DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Dritter Jahrgang.

30. Juli 1915.

Heft 31.

Die Bedeutung der Spektroskopie für die Stellarastronomie

im Anschluß an W.W. Campbell: „Stellar Motions“.

Von Dr. Erwin Freundlich, Neubabelsberg.

Die Verwendung des Dopplerprinzips in der Stellarastronomie zum Studium der Geschwindigkeiten der Sterne bedeutet wohl mit den größten methodischen Fortschritt der praktischen Astronomie während der letzten zwanzig Jahre. Den außerordentlich systematischen und wohlorganisierten Arbeiten insbesondere einiger amerikanischer Sternwarten verdanken wir es, daß schon jetzt ein reiches Beobachtungsmaterial vorliegt, so daß für statistische Diskussionen schon hinreichend, allerdings noch lange nicht genug Material vorliegt. Das vorhandene Material reicht eben vorerst aus, um uns zu offenbaren, wo sich Gesetzmäßigkeiten zeigen und uns Wege zu weisen, in welchen die folgenden Untersuchungen gehen müssen, um diese Gesetzmäßigkeiten, z. B. zwischen Geschwindigkeit und Spektralcharakter der Sterne und andere mehr, uns verständlich zu machen. Da eine Besprechung dieser Verhältnisse gleichbedeutend ist mit einer Besprechung des kürzlich erschienenen Buches „*Stellar Motions*, with special reference to motions determined by means of the spectrograph“, von W. W. Campbell, dem Direktor der Lick-Sternwarte in Californien (New Haven, Yale University Press, 1913), in welchem Buche ausführlich der heutige Stand unserer Kenntnisse auf diesem Gebiete beschrieben ist, und zwar von einem Manne, dessen ganze erfolgreiche Lebensarbeit dem Studium dieser Fragen gewidmet ist, so will ich mich auch Campbells Darstellung anschließen, die nicht allein dem Astronomen, sondern jedem an diesen Problemen Interessierten außerordentlich viel Neues bringen wird.

Das erste Kapitel des Buches ist der historischen Entwicklung der Spektrographie gewidmet.

Fast gleichzeitig mit den ersten Versuchen der Astronomen, dem wohl schon bei allen erschütterten Glauben, daß die Fixsterne wirklich unveränderlich am Himmel stehen, durch planmäßiges Studium älterer und neuerer Beobachtungen den letzten Anhalt zu nehmen und durch Sternzählungen und -schätzungen die Fixsternastronomie über das Stadium einer nur anschauenden und beschreibenden Wissenschaft zu einer mit Hypothesen arbeitenden und zur äußersten Erkenntnis des Weltmechanismus strebenden Naturwissenschaft zu machen, fast gleichzeitig also mit diesen Bestrebungen von W. Herschel und anderen fällt die Epoche der großen Entdeckungen von Fraunhofer und Kirchhoff und strafte den Standpunkt von

Auguste Comte in seiner „Cours de philosophie positive“ (Paris 1830—42) Lügen: „Wir werden niemals in der Lage sein, die chemische Zusammensetzung der Himmelskörper zu studieren. . . . Unsere positive Kenntnis in bezug auf dieselben wird nur auf geometrische und mechanische Phänomene beschränkt sein. Es wird unmöglich sein, auf irgendwelche Weise Untersuchungen über ihre physikalischen, chemischen und anderweitigen Eigenschaften mit in den Kreis der Betrachtungen zu ziehen.“

Die im Spektrum eines Sternes auftretenden Linien gestatten nämlich in der Tat, über die auf dem Sterne vorhandenen Elemente ziemlich weitgehende Aussagen zu machen. Als noch fruchtbarer hat sich jedoch das eingehende physikalische Studium der Lichtemission auf den Sternen erwiesen, sowohl was die Art der Spektren betrifft, als auch was die Lage ihrer Linien relativ zu denen eines irdischen Vergleichsspektrums angeht. Ersteres hat in der Unterscheidung verschiedener Spektraltypen zu einer wesentlichen und ungemein wichtigen Charakterisierung der Sterne geführt, letzteres hat uns gelehrt, aus dem Vergleich der Lage der Sternlinien zu den entsprechenden Linien einer irdischen Lichtquelle unter Zuhilfenahme des Dopplerprinzips unmittelbar die Geschwindigkeit des Sternes im Visionsradius zum Beobachter abzuleiten. Als ein besonderer Glücksfall ist es dabei eigentlich anzusehen, daß es scheinbar außer dem Dopplereffekt keine unter gewöhnlichen Bedingungen auftretenden Effekte gibt, die in der Lage wären, die Spektrallinien wesentlich zu verschieben; wenigstens sind die unzweifelhaft festgestellten Druckverschiebungen der Spektrallinien und auch die in der letzten Zeit von der Theorie vermuteten Gravitationsverschiebungen wahrscheinlich durchweg nicht groß genug, um die Sternengeschwindigkeiten empfindlich zu verfälschen. Allerdings sind wir wohl nicht weit von der Zeit entfernt, wo auch diese Glieder Berücksichtigung verlangen werden. Viele Jahre Arbeit waren erst erforderlich, um auch die instrumentellen Verfälschungen der gemessenen Linienverschiebungen zu bestimmen bzw. zu eliminieren und, als wesentlichsten methodischen Fortschritt, auch hier die Photographie zur Hilfe zu ziehen.

Eine eingehende Besprechung der Entwicklung der photographischen Methode in der Spektrographie, der Überwindung der großen instrumentellen Schwierigkeiten, welche die Empfindlichkeit der Apparatur gegen Durchbiegung und Temperaturschwankungen am beweglichen Fernrohr mit sich brachte, von den ersten entscheidenden Resultaten von Vogel und Scheiner in Potsdam bis zu

den letzten schwierigen Untersuchungen über systematische Fehler der Spektroskopie ist der Inhalt des zweiten Kapitels.

Die ersten Jahre, nachdem die Methode praktisch genügend fundiert war, wurden dazu verwandt, bekannte Geschwindigkeiten von Himmelskörpern nach dieser neuen Methode zu bestätigen, um zugleich auch auf diese Weise systematische Unterschiede der verschiedenen Beobachtungen aufzudecken. Die Feststellung der Sonnenrotation durch direkte Vergleichung zweier Sonnenspektren, die dem Ost- und Westrand derselben entnommen waren, die Untersuchung der Rotationsgeschwindigkeit verschiedener Planeten und als eines der schönsten Resultate, der von *Keeler* erbrachte direkte Nachweis, daß der Saturnsring aus diskreten Teilchen besteht, wie *Maxwell* theoretisch gefolgert hatte, seien hier nur erwähnt.

Nach diesen ausführlichen Vorbereitungen schreitet *Campbell* im 4. Kapitel zu dem Hauptproblem der Stellarastronomie, nämlich dem Problem der Bewegung des Sonnensystems relativ zum Fixsternsystem und der Bewegung des letzteren selbst. Obwohl sein Buch speziell die Verwendung spektroskopischer Methoden behandeln soll, greift er doch hier weit zurück, um den wesentlichen Fortschritt, den in diesem Problem die Spektroskopie gezeitigt hat, um so deutlicher zu zeigen.

Schon *Herschel* hatte den Standpunkt vertreten, daß ein Teil der scheinbaren Bewegungen der Sterne am Himmel parallaktischer Natur sei, d. h. durch eine Relativbewegung des Sonnensystems gegenüber dem gesamten Fixsternsystem hervorgerufen würde, und es gelang ihm auch ziemlich sicher nachzuweisen, daß die scheinbaren Bewegungen der Sterne eine bevorzugte Richtung aufweisen, als wenn sich das Sonnensystem in Richtung des Sternbildes Herkules bewegte. *Herschels* erste Bestimmung des sog. Apexpunktes in der Nähe des Herkules im Jahre 1783 unter Benutzung von nur 13 Sternen lieferte als Koordinaten dieses Punktes $\alpha = 262^\circ$, $\delta = +26^\circ$. Es ist außerordentlich überraschend, daß sich dieses auf so geringes Material basierte Resultat so gut neueren Bestimmungen des Apexpunktes einreicht; *Campbell* erhält z. B. $\alpha = 272^\circ 0'$, $\delta = +27^\circ 26'$. Nach *Herschel* wurden von verschiedenen Seiten weitere Bestimmungen dieser wichtigen Größe vorgenommen, so auch von *Bessel* nach einer anderen Methode, die jedoch ein negatives Resultat zeitigte. Bei dem außerordentlichen Gewichte der Stimme *Bessels* kann es nicht wundernehmen, daß sein Resultat den Glauben an *Herschels* Erfolge für lange Zeit erschütterte. Daß damals in der Tat noch so abweichende Ergebnisse möglich waren, lag einerseits in dem Umstande begründet, daß *Bessel* in der von ihm verwandten Methode keine glückliche Wahl getroffen hatte, hauptsächlich aber darin, daß das den damals lebenden Astronomen vorliegende Material an Eigenbewegungen von Fixsternen ganz außerordentlich dürftig war. Alle Eigenbewegungen waren nur durch Vergleich äl-

terer Beobachtungen mit neueren gewonnen und wirklich gute ältere Beobachtungen lagen nur spärlich vor. Bei der außerordentlich großen Entfernung sogar der nächsten Sterne von uns projizieren sich ihre Bewegungen, wenn sie auch manchmal mehrere hundert Kilometer pro Sekunde betragen können, während einiger Jahrzehnte doch nur als kleine Winkeländerungen auf die Himmelskugel. Es waren also eigentlich nur solche Eigenbewegungen bekannt geworden, die zufällig groß waren. Eine solche Apexbestimmung liefert nun aber keineswegs die Bewegung der Sonne durch den Raum aller Fixsterne, sie liefert vielmehr nur die Bewegung der Sonne relativ zu dem der betreffenden Apexbestimmung zugrunde liegenden System von Fixsternen, indem man zugleich voraussetzt, daß die individuellen Bewegungen dieser Sterne nach dem Zufall orientiert sind und nur durch unsere Bewegung relativ zum ganzen System ihre scheinbaren Bewegungen eine Gesetzmäßigkeit erhalten. Eine wirklich zuverlässige Apexbestimmung setzt also voraus, daß der Astronom die Verhältnisse am Himmel wenigstens schon so genau kennt, daß er in der Lage ist, ein solches System von Sternen herauszusuchen, welches als Repräsentantensystem, gewissermaßen als Gerippe, für die ganze Sternwelt gelten kann. Wie man daraus ersieht, hätte das Herausgreifen solcher Sterne mit großen Eigenbewegungen, und zwar nur ganz weniger, zu einer groben Verfälschung des Resultates führen können, wenn zufällig diese Sterne ein System für sich gebildet hätten, dessen Mitglieder sich parallel zueinander durch den Raum bewegen. In alle diese Verhältnisse hat erst die Spektroskopie in wenigen Jahren Klarheit zu bringen vermocht. Da das Dopplerprinzip unmittelbar die Geschwindigkeit des Sternes auf die Sonne hin abzuleiten gestattet, und nicht erst auf ältere Daten zurückgegriffen werden braucht, wie bei den aus Positionsbestimmungen der Sterne gefolgerten Eigenbewegungen, kann man mit Hilfe des Spektrographen sofort brauchbares Material gewinnen. Auch sind nähere oder schneller bewegte Sterne nicht ausgezeichnet, soweit sie nicht vielleicht heller sind und darum uns genügend Licht zusenden, um ihre Spektren zu entwerfen und zu vermessen. Jedenfalls hat die spektroskopische Methode durch die außerordentlich zielbewußte und weitschauende Verwendung derselben insbesondere durch *Campbell*, den Verfasser unseres Buches, nicht allein in einigen Jahren so viel Material geliefert, daß neuere Apexbestimmungen auf zahlenmäßig breiter Basis angelegt werden konnten, sondern sie hat auch erst durch den tieferen Einblick in die Struktur des Fixsternsystems, den sie uns beschert hat, dafür Anhalte gegeben, daß das zu den Untersuchungen auserwählte System von Fixsternen wirklich als Repräsentantensystem der Fixsternwelt gelten kann. Durch die Verknüpfung bekannter Eigenbewegungen mit den spektroskopisch gemessenen Geschwindigkeiten im Visionsradius unter

gleichzeitiger Scheidung nach den verschiedenen Spektraltypen hat man ferner wichtige Anhaltspunkte für die Parallaxen der Sterne und ganzer Sterngruppen erhalten und insbesondere haben die Untersuchungen von *Kobold* und *Kapteyn* und anderer das wichtige Resultat gezeitigt, daß die Bewegungen der Sterne selbst nicht nach dem Zufall verteilt sind, sondern zwei Richtungen bevorzugt werden, wie wenn sich zwei Sternströme in der Ebene der Milchstraße durchsetzten. Noch viele weitere merkwürdigen Gesetzmäßigkeiten hat die Diskussion der Beobachtung zutage gefördert, deren Besprechung das 4., 5. und 6. Kapitel des Buches füllen. Hierzu gehört z. B. die Tatsache, daß die Sterne innerhalb einer Spektralklasse in ihrer Gesamtheit eine Relativbewegung zur Sonne aufzuweisen scheinen, wofür wir bisher keine Erklärung wissen, so daß man dazu neigt, die gemessenen Linienverschiebungen nicht als Dopplereffekte anzusprechen; ferner gehört hierzu der merkwürdige Umstand, daß die absolute Geschwindigkeit der Sterne mit fortschreitendem Spektralalter zunimmt. Die Klärung dieser Fragen wird die Astronomie noch viele Jahre beschäftigen.

Sehr eng, wenn auch bis jetzt nicht unmittelbar, mit diesen Fragen über die Translationsbewegungen der Sterne ist die Untersuchung der Bahnbewegungen derer unter ihnen verknüpft, welche Doppelsterne sind (Kap. 7, 8). Schon zu *Herschels* Zeiten wußte man, daß fast alle Sterne, die wir eng nebeneinander am Himmel stehen sehen, nicht zufällig in dieser Weise an die Sphäre nebeneinander projiziert werden, sondern tatsächlich mechanisch miteinander verbunden sind. Das Studium ihrer Bahnbewegungen und das Aufsuchen immer weiterer solcher Systeme hat lange Zeit hindurch das Interesse vieler Astronomen in Anspruch genommen. Eine ganz außerordentliche Erweiterung hat jedoch dieses Gebiet erst wieder durch die Spektroskopie erhalten, als es gelang, aus den periodischen Verschiebungen der Linien vieler Sterne ihre Duplizität auch dann festzustellen, wenn unsere Fernrohre entfernt nicht in der Lage sind, beide Komponenten des Systems zu trennen. Seit der Entdeckung des ersten spektroskopischen Doppelsternes durch *Pickering* im Jahre 1889 sind uns mehrere Hundert solcher Systeme bekannt geworden, deren Verfolgung nicht allein noch viele reizvolle und ungelöste Spezialaufgaben gebracht hat, sondern auch immerfort wichtige Beiträge zu den allgemeinen Strukturgesetzen des Fixsternsystems liefert. Es hat sich z. B. gezeigt, daß die Sterne frühen Spektralcharakters besonders häufig Begleiter haben, und daß die Umlaufzeiten dieser Systeme vorwiegend ganz kurz, von der Größenordnung weniger Tage sind. Mit wachsendem Spektralalter nehmen die Umlaufzeiten stetig zu und zugleich auch die Werte für die Exzentrizitäten der Bahnen. Alle diese Beziehungen zeigen deutlich, wie wichtig das Studium der spektroskopischen Doppelsterne für uns sein wird, wenn wir einen tieferen Einblick in die Ent-

stehungsgesetze des Weltganzen gewinnen wollen, und daß deshalb alle diese Erscheinungen, soweit wie möglich, gemeinsam mit den sonstigen Untersuchungen über die Entfernungen und Bewegungen innerhalb des ganzen Systems verfolgt werden müssen. Bis jetzt sind aber fast alle diese Gesetzmäßigkeiten noch in tiefes Dunkel gehüllt, ja es tauchen sogar wieder ernsthafte Zweifel auf, ob nicht manche der periodisch veränderlichen Linienverschiebungen fälschlich als Bahnbewegungen eines Doppelsternsystems gedeutet werden. In vielen Fällen ist allerdings das Spektrum deutlich in zwei Komponenten zerlegbar, es ist also in solchen Fällen gar nicht zu bezweifeln, daß wir es mit einem Doppelsternsystem zu tun haben, dessen Bahnbewegungen die gemessenen Linienverschiebungen hervorrufen, aber bei einer bestimmten Klasse von Sternen, deren Helligkeit zugleich periodischen Schwankungen unterworfen ist, den sogenannten Cepheiden, führt der Versuch, den Lichtwechsel mit der spektroskopisch bestimmten Bahnkurve in Beziehung zu setzen, zu noch ungelösten Rätseln. Bei diesen Sternen läßt sich nämlich die Lichtkurve nicht einfach durch die Annahme mechanisch deuten, daß sich die Komponenten des Doppelsternsystems bei jedem Umlauf eine Zeitlang gegenseitig beschatten und dadurch einen Teil ihres Lichtes selbst abschirmen. Man ist infolgedessen nicht in der Lage, für die bei den Cepheiden beobachteten Vorgänge spektroskopischer und photometrischer Natur ein plausibles mechanisches Modell zu finden. In diesen Fragen wird erst die Vertiefung der verschiedenen Beobachtungsergebnisse Klarheit schaffen. Hier ist viel zu hoffen, seitdem durch die Verwendung photoelektrischer Methoden in der Photometrie durch *Guthnick* und andere auch diese Disziplin so außerordentlich fortgeschritten ist. Allerdings sind das erst Fortschritte der allerletzten Jahre, auf die *Campbell* in seinem Buch noch nicht eingehen konnte, und die erst noch fruchtbar gemacht werden müssen. Ob dabei die deutsche Astronomie einen wesentlichen Anteil an diesen Fortschritten haben wird, hängt allerdings davon ab, ob man diesen Zweigen der Astronomie ein solches Interesse zuwenden wird, wie es ihrer tatsächlichen Bedeutung für unsere Erforschung der Gesetze der Sternenwelt entspricht. In der glücklichen Verknüpfung der alten Methoden der Astrometrie mit den neuen Methoden der Spektroskopie und Photometrie liegt der Schlüssel zu den Erfolgen der amerikanischen Sternwarten unter *Campbell*, *Pickering* und anderen während der letzten Jahre.

Das Bedürfnis nach einer Einheitshärteskala in der Röntgentechnik.

Von Privatdozent Dr. P. Ludewig, Freiberg i. Sa.

I. Wenn wir von den Zeiten sprechen hören, da unsere Grundmaße noch nicht in der heute üb-