

NOTIZEN

Das Häufigkeitsverhältnis von Wasserstoff und Helium in den Atmosphären der O-Sterne

Von Gerhard Miczaika

Badische Landessternwarte Heidelberg-Königstuhl

(Z. Naturforsch. 3a, 250–251 [1948]; eingeg. am 5. April 1948)

Vor einiger Zeit hat Unsöld<sup>1</sup> zeigen können, daß der Verbreiterungsmechanismus für die Heliumlinien  $\lambda = 4026 \text{ \AA}$  und  $\lambda = 4471 \text{ \AA}$  (diffuse Nebenserie  $2^3P^o - n^3D$ ) in den Atmosphären der Sterne frühen Spektraltyps weitgehend derselbe ist wie der der Wasserstofflinien, wenn man von ihrem innersten Kerngebiet absieht. Wenn hier Sättigung herrscht,

und findet für das Verhältnis He/H der Gesamthäufigkeiten aus den entsprechenden Äquivalentbreiten  $A$

$$\log \frac{\text{He}}{\text{H}} = \frac{5}{2} \log \frac{A_{4471}}{A_{4340}} - 0,23 \theta + 0,55, \tag{1}$$

$$\log \frac{\text{He}}{\text{H}} = \frac{5}{2} \log \frac{A_{4026}}{A_{4102}} - 0,23 \theta + 0,50, \tag{2}$$
$$\theta = \frac{5040^\circ}{T}.$$

Die Anwendung dieser einfachen Formel zur Bestimmung der relativen Häufigkeit von Wasserstoff

H D	Stern	Sp	<i>M</i>	<i>A</i> <sub>4102</sub> H δ	<i>A</i> <sub>4340</sub> H γ	<i>A</i> <sub>4026</sub>	<i>A</i> <sub>4471</sub>	log H/He (H δ)	log H/He (H γ)
1 337	AO Cass	O 8,0	— 5,8 <sup>m</sup>	—	3,59	—	1,32	—	0,58
14 947	+ 58° 467	O 5,0	— 4,0	1,04	1,49	0,64	0,41	0,07	0,89
17 505	+ 59° 552	O 7,0	— 5,5	2,95	2,52	0,68	0,66	1,13	0,95
24 912	Per	O 7,0	— 5,2	2,26	2,33	0,91	0,98	0,53	0,43
36 861	λ Ori A	O 8,0	— 5,9	2,54	2,56	0,96	1,03	0,60	0,48
37 043	ι Ori	O 8,0	— 4,1	1,60	2,16	0,70	0,90	0,44	0,44
41 161	+ 48° 1339	O 7,0	— 3,6	2,67	2,33	1,12	1,08	0,50	0,33
46 150	+ 5° 1283	O 6,0	— 3,8	2,45	2,30	0,62	0,39	1,03	1,42
47 129	+ 6° 1309	O 7,0	— 4,8	1,18	1,65	0,86	0,95	— 0,12	0,09
54 662	— 10° 1892	O 6,5	— 3,2	2,21	2,68	1,00	0,72	0,40	0,92
188 001	9 Sge	O 7,0	— 5,6	1,69	1,49	0,92	1,30	0,20	— 0,36
190 429 N	+ 35° 3930	O 5,0	— 6,0	1,44	1,38	0,66	0,38	0,39	0,89
190 864	+ 35° 3949	O 6,0	— 5,3	1,64	2,01	0,68	0,58	0,50	0,84
191 201	+ 35° 3970	B 0	— 4,6	2,48	2,98	0,90	1,23	0,64	0,45
192 281	+ 39° 4082	O 5,0	— 5,0	2,23	2,15	0,84	0,34	0,60	1,49
192 639	+ 36° 3958	O 7,0	— 3,6	1,48	1,74	1,10	1,16	— 0,13	— 0,07
198 846	Y Cyg	O 8,5	— 3,6	—	3,44	—	1,32	—	0,53
202 214	+ 59° 2334	O 8,5	— 5,5	3,41	3,52	1,04	1,22	0,83	0,64
210 839	λ Cep	O 6,0	— 5,8	1,76	2,14	0,62	0,81	0,67	0,55
214 680	10 Lac	O 8,5	— 4,0	3,33	3,48	1,65	1,38	0,30	0,49
224 151	Boss 6142	B 1,0	—	1,96	2,45	0,72	1,00	0,63	0,46
Mittel								0,48	0,59

Tab. 1

ist dieser Unterschied praktisch bedeutungslos. In beiden Fällen geht die Gesamtabsorption  $A \sim (NH \cdot N_e)^{2/3}$ , wobei  $NH$  die Anzahl der betreffenden Atome in einer Säule über  $1 \text{ cm}^2$  Sternoberfläche und  $N_e$  die Elektrendichte bedeuten.

Mit Hilfe der Boltzmannschen und Sahaschen Formeln läßt sich aus der Zahl der angeregten Atome, die etwa zur Absorption von He I,  $\lambda = 4026 \text{ \AA}$ , He I,  $\lambda = 4471 \text{ \AA}$  und der Balmer-Linien H γ ( $\lambda = 4340 \text{ \AA}$ ) und H δ ( $\lambda = 4102 \text{ \AA}$ ) beitragen, leicht die Gesamtzahl ionisierter Wasserstoff- und Heliumatome, die praktisch gleich der Gesamtzahl der Atome dieser Elemente in den heißen Sternen vom Typ O und B ist, ermitteln. Unsöld hat die Rechnung durchgeführt

<sup>1</sup> A. Unsöld, Z. Astrophysik 23, 75 [1944].

und Helium ist deshalb so besonders bequem, weil der Elektronendruck in ihnen überhaupt völlig herausgefallen ist und die Abhängigkeit von der Atmosphärentemperatur  $T$  sich als äußerst gering erweist.

Für 18 Sterne, meist B 0 bis B 3, einige O, hat Unsöld<sup>2</sup> das Häufigkeitsverhältnis H/He bereits selbst ermittelt. Eine Ausdehnung der Rechnung zu den O-Sternen auf der Grundlage einheitlichen Beobachtungsmaterials ist durch die Äquivalentbreitenmessungen von R. M. Petrie<sup>3</sup> möglich geworden.

<sup>2</sup> A. Unsöld, Astrophysik 23, 100 [1944].  
<sup>3</sup> R. M. Petrie, J. Roy. Astronom. Soc. Canada 38, 337 [1944] u. Publ. Dominion Astrophysic. Obs. Victoria, B. C., 7, No. 21 [1947].



Die Spektraltypen der 21 Sterne liegen im Bereich O5 bis B1 und sind von Petrie mit Hilfe von Linienintensitäten selbst klassifiziert worden.

Als mittlere Temperatur für den genannten Spektralbereich kann man  $32000^\circ\text{K}$  annehmen. Dieser Wert beruht auf den Temperaturbestimmungen, die Petrie aus dem Intensitätsverhältnis von Linien des neutralen und ionisierten Heliums vorgenommen hat. Er ist in ausreichender Übereinstimmung mit anderweitigen Ergebnissen. Im übrigen kommt es wegen der geringen Temperaturabhängigkeit von (1) für unseren Zweck auf eine genaue Kenntnis von  $T$  überhaupt nicht an. Wir können daher auch unbedenklich mit einem Mittelwert für den gesamten Bereich rechnen, und es wird

$$\begin{aligned}\log \frac{\text{H}}{\text{He}} &= \frac{5}{2} \log \frac{A_{4340}}{A_{4471}} - 0,51, \\ \log \frac{\text{H}}{\text{He}} &= \frac{5}{2} \log \frac{A_{4102}}{A_{4026}} - 0,46.\end{aligned}\quad (3)$$

Unglücklicherweise ist in den Spektren der O-Sterne die He I-Linie bei  $\lambda = 4026,36 \text{ \AA}$  ein Blend mit He II  $\lambda = 4025,60 \text{ \AA}$ , so daß sich aus  $A_{4102}/A_{4026}$  nur ein unterer Grenzwert für das Häufigkeitsverhältnis H/He ergeben kann. Das Ausgangsmaterial und die ermittelten relativen Häufigkeiten enthält Tab. 1.

Die Schwankungen von  $\log \text{H/He}$  sind von Stern zu Stern teilweise erheblich. Besonders auffällig sind HD 47129, HD 188001 und HD 192639, bei denen Helium sogar häufiger oder mindestens genau so häufig wie Wasserstoff zu sein scheint. Wenn man auch den Einzelwerten der Tab. 1 kein allzu großes Gewicht beilegen darf — die Fehler in den Äquivalentbreiten gehen voll ein, der Faktor 2,5 wirkt aggravierend —, so ist ein solches Ergebnis nicht ohne weiteres völlig von der Hand zu weisen. Allerdings muß nach anderweitigen Erfahrungen für die große Stärke der Heliumlinien auch mit einem Überanregungsphänomen in der Atmosphäre gerechnet werden. Im übrigen zeigen die  $\log \text{H/He}$  keine Abhängigkeit von der spektralen Unterklasse oder der absoluten Helligkeit  $M$ , die in Tab. 1 ebenfalls gegeben sind und von Petrie aus der Intensität der interstellaren Ca II-Linie  $K$  bestimmt wurden. Die Mittelwerte aus den beiden Linienpaaren  $\text{H}\gamma/\text{He I } \lambda = 4471 \text{ \AA}$  und  $\text{H}\delta/\text{He I } \lambda = 4026 \text{ \AA}$  betragen 0,59 und 0,48. Der Unterschied entspricht wegen der erwähnten Störung von  $\lambda = 4026 \text{ \AA}$  der Erwartung.

Der Mittelwert, der hier gefunden worden ist, bestätigt aufs neue die in der letzten Zeit mehrfach gemachte Feststellung, daß das Häufigkeitsverhältnis von Wasserstoff und Helium entlang der Hauptreihe von den O- bis mindestens zu den G0-Sternen einheitlich ist, an Hand vergrößerten Beobachtungsmaterials für die O-Sterne. Eine Reihe von Einzelbestimmungen des Verhältnisses H/He ergab immer Werte von sehr ähnlicher Größe. Das hier mitgeteilte Ergebnis gilt für das obere Ende der Hauptreihe, für das untere Ende ihres bisher der Untersuchung zu-

gänglich gewordenen Teils, eine eruptive Protuberanz der Sonne (G0), fand Unsöld  $\log \text{H/He} = 0,74 \pm 0,5$ .

Auf die kosmogonischen Konsequenzen dieser Gleichförmigkeit ihrer chemischen Zusammensetzung ist kürzlich vor allem von ten Bruggecate<sup>5</sup> und Unsöld<sup>6</sup> hingewiesen worden.

<sup>4</sup> A. Unsöld, Z. Astrophysik **24**, 22 [1947].

<sup>5</sup> P. ten Bruggecate, Z. Astrophysik **24**, 48 [1947].

<sup>6</sup> A. Unsöld, Z. Astrophysik **24**, 306 [1948].

## Die Mesonenaubeute beim Beschuß von leichten Kernen mit $\alpha$ -Teilchen

Von Heinz Koppe

Max-Planck-Institut für Physik, Göttingen

(Z. Naturforsch. **3a**, 251–252 [1948]; eingeg. am 21. Juni 1948)

Mittels des neuen Berkeley-Betatrons ist es möglich gewesen, durch Beschuß von leichten Kernen (insbesondere C) mit  $\alpha$ -Teilchen von etwa 380 MeV Mesonen zu erzeugen. Im folgenden soll eine einfache Methode angegeben werden, nach der sich die dabei zu erwartende Ausbeute abschätzen läßt.

Beim Stoß eines Kernes mit der Massenzahl  $M_1$  und der kinetischen Energie  $E$  auf einen ruhenden Kern mit der Masse  $M_2$  entsteht zunächst ein Zwischenkern mit der Masse  $M = M_1 + M_2$ , dem die Anregungsenergie pro Nucleon

$$U = \frac{M_2}{M^2} E \quad (1)$$

zur Verfügung steht. Nach einer bekannten Beziehung<sup>1</sup> hat der Zwischenkern dann die Temperatur

$$T_0 = 3,8 \sqrt{U}. \quad (2)$$

Dabei wird unter  $T$  das Produkt aus  $k$  und der absoluten Temperatur verstanden. Gl. (2) liefert  $T$  in MeV, wenn man  $U$  in MeV einsetzt.

Bei den Berkeley-Experimenten ergeben sich so Temperaturen von der Größenordnung 10 MeV. Für das Weitere ist wichtig, daß man bei derartig hohen Temperaturen nicht mehr mit konstanten Teilchenzahlen rechnen darf, sondern die Möglichkeit der Paarerzeugung berücksichtigen muß. Man erhält dann für jede Teilchensorte rein statistisch eine bestimmte Gleichgewichtskonzentration. Diese Erscheinung wurde von Houtermans und Jensen<sup>2</sup> „Dissoziation des Vakuums“ und von Koppe<sup>3</sup> „Paarentartung“ genannt und bisher vor allem im Hinblick auf die Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren untersucht. Dieselben Überlegungen lassen sich natürlich auch auf die Erzeugung von Mesonenpaaren anwenden. Die thermische Erzeugung von Teilchen setzt ein, sobald die Temperatur von der Größenordnung der Ruheenergie der Teilchen wird. Da die Ruheenergie der

<sup>1</sup> Vgl. E. Bagge, Ann. Physik (5) **33**, 389 [1938]; Fußnote auf S. 399.

<sup>2</sup> F. Houtermans u. H. Jensen, Z. Naturforsch. **2a**, 146 [1947].

<sup>3</sup> H. Koppe, Ann. Physik (6) **2**, 103 [1948].