

Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen

Klasse

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München

Jahrgang 1951

München 1952

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

In Kommission bei der C. H. Beck'schen Verlagsbuchhandlung München

Spektrographische Temperaturbestimmungen von Doppel- und einfachen Sternen des südlichen Himmels

Von Alexander Wilkens in La Plata

Vorgelegt in der Sitzung am 4. Mai 1951

Die Untersuchung ist eine Fortsetzung der 1944 in Bd. 20 Nr. 1 erschienenen Veröffentlichung des La Plata-Observatoriums, aber mit dem prinzipiellen Unterschiede, daß die neue Reihe 1943–48 gegenüber der ersten auf absoluter Basis beruht, und zwar durch den Anschluß an die dem Mondspektrum gemäß dem Planckschen Gesetz entsprechende Äquivalenttemperatur, gleichbedeutend mit einem Anschluß an die Sonne, deren Spektrum sehr nahe im Mondspektrum wiedererscheint. Deshalb wurde das Mondspektrum möglichst häufig neben den Sternspektren am 82-cm-Reflektor von La Plata aufgenommen. Ferner wurde an Stelle der bisher von Stern zu Stern variablen, optimalen Expositionszeit eine in derselben Nacht konstante Expositionszeit verwendet, unter gleichzeitiger Benutzung entsprechender Diaphragmen zur Reduktion der Sternintensitäten auf möglichst dieselbe Intensität, im Interesse der möglichsten Verminderung entsprechender Fehlerquellen, wobei eine der Hauptaufgaben bei der Untersuchung der Temperaturen eine Ableitung der systematischen Fehlerquellen ist.

Von den 126 Programmsternen gehörte die Majorität von 50 Sternen, unter Berücksichtigung der besonderen Ultraviolett-Durchlässigkeit des Quarzspektrographen, dem Spektraltypus A_0 bis A_9 an; die Helligkeit lag im wesentlichen zwischen den Größen 4.1 bis 5.0, maximal bei 6.4. Allgemein lagen die Spektraltypen zwischen B_0 und K_5 , aber zu letzterem Typus gehörten nur wenige Sterne, weil die Dispersion des Spektrographen im roten Gebiet nicht genügend groß war, um das Kontinuum immer scharf von den Linien trennen zu können, wenn auch unter Verwendung der stärkst empfindlichen panchromatischen Platten

wie Agfa, Kodak und Ilford. Die erhaltenen 4000 Spektren wurden vom Autor selbst am Zeißschen Modell des photo-elektrischen Photometers des Physikalischen Instituts der Universität La Plata registriert. Die sonstige Aufarbeitung des umfangreichen Materials erfolgte unter der wirksamen Mithilfe von 3 Mitarbeitern.

Die Intensitätsbestimmungen im Sternkontinuum erfolgten an stets denselben 5 Stellen der Spektren zwischen $\lambda = 403 \mu\mu$ und $560 \mu\mu$, auf Grund der Skalen, die vom gleichen Stern unter Verwendung einer Reihe von Diaphragmen zur Intensitätsänderung der Sterne erhalten wurden. Die relative Änderung der Extinktion der Atmosphäre wurde auf Grund wiederholter Aufnahmen der Skalensterne in derselben Nacht abgeleitet, während die absolute Extinktion überhaupt wegfiel, weil nur Sterne bis 30° Zenitdistanz beobachtet wurden. Die Ableitung der systematischen Fehler erfolgte auf Grund des Vergleiches der nach dem Planckschen Gesetz abgeleiteten reziproken Temperaturdifferenzen zweier Sterne mit den von Temperaturbestimmungen unabhängigen Resultaten, die von H. N. Russell-Princeton aus den von E. King-Harvard College Observatory abgeleiteten Farbenindices ermittelt wurden und deshalb vor allen anderen Vergleichen den Vorzug verdienen. Die sich dann ergebenden Differenzen zeigen einen klar ausgesprochenen Gang mit dem Spektraltypus und der Größenklasse der Sterne, weshalb zur Darstellung dieser Differenzen zuerst eine lineare Abhängigkeit von der Größe und dem Spektraltypus angenommen wurde. Der Erfolg dieser Annahme zur Darstellung der Beobachtungen war überraschend vollständig, so daß sich keine Erweiterung der Annahme als nötig erwies. Eine Berechtigung zu dem gemachten Ansatz beruht auf der selektiven Abhängigkeit der Lichtabsorption der beiden Cassegrainspiegel des Reflektors von der auffallenden Intensität und Farbe; diese letztere drückt sich durch die Spektralklasse der Objekte aus, so daß der entsprechende Einfluß auf die Gleichungen sich bei der Temperaturbestimmung auf Grund des Planckschen Gesetzes unmittelbar auf die Intensitätsdifferenzen der beiden verglichenen Sterne überträgt, genauer auf die Größendifferenzen, da die Silberfläche eines Spiegels wie die photographische Emulsion, die Retina des Auges usw. In-

tensitäten in Form von Größenklassen empfindet. Die in der systematischen Differenz auftretende Differenz der Spektralklassen wurde numerisch fixiert, indem A_0 mit 0, F_0 mit +1, G_0 mit +2 usw. bewertet wurden, B_0 mit -1 usw. unter Bezifferung der Dezimalen der Spektralklassen mit den gleichen Dezimalen. Eine terrestrische Bestimmung der Absorptionskoeffizienten ist der Gefahr weiterer Fehlerquellen ausgesetzt; lästig wäre dann auch die von Zeit zu Zeit notwendige Wiederholung der Bestimmung der zeitlichen Varianten der Absorption infolge Alterns der Silberbeläge durch chemische Vorgänge, besonders im ultravioletten Spektralgebiet, indem die Erfahrung zeigt, daß die Empfindlichkeit der Versilberung 2 Jahre lang nach der Versilberung im Zunehmen begriffen ist, um alsdann langsam abzuklingen. Am sichersten bleibt die stellare Bestimmung der Absorptionskoeffizienten, indem an jedem Abend Sterne extremer Größen und Spektraltypen herangezogen werden. Die Variation von Abend zu Abend beruht einmal auf der selektiv veränderlichen Durchsicht der Atmosphäre und der dadurch bedingten oft sehr erheblichen Variation der Sternintensitäten und der selektiven Verstärkung der spezifischen Sternfarben, so daß in der Bestimmungsgleichung für die Absorptionskoeffizienten β und γ der auf den Spektraltypus bezügliche als fest angenommene Koeffizient als Repräsentant der Farbe in Strenge veränderlich ist. Infolgedessen erfährt zunächst γ an verschiedenen Abenden in der Rechnung eine scheinbare Variation gegenüber dem wahren Werte, ebenso wie β , weil die Intensität der Sterne, fixiert durch ein fest angenommenes m in der genannten Gleichung, an jedem Abend für jeden Stern verschieden selektiv variiert. Andererseits kann das variable Verhalten der Koeffizienten der Absorption reell sein, wenn es auf einem Wechsel der von Abend zu Abend veränderlichen Luftfeuchtigkeit beruht, die auch bei minimstem, direkt unmerklichem Niederschlag auf den Spiegeln eine reelle Änderung der Absorption und Reflexion von Intensität und Farbe hervorbringen muß.

Allgemein bleibt noch zu bemerken, daß die Abweichungen zwischen den, wenn auch gut dargestellten Beobachtungen und den Standardwerten in Strenge auf beiden Reihen beruhen müssen, wenn auch die Harvard-Messungen nicht direkte Tempe-

raturmessungen und deshalb von dem den La-Plata-Messungen entsprechenden Fehlersystem frei sind. In bezug auf die unseren Beobachtungsergebnissen entsprechende Genauigkeit ergibt sich das folgende Bild: mittlerer Fehler einer Gleichung zur Bestimmung einer Temperaturdifferenz $\varepsilon(\Delta m) = \pm 0^m.071$; dementsprechend ist der mittlere Fehler einer reziproken Temperaturdifferenz $\varepsilon(\Delta T) = \pm 0.117$, auf Grund von 5 Gleichungen, den oben fixierten Wellenlängen λ_1 bis λ_5 entsprechend. Ferner folgt als mittlerer Fehler der Korrektur $\Delta = \alpha + \beta \cdot m + \gamma s$, wo s den Spektraltypus fixiert: $\varepsilon(\alpha) = \pm 0.043$, $\varepsilon(\beta) = \pm 0.097$ und $\varepsilon(\gamma) = \pm 0.058$, immer auf Grund von Beobachtungstagen, an denen außer dem mehrfach beobachteten Skalenstern mindestens 4–9 Programmsterne beobachtet sind.

Zur definitiven Ableitung der reziproken Temperaturdifferenzen aus dem Gesamtmaterial wurde aus den direkt und am häufigsten in direktem Anschluß an den Mond beobachteten Sternen zunächst ein Fundamentalsystem gebildet, aus nur 9 Sternen bestehend. Der Gang dieser Differenzen der reziproken Temperaturen mit dem Spektraltyp ist ein sehr befriedigender, so daß damit die Basis des Systems der Temperaturen und seiner Erweiterung gesichert ist. Zunächst wurde noch eine wesentliche Verstärkung der Gewichte der 9 Hauptsterne gesucht und erreicht, indem weiter alle Anschlüsse der Sterne untereinander, aber ohne direkten Anschluß an den Mond berücksichtigt wurden. Gibt man jeder einzelnen Beobachtung eines Fundamentalsterns das Gewicht 1, so stieg das Gewicht im Maximum (für den Stern δ Arae (4.5, B₈) auf 51, im Minimum auf 21. Auf Grund der neuen Fundamentalwerte wurden dann die Kombinationen mit allen anderen Sternen ausgeführt, wobei sich im Minimum 4, im Maximum 16 Kombinationen ergaben. Dann wurden die Temperaturen selbst auf Grund der Wilsingschen Äquivalenttemperatur des Mondes: $T = 4300^\circ \text{K.}$, entsprechend den beobachteten nur hellen Partien des Mondes abgeleitet. Ein Vergleich der so erlangten definitiven Temperaturen mit denen meiner ersten Publikation zeigt einen gut ausgeprägten Gang mit dem Spektraltypus von B₅ bis G₅, auf der damals nicht vollständigen Berücksichtigung der systematischen Fehler beruhend.

Bezüglich der in der Literatur geäußerten Auffassung, daß die Temperaturbestimmung von dem der Beobachtung entsprechenden Kontinuum des Spektrums abhängig sei, wurden die Helligkeitsdifferenzen der den 5 Wellenlängen entsprechenden Gleichungen jedes Sterns in bezug auf die Reste zwischen Beobachtung und Rechnung in bezug auf die Existenz eines Ganges geprüft, der vorhanden sein müßte, falls die Temperaturbestimmung von dem λ -Gebiet abhängig ist. Die Reste zeigten nun aber keinen Gang, indem das Wellenlängen-Gebiet für die Untersuchung vielleicht nicht groß genug ist.

Nach der Ableitung der Temperaturen verbleibt als zweites Ziel die Ableitung der relativen spektralen Größendifferenzen in den 5 gewählten Wellenlängen, sowohl in bezug auf den Mond wie auf einen der Hauptsterne. Zu diesem Zwecke wurden die beobachteten reziproken Temperaturdifferenzen durch die wahren um die systematischen Fehler korrigierten Werte dargestellt und in die 5 Gleichungen jedes Sternes substituiert, so daß bei Vereinigung der Korrekturen mit den beobachteten Größendifferenzen auf der einen Seite der Gleichungen, die fehlerfreie Idealform mit der wahren reziproken Temperaturdifferenz auf der anderen Seite erscheint; folglich erscheinen auf der korrigierten Seite die um die systematischen Fehler verbesserten spektralen Helligkeitsdifferenzen, die gesucht werden. Diese wurden dann nach dem Spektraltypus geordnet, um versuchsweise einen spektralen Farbenindex zu schaffen, indem für jeden Stern die Differenz der Helligkeiten zwischen 2 beliebigen Wellenlängen gebildet wurde, wenn auch in Strenge ein solcher Vergleich in verschiedenen Wellenlängen nicht zulässig ist, aber es wurde ein Versuch gemacht. Die so gebildeten Differenzen zeigen einen guten Gang mit dem Spektraltypus, bis zum Typus K_5 hin, so daß der Versuch eines Vergleiches mit einer wirklichen Farbenindex-Reihe, und zwar wiederum mit der von E. King, die schon oben verwendet wurde, nahe liegt. Seine Farbenindices, bezogen auf λ (fotogr) = $425 \mu\mu$ und λ (vis.) = $529 \mu\mu$ beruhen allerdings auf den totalen Intensitäten, von den unserigen prinzipiell verschiedenen spektral-differenziellen an den Stellen $\lambda_2 = 421 \mu\mu$ und $\lambda = \frac{1}{2}(\lambda_4 + \lambda_5) = 528 \mu\mu$, so daß die Wellendifferenzen selbst unmerklich bleiben. Das Ergebnis des Vergleiches mit

E. King ist alsdann, daß keinerlei systematische Differenz zwischen den beiden Systemen besteht und die spektroskopischen Intensitätsdifferenzen als ein gleichwertiger Ersatz der üblichen Farbenindices erscheinen.

Schließlich wurde auf Grund der Differenzen der spektralen Größenunterschiede ein Standardsystem in bezug auf alle 5 Wellenlängen gebildet, wobei der Vergleichstern wie der Basis-Stern dieselbe Helligkeit haben und der Basis-Stern dem Typus A_0 angehören soll. Deshalb wurden die entsprechenden spektralen Größendifferenzen jedes Sterns gegen den Basis-Stern, d. h. $\Delta m(* - *_0)$ als Ordinaten mit der Größe m als Abszisse in jeder der 5 Wellenlängen graphisch aufgetragen, um den entsprechenden, einen guten Gang zeigenden Kurven die $m = 4.5$ als Standardgröße korrespondierende Standarddifferenz $\Delta m_0(* - *_0)$ entnehmen zu können. Die Zusammenstellung dieser Standarddifferenzen nach den Spektraltypen und den 5 Wellenlängen fixiert dann das gesuchte Standardsystem, von Wert für alle Untersuchungen, bei denen es auf den Gradienten der Intensitäten in bezug auf die Spektraltypen ankommt.

Als Ergebnis unserer Untersuchungen folgt, daß es auf dem Gebiete der spektralen Intensitätsuntersuchungen unter Benutzung eines Spektrographen mittlerer Dispersion zu einer Fortsetzung ähnlicher Art anregen dürfte, um speziell auch Temperaturvariationen von Doppelsternen und Veränderlichen infolge von Fluterscheinungen in ihren Atmosphären zu studieren, um Beiträge zur physischen Konstitution und damit zur allgemeinen Kosmogonie des Sternsystems zu ermitteln.