and IV-V.

## INTRODUZIONE

Continuando un programma di ricerche sulle stelle A peculiari, iniziato in collaborazione con la Prof. Hack, si studia lo spettro di 56 Ari.

56 Ari	$\alpha_{1950} = 3^{\text{h}}9^{\text{m}}15^{\text{s}}$	$m = 5.65$
HD 19832	$\delta_{1950} = + 27^{\circ} 4'12''$	Sp AOp

(Per una approfondita conoscenza delle caratteristiche generali delle stelle A peculiari e dei problemi connessi con il loro studio, si rimanda

(\*) Ricevuta il 26 ottobre 1963.

alla consultazione di alcuni fra i lavori più significativi pubblicati in proposito <sup>(1)</sup>, <sup>(2)</sup>, <sup>(3)</sup>, <sup>(4)</sup>).

Questa stella è stata studiata fotoelettricamente da Provin <sup>(5)</sup> e da Rakosch <sup>(6)</sup>. Provin trova un'ampiezza di variazione di 0.04 grandezze nel giallo e di 0.06 grandezze nel blu e ultravioletto. Inoltre ricava per la variazione di luce un periodo di 0<sup>d</sup>.728, in accordo col periodo delle variazioni spettrali derivato da Deutsch. Rakosch osserva che la fase del minimo di luce coincide con quella di massima intensità delle righe dell'He I.

Dal punto di vista spettroscopico 56 Ari è stata studiata da diversi Autori, fra i quali Deutsch <sup>(7)</sup>, <sup>(8)</sup>, <sup>(9)</sup>, <sup>(3)</sup>, Babcock <sup>(10)</sup> e Bonsack <sup>(11)</sup>.

Essa è la sola spettrovariabile conosciuta che ha poche righe su spettri di moderata dispersione. Le righe presentano un notevole allargamento, tanto da mascherare l'eventuale effetto Zeeman, cosicchè il campo magnetico è sconosciuto. Il periodo è fra i più brevi che si conoscano per le stelle A peculiari. Lo spettro di 56 Ari è molto simile a quello di HD 34452. Le due stelle hanno le stesse peculiarità spettroscopiche, ma mentre le righe di HD 34452 sono nitide, quelle di 56 Ari sono, come si è detto, considerevolmente allargate.

Poichè si notano disaccordi fra le stime di intensità delle righe compiute da Deutsch e quelle di Bonsack (la doppia onda dell'He I  $\lambda$  4026 di D. non viene osservata da B., il quale invece trova un massimo secondario per le righe del Si II, che non era stato notato da D.) e le stime di intensità di B. sono confermate dalle sue misure di velocità radiale, si compiono nuove misure di intensità delle righe, per determinare un loro più recente stato di variazione e stabilire qualche confronto con i risultati degli Autori citati.

## LE OSSERVAZIONI

I quattordici spettrogrammi sono stati presi dalla scrivente con lo spettrografo Zeiss nella combinazione camera media applicato al riflettore Zeiss di Merate. La dispersione è di 35 Å/mm ad H<sub>γ</sub>. La larghezza della fenditura è stata mantenuta sui 60 μ, che corrispondono a circa 30 μ sulla lastra. La tabella I contiene tutti i dati relativi alle osservazioni.

Tutti gli spettri sono stati presi su lastre Kodak 103a0. Come sorgente per lo spettro di confronto è stato usato un arco ad elettrodi di ferro. La calibrazione delle lastre è stata eseguita utilizzando lo spettrosensitometro dell'Osservatorio di Merate <sup>(12)</sup>. Gli spettrogrammi sono stati registrati al microfotometro Moll dell'Osservatorio di Merate, impiegando un ingrandimento 50. Quanto alle curve di calibrazione, per ogni singola lastra ne sono state costruite quattro, alle lunghezze d'onda

TABELLA I

Lastra N.	Spettro N.	Data giuliana	Posa minuti	Fase
202	613	2436232.260	60	0.000
»	614	232.304	»	0.060
203	616	233.260	50	0.374
205	622	235.250	70	0.106
»	623	236.281	60	0.523
»	624	237.241	»	0.824
»	627	237.400	»	0.061
207	631	239.246	»	0.596
»	633	239.392	»	0.797
208	634	242.250	»	0.722
»	636	242.394	»	0.920
239	728	596.297	»	0.050
241	732	598.274	50	0.766
»	733	2436599.300	60	0.175

4800, 4600, 4400, 4046 Å. Le quattro curve risultavano in ogni caso sovrapponibili, almeno entro i valori delle trasparenze utilizzate. Anche per le curve medie così ottenute si cercavano eventuali sovrapponibilità. Che peraltro si potevano realizzare solo parzialmente, vale a dire risultava che per le lastre 205, 207, 239, 241 poteva essere utilizzata un'unica curva media, e così una per le lastre 203, 208, e una per la lastra 202. In definitiva venivano impiegate tre distinte curve di calibrazione.

#### IDENTIFICAZIONE DELLE RIGHE

Si sono scelte sugli spettrogrammi le righe misurabili e si è proceduto alla loro identificazione con l'impiego delle Tavole dei multiplatti di C. Moore (<sup>13</sup>). Nella tabella II si dà un elenco delle righe identificate. I corsivi rappresentano le identificazioni sicure.

#### LO SPETTRO DI 56 ARI

Le osservazioni fotoelettriche di Provin (<sup>5</sup>) forniscono per le variazioni luminose i seguenti elementi:

$$\text{min. luce} = \text{JD } 2434355.806 + 0.728 E$$

Assunto il periodo ricavato da Provin, si sono calcolate le fasi corrispondenti alle varie osservazioni, e si è misurata la profondità centrale di tutte le righe per le quali la misura era possibile. Indi si sono scelte

TABELLA II

Identificazioni	
4840	40.329 <i>Fe I</i> 1068 - 39.616 <i>Gd II</i> 126 - 39.251 <i>Ti II</i> 110 - 40.253 <i>Co I</i> 158 (?)
4835.5	35.862 <i>Fe I</i> 1068.
4830	29.028 <i>Ni I</i> 131.
4802	03.00 <i>O I</i> 15 - 02.20 <i>O I</i> 15 - 01.80 <i>O I</i> 15 - 02.883 <i>Fe I</i> 888, 934.
4799	99.859 <i>Gd II</i> 126 - 98.535 <i>Ti II</i> 17 - 99.918 <i>Cd I</i> 2 (?).
4777.5	78.233 <i>Co I</i> 186 (?).
4773	73.76 <i>O I</i> 16 - 72.89 <i>O I</i> 16 - 72.54 <i>O I</i> 16.
4729	(29.291 <i>Ni I</i> 235).
4721	20.997 <i>Fe I</i> 1071, 409.
4706	(05.93 <i>Ni I</i> 128).
4623.5	23.020 <i>Co I</i> 156 (?).
4549	49.622 <i>Ti II</i> 82 - (49.467 <i>Fe II</i> 38).
4383.5	83.17 <i>Eu II</i> 27 - 82.777 <i>Fe I</i> 799a - (83.547 <i>Fe I</i> 41).
4234	33.167 <i>Fe II</i> 27 - 34.55 <i>VII</i> 200 - 33.32 <i>O I</i> 33.
4201	00.66 <i>Si II</i> - 00.90 <i>Si II</i> - 01.723 <i>Ni I</i> 238.
4139.5	38.52 <i>Ni I</i> 237.
4131	30.88 <i>Si II</i> 3.
4128	28.05 <i>Si II</i> 3 - (28.735 <i>Fe II</i> 27).
4084	(84.498 <i>Fe I</i> 698) - 84.391 <i>Mo I</i> 12 (?).
4078	77.714 <i>Sr II</i> 1 - 78.365 <i>Fe I</i> 217.
4069	68.003 <i>Mn I</i> 5.
4057.5	57.51 <i>Fe III</i> 33 - 56.53 <i>Fe I</i> 320.
4036	35.631 <i>VII</i> 32 - 35.542 <i>Co I</i> 173 (?).
4027.5	28.332 <i>Ti II</i> 87.
4026	26.362 <i>He I</i> 18 - 26.189 <i>He I</i> 18 - 25.136 <i>Ti II</i> 11 - 25.114 <i>Ni I</i> 240.
4012	12.50 <i>Cr II</i> 183 - 12.389 <i>Ce II</i> 206 - 12.372 <i>Ti II</i> 11 - (11.71 <i>Fe I</i> 153).
4010.5	09.984 <i>Ni I</i> 150.
4009	09.27 <i>He I</i> 55.
4005	05.712 <i>VII</i> 32.
3991.5	91.14 <i>Zr II</i> 30 - 91.77 <i>Si II</i> 91.831 <i>Co I</i> 129 (?) - 91.528 <i>Co I</i> 173 (?).
3980	79.51 <i>Cr II</i> 183 - 79.40 <i>Hf II</i> 97 - (80.65 <i>Fe I</i> 153) - (80.14 <i>Fe III</i> 120).
3954	54.687 <i>O I</i> 30 - 54.596 <i>O I</i> 30 - 53.056 <i>O I</i> 30 - <i>Si II</i> - 53.863 <i>Fe I</i> 362.
3951.5	51.987 <i>O I</i> 30 - 51.968 <i>VII</i> 10 - 51.164 <i>Fe I</i> 661.
3935	35.942 <i>Fe II</i> 173 - 35.914 <i>He I</i> 57 - 35.31 <i>Fe I</i> 362.
3927	26.530 <i>He I</i> 58 - 26.467 <i>Mn I</i> 44.
3923.5	23.503 <i>Sc II</i> 9 (?).
3920	(20.645 <i>Fe I</i> 153).
3914	14.333 <i>VII</i> 33 - 13.635 <i>Fe I</i> 120.
3863	62.592 <i>Si II</i> 1 - 63.413 <i>Fe II</i> 152 - 63.953 <i>Fe II</i> 152 - 63.072 <i>Ni I</i> 181.
3855.5	56.021 <i>Si II</i> 1 - 54.38 <i>Fe III</i> 120.

quelle righe per cui si disponeva di serie di misure distribuite abbastanza bene lungo tutto il periodo e per quelle righe si sono costruiti i grafici che illustrano le variazioni di  $R_c$  con la fase (v. fig. 1). Le fasi da noi calcolate hanno la stessa origine di quelle della fig. 6 della nota di Deutsch <sup>(3)</sup> e della fig. 1 di quella di Bonsack <sup>(11)</sup>, cioè il massimo di intensità dell'*He I*, ossia il minimo di luce.

Anzitutto si nota un fatto piuttosto singolare: le misure relative ai due spettri 614 e 627, presi rispettivamente alle fasi 0.06 e 0.061 indicano una differenza sistematica (almeno là dove il confronto è possibile, cioè per le righe  $\lambda\lambda$  4131, 4128, 4078, 4027.5, 3935) che appare improbabile si possa attribuire a cause fotografiche o strumentali, per il fatto

che la densità fotografica dei due spettri è all'incirca la stessa, e gli stessi sono anche le modalità e la precisione del metodo seguito per la riduzione. Anche però ove tali differenze sistematiche fossero imputabili a qualche errore non preso in considerazione — fatto, ripetiamo, poco probabile — e di tale errore fossero del pari affette anche tutte le altre misure, tuttavia forti e sicure e di un ordine certamente superiore a quello degli errori appaiono le variazioni delle righe  $\lambda\lambda$  4840, 4802, 4131, 4128, 4078, 3954 e forse della 3920, tutte, ad eccezione della 4802, con un massimo alla fase 0.374.

Questi risultati sembrano, in linea di massima, concordi con quelli di Bonsack, soprattutto per quanto riguarda le due righe del Si II  $\lambda\lambda$  4131-4128, le più intense dello spettro, per le quali sui nostri grafici si nota un accenno di massimo secondario alla fase 0<sup>p</sup>.80 circa. Anche B. trova variazioni di velocità radiale con un massimo secondario alla fase 0<sup>p</sup>.80, e analoghi risultati da stime di intensità delle righe.

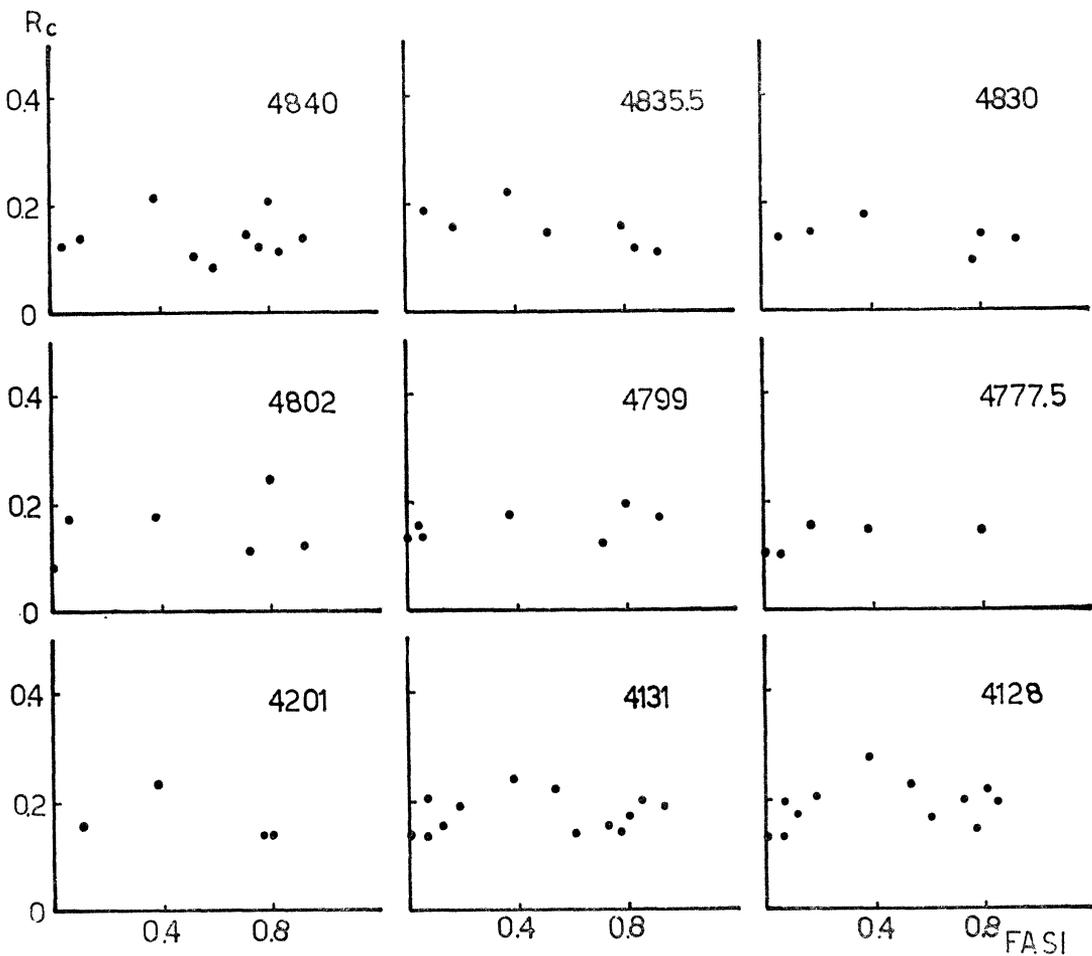


Fig. 1a

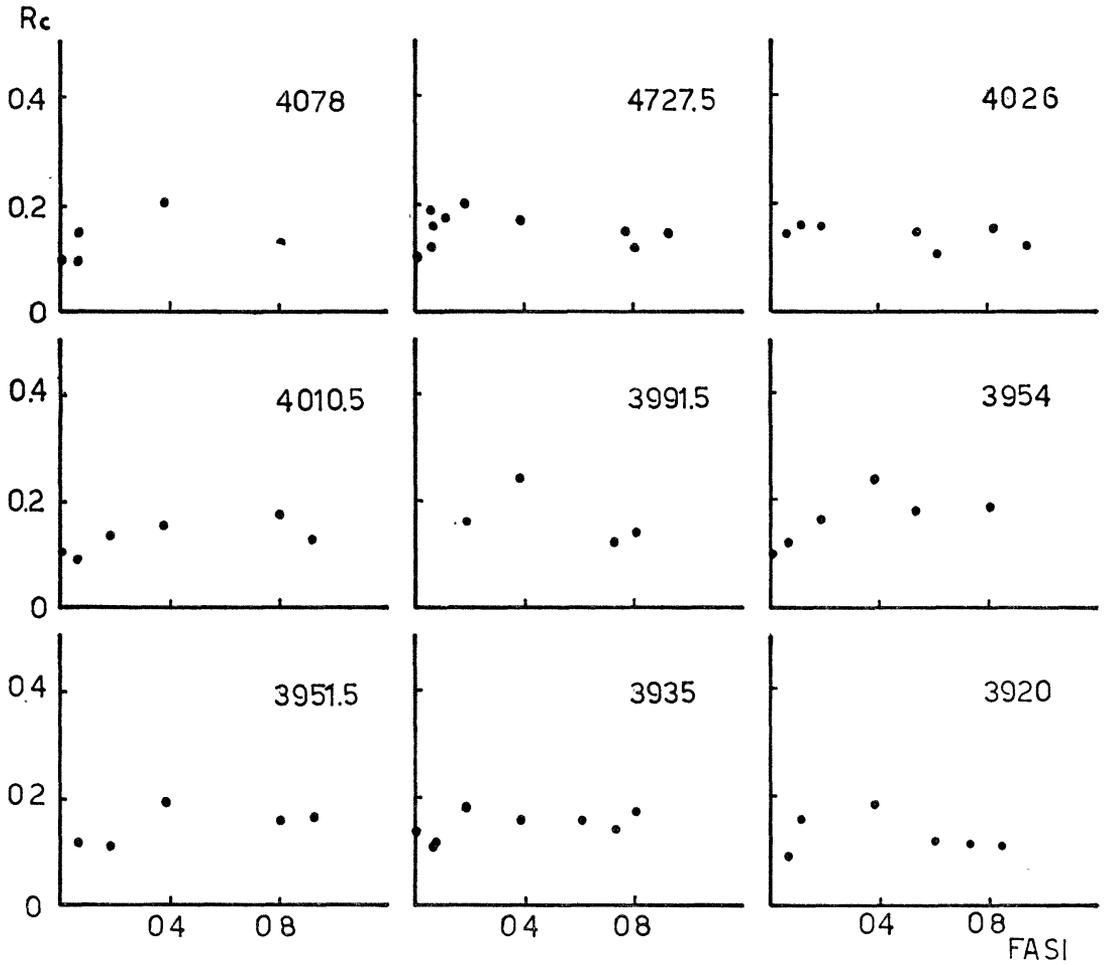


Fig. 1b

Del Si II sono presenti anche le righe  $\lambda\lambda$  3863 e 3856, visibili su quasi tutti gli spettri, sebbene misurabili solo in pochi casi a causa del blending che rende incerta la loro definizione.

Oltre al Si II l'altra peculiarità più notevole di 56 Ari è costituita dalle righe dell'He I, di cui sono presenti  $\lambda\lambda$  4026 e 4471. Di  $\lambda$  4026 Deutsch <sup>(3)</sup> segnala nelle curve di variazione l'esistenza di una caratteristica doppia onda (v. fig. 6 della nota citata), che le nostre osservazioni non sembrano permetterci di confermare. Purtroppo però non disponiamo di un adeguato numero di punti che ci consenta di seguire con sicurezza la variazione di questo riga con la fase, solo possiamo dire che essa appare invisibile proprio alla fase 0.374, alla quale si ha un massimo per la maggior parte delle righe di intensità variabile. Anche in questo dunque i nostri risultati sembrano vicini a quelli di Bonsack <sup>(11)</sup> il quale non nota « alcun aumento secondario di lunghezza d'onda nella riga  $\lambda$  4026 dell'He I », sebbene anche i suoi dati non siano abbastanza numerosi per permettergli di trarre conclusioni sicure. E

ancora egli nota che la forte variazione dell'He I  $\lambda$  4026 avviene con una fase differente da quella del Si II e di tutte le righe non identificate, « che variano simultaneamente ».

L'altra riga dell'He I  $\lambda$  4471 notata da Deutsch <sup>(8)</sup> non è misurabile sui nostri spettri, anche se su alcuni di essi appare delineata. Bonsack <sup>(11)</sup> nota a questo proposito che la riga  $\lambda$  4471 « mostra una grande dispersione e sembra probabile che una riga non identificata, con una diversa modalità di variazione sia blend con essa » e che « sulla maggior parte degli spettrogrammi essa è larga e mal definita ».

Sicura è la presenza dell'O I, di cui sono visibili e misurabili tutte le righe del multipletto 15 e 16, corrispondenti rispettivamente alle transizioni  $3^5P-8^5S^0$  e  $3^5P-7^5D^0$ , e tutte le righe, ad eccezione della più debole, del multipletto 30.

Sono pure presenti diverse deboli righe metalliche, specialmente del Fe I, Fe II, Ti II, VII, Cr II.

Ma fra le peculiarità di 56 Ari va messa in evidenza quella, già segnalata da Deutsch <sup>(7)</sup>, costituita dalle tre righe  $\lambda\lambda$  3955, 3992, e 4200, che sono presenti anche nello spettro di HD 34452. Rimaste non identificate fino a poco tempo fa, queste tre righe, osserva Deutsch <sup>(7)</sup> « capitano insieme in un certo numero di stelle A peculiari e possono bene avere un'origine comune ». In effetti recentemente Bidelman <sup>(14)</sup>, basandosi su un lavoro di Shenstone <sup>(15)</sup>, ha trovato che esse sono righe di alta eccitazione appartenenti allo spettro del Si II, e come tali sono state anche da noi identificate.

#### CONFRONTO DELLE LARGHEZZE EQUIVALENTI CON QUELLE DI ALTRE STELLE

Si è ritenuto opportuno, soprattutto perchè l'affinità, già citata e segnalata da altri Autori, con lo spettro di HD 34452, non fosse suggerita solo da criteri qualitativi, di misurare le intensità totali di tutte le righe per le quali la misura era possibile, e confrontarle con le intensità totali corrispondenti di HD 34452 <sup>(16)</sup>, e si è poi esteso l'esame ad altre stelle A peculiari e ad una A normale. Il numero di righe non blend per le quali sono contemporaneamente note le misure risulta purtroppo molto limitato (v. tabella III).

Comunque appare evidente l'eccezionale intensità delle righe del Si II, con valori uguali a quelli della « stella al silicio » HD 34452, e d'altra parte l'affinità con lo spettro di questa stella risulta confermata anche dall'intensità della 4026 He I e della 3954. Quest'ultima riga, in quanto blend di Si II e O I avrebbe dovuto essere eliminata dall'esame comparativo, ma le sole misure che si confrontano, in questo caso, riguardano 56 Ari e HD 34452 <sup>(16)</sup>, e si ritiene che a  $\lambda$  3954 il Si II sia presente, se pure non identificato nella nota citata, anche in quest'ultima stella.

TABELLA III

$\lambda$	56 Ari	HD 34452 (1)	$\alpha^2$ CVen (2)	$\alpha$ Lyr (3)	$\alpha$ Cyg (4)	HD 224801 (5)
4131 Si II	0.52	0.52	0.25	0.07	0.27	0.31
4128 Si II	0.62	0.51	0.33	0.07	0.24	0.30
4078 Sr II	0.40			0.06	0.08	0.24
4026 He I	0.33	0.43			0.05	
3954 O I, Si II	0.34	0.27				

(1) Casati-Hack - Mem. S.A.I. **27**, 307, 1956.

(2) Hack-Tamburini - Mem. S.A.I. **29**, 165, 1958.

(3) Hunger - Z.f. Ap. **36**, 42, 1955.

(4) Buscombe - Ap. J. **114**, 73, 1951.

(5) Hack-Tamburini - Mem. S.A.I. **29**, 507, 1958.

#### DENSITA' ELETTRONICA E ABBONDANZA DELL'IDROGENO

La densità elettronica è stata calcolata per mezzo della formula di Inglis e Teller :

$$(1) \quad \log. N_e = 23.26 - 7.5 \log n$$

dove  $n$  è il numero quantico dell'ultima riga visibile della serie di Balmer. Poichè nel nostro caso è  $n = 15$ , si ricava :

$$\log. N_e = 14.44$$

Per determinare il numero di atomi di idrogeno assorbenti si è applicata la formula di Holtzmark :

$$(2) \quad W^{5/2} = K N_{o_2} N_e \left( \frac{R_c}{0.45} \right)^{3/2}$$

dove  $N_{o_2}$  rappresenta il numero di atomi di idrogeno neutro nello stato eccitato 2 contenuti in una colonna di base  $1 \text{ cm}^2$  e altezza uguale all'altezza efficace dell'atmosfera,  $N_e$  la densità elettronica,  $R_c$  la profondità centrale, e  $K$  una costante che varia al variare della riga.

Posto :

$$- \log K - 0.52 = \log K_1$$

e poichè per  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  si ha :

	$\log K_1$	$R_c$	$W_\lambda$
$H_\beta$	28.34	0.52	8.08
$H_\gamma$	28.58	0.58	7.26
$H_\delta$	28.66	0.61	7.65

si ottiene :

$$\begin{aligned}\log N_{\text{O}_2} &= 16.60 \quad (\text{H}_\beta) \\ \log N_{\text{O}_2} &= 16.64 \quad (\text{H}_\gamma) \\ \log N_{\text{O}_2} &= 16.75 \quad (\text{H}_\delta)\end{aligned}$$

che forniscono un valore medio :

$$\log N_{\text{O}_2} = 16.66$$

#### DETERMINAZIONE DEL TIPO SPETTRALE E DELLA CLASSE DI LUMINOSITA'

Nell'Henry Draper Catalogue 56 Ari è classificata AOp, ma Rakosch <sup>(6)</sup> trova che il suo indice di colore indica piuttosto l'appartenenza al tipo B3. Per decidere quale sia il tipo spettrale e la classe di luminosità che meglio spiegano le caratteristiche generali dello spettro, si sfrutta la relazione che lega l'intensità di una riga al tipo spettrale, parametro la classe di luminosità <sup>(16)</sup>. La larghezza equivalente osservata di H<sub>γ</sub> (7.26) sembra indicare per la nostra stella un tipo spettrale B5 e una classe di luminosità IV o V, mentre utilizzando la larghezza equivalente di H<sub>δ</sub> (7.65) il tipo spettrale sembra leggermente più avanzato, cioè circa B6, sempre restando la stessa la classe di luminosità.

Si è anche utilizzata la relazione che lega il numero quantico  $n$  dell'ultima riga visibile della serie di Balmer al tipo spettrale <sup>(17)</sup>, ed essendo nel nostro caso  $n = 15$ , se ne deduce un tipo spettrale B1 ed una classe di luminosità V. D'altra parte l'attribuzione di quest'ultimo tipo spettrale è resa poco probabile dall'intensità della 4026 He I, il cui valore sembra indicare un tipo B7 IV o V, oppure un tipo B8-B9 I o II. E poichè da tutti gli altri indizi si può senz'altro escludere che si tratti di stella gigante, la seconda alternativa è da intendersi eliminata.

#### CONCLUSIONI

Perciò il tipo spettrale che meglio spiega le caratteristiche spettrali osservate è compreso fra B5 e B7 e la classe di luminosità fra IV e V, più probabilmente V.

Le peculiarità più notevoli sono la marcata intensità delle righe del Si II (presenti anche quelle righe che provengono da alti livelli di eccitazione) e dello Sr II.

Per quanto riguarda le discordanze fra i cicli di variazione, soprattutto del Si II e dell'He I, si ritiene opportuno riprendere lo studio di questa stella, onde stabilire se tali variazioni da epoca ad epoca sono reali.

## BIBLIOGRAFIA

- (<sup>1</sup>) Babcock - Ap. J. **105**, 105, 1947.
- (<sup>2</sup>) Babcock - Ap. J. **114**, 1, 1951.
- (<sup>3</sup>) Deutsch - P.A.S.P. **68**, 92, 1956.
- (<sup>4</sup>) Deutsch - *Vistas in Astronomy*, Pergamon Press, **2**, 1421, 1956.
- (<sup>5</sup>) Provin - Ap. J. **118**, 281, 1953.
- (<sup>6</sup>) Rakosch - *Acta Physica Austr.* Band XVI, Heft 1, 1963.
- (<sup>7</sup>) Deutsch - Ap. J. **105**, 283, 1947.
- (<sup>8</sup>) Deutsch - Ap. J. **105**, 503, 1947.
- (<sup>9</sup>) Deutsch - Ap. J. **58**, 37, 1953.
- (<sup>10</sup>) Babcock - Ap. J. Suppl. III, 208, 1957.
- (<sup>11</sup>) Bonsack - P.A.S.P. **70**, 90, 1958.
- (<sup>12</sup>) Kranjc - *Mem. S.A.I.* **27**, 245, 1956.
- (<sup>13</sup>) Moore - *Revised Multiplet Table*, Princeton, New Jersey, 1945.
- (<sup>14</sup>) Bidelman - Ap. J. **135**, 651, 1962.
- (<sup>15</sup>) Shenstone - *Proc. R. Soc. London*, **261**, 153, 1961.
- (<sup>16</sup>) Casati-Hack - *Mem. S.A.I.* **27**, 307, 1956.
- (<sup>17</sup>) Struve-Unsöld - Ap. J. **91**, 365, 1940.