Frühe Spektralanalyse von Fraunhofer bis Kirchhoff

Autor(en): **Fuchs, H.-U.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **32 (1974)**

Heft 142

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899651

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Vérification

Le calcul décrit ci-dessus permet une vérification du modèle. En effet, le flux total par unité de surface doit être constant en raison de notre hypothèse d'atmosphère plane et parce que nous supposons en outre qu'il n'y a pas de génération d'énergie dans l'atmosphère et que tout le transfert d'énergie se fait par rayonnement.

Nous avons ainsi calculé pour trois profondeurs optiques différentes ($\bar{\tau} = 0.1, 1., 3.$) les flux $F_\lambda(\bar{\tau})$ et intégré sur toutes les longueurs d'onde

$$F(\bar{\tau}) = \int_0^\infty F_\lambda(\bar{\tau})\, d_\lambda$$

Le flux est pratiquement nul au-delà de 8205 Å (pour en tenir compte, on peut l'approximer à une fonction de Planck) et en deçà de 911 Å (le coefficient d'absorption étant très grand).

La dernière colonne du tableau I montre les résultats obtenus. L'accord est remarquable si l'on songe aux simplifications que notre modèle utilise.

Table 1

$\bar{\tau}$	$F_\lambda(\bar{\tau})$								$F(\tau)$
	911,76—	911,76+	1800,00	3647,04—	3647,04+	5130,00	8205,84—	8205,84+	
0,1	0,0	0,2653 10^{12}	0,4175 10^{16}	0,5964 10^{15}	0,5560 10^{16}	0,2120 10^{16}	0,3860 10^{15}	0,5978 10^{15}	.1714 10^{12}
1,0	0,0	0,1130 10^{15}	0,7136 10^{16}	0,4256 10^{15}	0,5739 10^{16}	0,1554 10^{16}	0,1255 10^{15}	0,3791 10^{15}	.1814 10^{12}
3,0	0,0	0,2755 10^{16}	0,9136 10^{16}	0,5525 10^{15}	0,4647 10^{16}	0,7192 10^{15}	0,3931 10^{14}	0,8745 10^{14}	.1811 10^{12}

Bibliographie:

Barbier D., (1958), Théorie générale des atmosphères stellaires, in Handb. der Physik *50*, 274.

Bode G., 1963, Die kontinuierliche Absorption stellarer Plasmen, Kiel.

Cayrel R., 1960, Ann. Astrophys. *23*, 245.

Kourganoff, V., Busbridge I. W., 1952, Basic Methods in Transfer Problems, Oxford.

Adresse des auteurs:

A. Heck et J. Maufroid, Institut d'Astrophysique, Avenue de Cointe 5, B 4200 Cointe-Ougrée.

Frühe Spektralanalyse von Fraunhofer bis Kirchhoff

von H.-U. Fuchs, Zürich

Einleitung

Die Entwicklung der modernen Astronomie ist gekennzeichnet durch das Entstehen eines völlig neuen Zweiges dieser Wissenschaft im letzten Jahrhundert. Während man vorher die Aufgabe der Astronomie in der Beobachtung von Stern- und Planetenörtern und der Ableitung von Bewegungsgesetzen (in Zusammenhang mit Newtons Gravitationstheorie) sah, so trat neu die Erforschung des physikalischen Aufbaues der Himmelkörper hinzu. Seither hat dieser Zweig, die *Astrophysik*, ständig an Bedeutung gewonnen und bestimmt nun wesentlich das Bild der neuen Astronomie.

Ausschlaggebend und verantwortlich für diesen Aufschwung ist wohl die Entdeckung der *Spektralanalyse*. Die Tatsache, dass das Sonnenlicht durch ein Prisma in einen «Regenbogen» zerlegt werden kann, war schon seit der Zeit Newtons bekannt (um 1672; Vorarbeiten von Dominis, Marci[1])). Die Entdekkung der Fraunhofer'schen Linien im Sonnenspektrum (1814) und andere Erforschungen führten manchen Naturwissenschaftler auf den Gedanken, dass uns mit der Spektroskopie ein Mittel zur chemischen Untersuchung von Himmelskörpern in die Hand gegeben sei. Doch blieben das Vermutungen und Wunschträume, bis in den Jahren 1859–60 Bunsen und Kirchhoff die Spektralanalyse auf eine sichere Grundlage stellten. Kirchhoff hatte kurz zuvor die Natur der Fraunhofer'schen Linien erkannt. In der Folge führte die Anwendung der Spektralanalyse zu dem ungeheuren Fortschritt der Astrophysik.

Die Entdeckung der Fraunhofer'*schen Linien*

I. Newton und seine Nachfolger hatten das Sonnenlicht, das sie prismatisch zerlegen wollten, jeweils durch ein rundes Loch auf die Optik fallen lassen. Im Jahre 1802 ersetzte W. H. Wollaston (1766–1828) dieses Loch durch einen schmalen Spalt. Dabei entdeckte er mehrere schwarze Linien, die das Spektrum senkrecht durchzogen. Mit der Erklärung, diese kennzeichneten die Grenzen der verschiedenen Regenbogenfarben, gab er sich zufrieden[2]).

Etwa 12 Jahre später wurde der entscheidende Schritt gemacht. Joseph Fraunhofer (1787–1826) war seit 1806 Optiker in einem kleinen Betrieb, der durch seine Fähigkeiten bald zu Weltruf kam. Neue handwerkliche Methoden und genaue Formeln zur Linsenberechnung waren Fraunhofers erste Arbeiten. Bald beschäftigte ihn die Herstellung achromatischer Fernrohre, mit denen er den leidigen Farbfehler alter Instrumente beheben wollte. Im Laufe dieser Untersuchungen entdeckte er die nach ihm benannten schwarzen Linien im Sonnenspektrum. In seiner Abhandlung «Bestimmung des Brechungs- und

Farbenzerstreuungs-Vermögens verschiedener Glasarten, in Bezug auf die Vervollkommnung achromatischer Fernröhre»[3]) legte er die Ergebnisse seiner Forschung nieder.

Ausgangspunkt war die experimentelle Bestimmung optischer Eigenschaften verschiedener Glassorten. FRAUNHOFER schrieb[4]):

«Ich suchte anfänglich die Grösse der Farbenzerstreuung einer Glasart aus der Grösse des prismatischen Farbenbildes, welches ein Prisma (...) gab (...). Allein die Unbestimmtheit der Grenzen des Farbenbildes liess eine grosse Ungewissheit in der Genauigkeit der Resultate.»

Dann fand FRAUNHOFER ein unerwartetes Hilfsmittel:

«In einem verfinsterten Zimmer liess ich durch eine schmale Öffnung im Fensterladen (...) auf ein Prisma von Flintglas (...) Sonnenlicht fallen. Ich wollte suchen, ob im Farbenbilde von Sonnenlichte ein ähnlicher heller Streif zu sehen sey, wie im Farbenbilde vom Lampenlichte, und fand anstatt desselben mit dem Fernrohre fast unzählig viele starke und schwache vertikale Linien, die aber dunkler sind als der übrige Theil des Farbenbildes; einige scheinen fast ganz schwarz zu seyn»[5]).

FRAUNHOFER untersuchte diese erstaunliche Erscheinung. Er stellte z. B. fest, dass die Lage dieser Linien im Spektrum vollkommen fest ist, dass sie nicht von der optischen Anordnung und auch nicht von der Art des Prismas abhängt. Zudem sah er, dass diese schwarzen Linien in keiner Weise mit Farbgrenzen zusammenfallen. FRAUNHOFER begann nun, die Lage der Linien genau zu vermessen, diese zu bezeichnen und in einem Bild des Spektrums einzuzeichnen. Sie sollten ihm als Fixpunkte im Spektrum zur Bestimmung der Brechzahlen der Gläser dienen. Die Messapparatur war so hervorragend, dass er als erster entdeckte, dass die D Linie (heute: Natrium-Linie) im Sonnenspektrum doppelt ist.

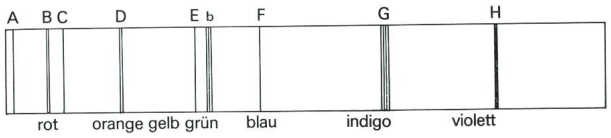


Fig. 1: Schematische Darstellung von FRAUNHOFERS Zeichnung des Sonnenspektrums.

Die wichtige Frage nach der Natur der schwarzen Linien beantwortete FRAUNHOFER folgendermassen:

«Ich habe mich durch viele Versuche und Abänderungen überzeugt, dass diese Linien und Streifen in der Natur des Sonnenlichtes liegen, und dass sie nicht durch Beugung, Täuschung usw. entstehen»[6]).

Wesentlich ist auch seine Feststellung, dass die in Emissionsspektren auftauchende helle, gelbe Doppellinie genau mit der dunkeln Doppellinie D zusammenfällt. Er schreibt:

«Lässt man das Licht einer Lampe durch dieselbe schmale Öffnung am Fensterladen einfallen, so findet man keine dieser Linien (die FRAUNHOFER'schen Linien; d. Verf.), sondern nur die helle Linie R (Natrium-Linie; d. Verf.), die aber mit der Linie D genau an einem Orte ist...»[7]).

FRAUNHOFER hat auch als erster die Spektren von Venus und einigen Fixsternen aufgenommen. Er wollte ganz sicher gehen, dass die schwarzen Linien nicht durch die Form des Spaltes im Fensterladen zustande kommen. Nach ihm wurde die Spektroskopie der Sterne erst wieder aufgegriffen, als KIRCHHOFF und BUNSEN ihre Arbeiten machten (um 1860).

«Dieselbe Vorrichtung habe ich dazu angewendet, zur Nachtzeit unmittelbar nach der Venus zu sehen, ohne das Licht durch eine kleine Öffnung fallen zu lassen, und ich fand auch im Farbenbilde von diesem Lichte die Linien, wie sie im Sonnenlichte gesehen werden (...). Ich habe die Linien D, E, b, F ganz begrenzt gesehen (...). Ich habe mich durch ungefähres Messen der Bögen DE und EF überzeugt, dass das Licht der Venus in dieser Beziehung von einerley Natur mit dem Sonnenlichte sey.

Ich habe auch mit derselben Vorrichtung Versuche mit dem Lichte einiger Fixsterne erster Grösse gemacht. Da aber das Licht dieser Sterne noch vielmal schwächer ist, als das der Venus, so ist natürlich auch die Helligkeit des Farbenbildes vielmal geringer (...). Doch scheinen diese Sterne, in Beziehung auf die Streifen, unter sich verschieden zu seyn»[8]).

Diese Erkenntnis sollte dann später eine Klassifizierung der Sterne möglich machen.

Gehversuche in der Spektralanalyse[9])

Auf zwei Wegen näherte man sich der richtigen Erkenntnis. Diese Teilung war ganz natürlich durch die beiden verschiedenen Typen von Spektren, durch Emissions- und Absorptionsspektren, wie wir heute sagen, gegeben. Der Zusammenhang dieser beiden und damit die Lösung des Problems der Spektroskopie der Gestirne wurde in endgültiger Form erst 1860 gefunden.

MELVILL, MORGAN und WOLLASTON untersuchten die Emissionsspektren. Ein solches Spektrum besteht aus einer oder mehreren farbigen Linien auf dunklem Hintergrund. Sie erscheinen z. B., wenn man eine Substanz in einer möglichst klaren Flamme verbrennt.

Was lag nun näher als anzunehmen, dass jede Substanz ihre für sie charakteristischen Linien aussendet? Aber dieses Prinzip wurde noch nicht erkannt. Verwirrend war nämlich, dass in jedem Spektrum, was man auch verbrannte, die auffällige gelbe Doppellinie erschien. Heute wissen wir, dass diese Linie vom Natrium herrührt, das in solchen Mengen und in so feiner Verteilung in der Natur vorkommt, dass es überall seine Spuren hinterlässt. Aber damals, vor 1860, wagte noch niemand so richtig, das Grundprinzip der Spektralanalyse auszusprechen. Vorarbeiten in dieser Richtung leisteten FOX TALBOT (1826), W. SWAN (um 1855), Sir JOHN HERSCHEL (1823), W. A. MILLER und WHEATSTON. Dieser letzte fand, dass die Linien im Spektrum des elektrischen Lichtbogens vom Metall der Elektroden abhängen.

Parallel dazu drängte sich die Frage auf, wie denn die FRAUNHOFERschen Linien im Sonnenspektrum entstehen. Eine Antwort war, dass sie durch Interferenzen in der optischen Apparatur entstehen. Plausibel war aber auch, dass sie durch Absorption in der

Erdatmosphäre entstehen könnten. Und tatsächlich entdeckte BREWSTER im Jahre 1832 solche «atmosphärische Linien» im Sonnenspektrum. Die meisten der schwarzen Linien konnten aber nicht auf diese Ursache zurückgeführt werden. Es blieb noch der Gedanke, dass eine Absorption in der Sonnenatmosphäre schuld sein könnte; wie wir heute wissen, ist das die richtige Antwort.

Die Frage nach der Natur der FRAUNHOFERschen Linien konnte aber so lange nicht geklärt werden, wie der Zusammenhang von hellen und dunkeln Linien, also der Zusammenhang zwischen Emissions- und Absorptionsspektrum unklar blieb.

Mehrmals wurde KIRCHHOFFS Resultat von andern Leuten beinahe vorweggenommen. 1845 führte W. A. MILLER den später entscheidenden Versuch durch, Sonnenlicht durch Flammen verschiedener Substanzen hindurchzulassen[10]). Er kam aber zu keinem Resultat.

STOKES vertrat die Ansicht, die Sonne sei von einer Natriumatmosphäre umgeben. Er vermutete auch sehr richtig das Prinzip von Emission und Absorption, wie es später von KIRCHHOFF gefunden wurde[11]). C. J. ÅNGSTRÖM verdankt man, dass er das EULERsche Prinzip der Äquivalenz von Emission und Absorption wieder in Erinnerung rief[12]).

Alle diese Vorarbeiten wären einer genaueren Untersuchung wert[13]). Es sei hier aber nur eine Arbeit von LÉON FOUCAULT (1819–1868) etwas näher betrachtet.

FOUCAULT untersuchte das Licht des Volta'schen Bogens, d. h. das Licht einer Kohlenbogenlampe. Das Spektrum, das man erhält, ist ein schwaches Kontinuum, durchzogen von hellen Linien. FOUCAULT schrieb in seiner am 20. Januar 1849 vorgelegten Arbeit[14]):

«... (Le spectre de l'arc du charbon) est sillonné, comme on sait, dans toute son étendue d'une multitude de raies lumineuses irrégulièrement groupées; mais parmi elles on remarque une ligne double située sur la limite du jaune et de l'orangé (die Natrium-Linie; d. Verf.). Cette double raie rappelant, par sa forme et sa situation, la raie D du spectre solaire, j'ai voulu rechercher si elle lui correspondait (...). J'ai fait tomber sur l'arc lui-même une image solaire (...), ce qui m'a permis d'observer à la fois superposés le spectre électrique et le spectre solaire...

(Ce procédé d'investigation) m'a montré que cet arc (...) absorbe les rayons D, en sorte que la dite raie D de la lumière solaire se renforce considérablement quand les deux spectres sont exactement superposés. Quand, au contraire, ils débordent l'un sur l'autre, la raie D apparaît plus noire qu'à l'ordinaire dans la lumière solaire et se détache en clair dans le spectre électrique (...). Ainsi l'arc nous offre un milieu qui émet, pour son propre compte, les rayons D, et qui, en même temps, les absorbe lorsque ces rayons viennent d'ailleurs».

FOUCAULT hat also, als er die Doppellinie im Bogenspektrum mit der Doppellinie D im Sonnenspektrum vergleichen wollte, den entscheidenden Versuch gemacht, Sonnenlicht durch den Lichtbogen hindurchzuschicken (vergleiche W. A. MILLER). Er machte sogar die entscheidende Entdeckung, dass der Bogen, der einerseits das Licht der Natriumlinie aussendet, andererseits auch fähig ist, dieses Licht zu absorbieren, falls ein Sonnenstrahl hindurchgelassen wird. Um hier ganz sicher zu gehen, änderte er den Versuch so ab, dass er anstelle des Sonnenspektrums ein vollkommen reines kontinuierliches Spektrum verwendete. Auch hier erschien an der richtigen Stelle die dunkle Doppellinie D.

Aber FOUCAULT ging nicht weiter in seiner Interpretation des Versuchsergebnisses. Er gab sich damit zufrieden, dass der Lichtbogen eben die Eigenschaft hat, gewisse Strahlen zu absorbieren. Er gab nur die Empfehlung an die Astronomen weiter, nun auch die Sternspektren in dieser Hinsicht zu untersuchen:

«Néanmoins ce phénomène nous semble dès aujourd'hui une invitation pressante à l'étude des spectres des étoiles, car si par bonheur on y retrouvait cette même raie (D), l'astronomie stellaire en tirerait certainement parti»[15]).

KIRCHHOFFS *und* BUNSENS *Arbeiten*

Wie KIRCHHOFF selbst in seinem Aufsatz «Zur Geschichte der Spectralanalyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre»[13]) nachwies, kam keiner der Vorläufer weit über Vermutungen der Grundprinzipien hinaus. Oder aber die entscheidenden Experimente wurden gemacht, dann blieb die Interpretation weit unter dem Möglichen (siehe FOUCAULT, dessen Arbeit KIRCHHOFF aber sogar in oben erwähntem Aufsatz noch nicht kannte). Die richtigen Versuche durchzuführen und die exakten Schlussfolgerungen daraus zu ziehen, blieb dem Chemiker ROBERT WILHELM BUNSEN (1811–1899) und dem Physiker GUSTAV ROBERT KIRCHHOFF (1824–1887) überlassen.

BUNSEN erwähnte dem Herausgeber von OSTWALD's Klassikern gegenüber, wie es zu den Entdeckungen der Prinzipien der Spektralanalyse gekommen ist[16]). Er selbst (BUNSEN) beschäftigte sich mit der chemischen Analyse, und zwar auf der Grundlage der Verfärbung, die einzelne Stoffe hervorrufen. Seine Methode, gefärbte Gläser zu verwenden, war allerdings sehr ungenau. Da machte ihn sein junger Kollege KIRCHHOFF darauf aufmerksam, dass er dasselbe mit Hilfe der spektralen Zerlegung viel besser erreichen könne. So begründeten beide zusammen die chemische Spektralanalyse[17], [18]). Im Laufe dieser Arbeit machte KIRCHHOFF die gleiche Entdeckung wie FOUCAULT vor ihm. Er liess Sonnenlicht durch eine Flamme fallen und bemerkte, dass die Absorptionslinien noch dunkler wurden. Er zog nun aber konsequent den richtigen Schluss aus seiner Beobachtung. In seinem berühmten Aufsatz «Über die FRAUNHOFER'schen Linien»[19]) legte er den Grundstein zum Verständnis der Absorptionslinien im Sonnenspektrum. In zwei weiteren Arbeiten veröffentlichte er die theoretischen Grundlagen seiner Entdeckung[20], [21]). Wie wir aber heute wissen, liefert der dort von ihm gefundene Satz keinen eigentlichen Beweis für das Problem.

Die zitierten Veröffentlichungen von BUNSEN und KIRCHHOFF[17]) und [18]) sind auf die chemische An-

wendung der Spektralanalyse ausgerichtet. Sie sind im Wesentlichen Ausführungen BUNSENS. KIRCHHOFFS Name steht aber wohl mit Recht darüber, da er entscheidende Impulse dazu geliefert hatte. Zudem weisen diese Aufsätze schon auf die Anwendung in der Astronomie hin.

Die extrem peinliche und exakte Arbeitsweise BUNSENS machte die Klärung der Widersprüche möglich, die bisher das Erkennen des Prinzips der Spektralanalyse verhindert hatten. Einmal entdeckte er, dass die Lage der hellen Linien im Emissionsspektrum unabhängig von der Temperatur ist. Er brachte verschiedenste Stoffe in verschieden heisse Flammen und stellte fest:

«Bei dieser umfassenden und zeitraubenden Untersuchung (...) hat sich herausgestellt, dass die Verschiedenheit der Verbindungen, in denen die Metalle angewandt wurden (...) und der ungeheure Temperaturunterschied (...) keinen Einfluss auf die Lage der den einzelnen Metallen entsprechenden Spectrallinien ausübt»[17]), S. 161).

Dann klärte sich unter anderem die Frage, wieso denn überall die gelbe D-Linie auftaucht. BUNSEN wies sie eindeutig dem Natrium zu, das durch seine feine Verteilung überall in der Natur nur schwer aus anderen Stoffen herauszuhalten ist.

Damit war der Grundstein zur Spektralanalyse irdischer Stoffe gelegt. Man hatte nun ein feines und eindeutiges Instrument in der Hand, Substanzen zu unterscheiden und festzustellen. Die beiden Autoren weisen denn auch auf die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten hin, die sich jetzt ergeben.

«Für die Entdeckung bisher noch nicht aufgefundener Elemente dürfte die Spektralanalyse eine nicht minder wichtige Bedeutung gewinnen (...). Dass es wirklich solche bisher unbekannte Elemente giebt, davon haben wir uns bereits zu überzeugen Gelegenheit gehabt. Wir glauben (...) mit völliger Sicherheit schon jetzt die Behauptung aufstellen zu können, dass es (...) noch ein viertes der Alkaliengruppe angehöriges Metall giebt...»[22]).

Tatsächlich beschrieben BUNSEN und KIRCHHOFF in ihrer zweiten Abhandlung[18]) *die Entdeckung der Elemente Rubidium und Caesium*. Dass die beiden die Bedeutung ihrer Entdeckung für die Astronomie erkannten, beweist folgende Stelle (22, S. 622):

«Bietet einerseits die Spectralanalyse, wie wir im Vorstehenden gezeigt zu haben glauben, ein Mittel von bewunderungswürdiger Einfachheit dar, die kleinsten Spuren gewisser Elemente in irdischen Körpern zu entdecken, so eröffnet sie andererseits der chemischen Forschung ein bisher völlig verschlossenes Gebiet, das weit über die Grenzen der Erde, ja selbst unseres Sonnensystems, hinausreicht. Da es bei der in Rede stehenden analytischen Methode ausreicht, das glühende Gas, um dessen Analyse es sich handelt, zu sehen, so liegt der Gedanke nahe, dass dieselbe auch anwendbar sei auf die Atmosphäre der Sonne und der hellen Fixsterne.»

Die Anwendung auf die Astronomie erforderte aber erst die Erkenntnis, dass die dunkeln FRAUNHOFER'schen Linien in jedem Fall den hellen Linien der Emissionsspektren entsprechen. Dieser Punkt wurde von KIRCHHOFF erkannt. Er schrieb[19]):

«Bei Gelegenheit einer von BUNSEN und mir in Gemeinschaft ausgeführten Untersuchung über die Spectren farbiger Flammen (...) habe ich einige Beobachtungen gemacht, welche einen unerwarteten Aufschluss über den Ursprung der FRAUNHOFER'schen Linien geben und zu Schlüssen berechtigen von diesen auf die stoffliche Beschaffenheit der Atmosphäre der Sonne und vielleicht auch der helleren Fixsterne.»

KIRCHHOFF führte mehrere Versuche durch, die ihm das heute wohlbekannte Prinzip aufzeigten. In eine Flamme gebrachte Substanzen absorbieren aus dem kontinuierlichen Spektrum gerade jene Strahlen, die sie selbst auszusenden vermögen. D. h. das Sonnenspektrum ist mit seinen dunkeln Linien einfach eine *Umkehrung* der zugehörigen Emissionsspektren. Einen seiner Versuche beschrieb KIRCHHOFF so[19]):

«Ich entwarf ein Sonnenspectrum und liess dabei die Sonnenstrahlen, bevor sie auf den Spalt fielen, durch eine kräftige Kochsalzflamme treten. War das Sonnenlicht hinreichend gedämpft, so erschienen an Stelle der beiden dunkeln Linien D zwei helle Linien; überstieg die Intensität jenes aber eine gewisse Grenze, so zeigten sich die beiden dunkeln Linien D in viel grösserer Deutlichkeit, als ohne die Anwesenheit der Kochsalzflamme.»

Er zog daraus den völlig richtigen Schluss[19]):

«Ich schliesse aus diesen Beobachtungen, dass farbige Flammen, in deren Spectrum helle, scharfe Linien vorkommen, Strahlen von der Farbe dieser Linien, wenn dieselben durch sie hindurchgehen, so schwächen, dass an Stelle der hellen Linien dunkle auftreten... Ich schliesse weiter, dass die dunkeln Linien des Sonnenspectrums, welche nicht durch die Erdatmosphäre hervorgerufen werden, durch die Anwesenheit derjenigen Stoffe in der glühenden Sonnenatmosphäre entstehen, welche in dem Spectrum einer Flamme helle Linien an demselben Orte erzeugen.»

Und so sagte denn KIRCHHOFF, dass es in der Sonnenatmosphäre zumindest Natrium, Kalium und Eisen geben müsse.

Die theoretische Begründung für seine Entdekkung sah KIRCHHOFF in einem Gesetz, das er in seinen beiden andern erwähnten Aufsätzen[20], [21]) bewies. Dieser Satz lautet:

«... dass für Strahlen derselben Wellenlänge bei derselben Temperatur das Verhältnis des Emissionsvermögens zum Absorptionsvermögen bei allen Körpern dasselbe ist.» ([20]), Ges. Abh., S. 567).

Dieser völlig richtige thermodynamische Satz (für dessen Beweis KIRCHHOFF den Begriff des schwarzen Körpers prägte) schien ihm den Grund für die Entstehung der Absorptionslinien anzugeben:

«Aus diesem Satze folgt leicht, dass ein glühender Körper, der nur Lichtstrahlen von gewissen Wellenlängen aussendet, auch nur Lichtstrahlen von denselben Wellenlängen absorbiert; woraus dann sich weiter ergiebt, wie aus den dunkeln Linien des Sonnenspectrums auf die Bestandtheile der Sonnenatmosphäre geschlossen werden kann»[13]), S. 634).

KIRCHHOFF überschätzte allerdings die thermodynamische Ursache der Absorption. Heute wissen wir, dass die Entstehung der FRAUNHOFER'schen Linien viel eher auf ein Resonanzphänomen zurückzuführen ist. Nichtsdestoweniger ebneten BUNSENS und KIRCHHOFFS Arbeiten den Weg für den weiteren Aufschwung der Astrophysik.

Ausblick[9, 23])

Nach 1860 konnte nichts mehr die Anwendung der Spektralanalyse auf alle Gebiete der Astronomie aufhalten. Es sei nun in Form einer chronologischen Tafel ein grober Überblick über die nachfolgenden Entdeckungen und Arbeiten gegeben.

1860 DONATI teilt die Sterne in vier Spektralklassen ein (weisse, gelbe, orange und rote Sterne)[24]). Schon nach der Temperatur geordnet!

1862 ÅNGSTRÖM sagt Wasserstoff in der Sonnenatmosphäre voraus[25]). RUTHERFORD entwirft andere Klassifikation der Sterne: Sonnenähnliche (Harvardklassifikation G–M), Siriusähnliche (A–F) und andere (B)[26]). A. SECCHI in Rom beginnt mit der Spektralklassifikation der Sterne[27]).

1864 HUGGINS untersucht die Sterne spektroskopisch und gibt Antwort auf die Frage, woraus die Sterne bestehen[28]).

1868 Indische Sonnenfinsternis. Beobachtung der Protuberanzen. Beobachtung des Dopplereffekts in Sternspektren (HUGGINS,[29])). HUGGINS spektroskopiert einen Kometen (1864 zum ersten Mal von DONATI[30],))[31]).

1869 Entdeckung des Heliums in der Korona.

1874 Spektralklassifikation von VOGEL[32]).

1876 HUGGINS photographiert das Spektrum der Wega[33]).

Das sind nur die allerwichtigsten Daten der ersten 15 Jahre Spektroskopie und Spektralanalyse in der Astronomie. Ein weiterer grosser Schritt wurde dann um die Jahrhundertwende mit der Harvard-Spektralklassifikation der Sterne gemacht[34]). Diese Klassifikation blieb bis heute, trotz vieler anderer Ansätze, die bedeutendste für die Erforschung der Sternenwelt.

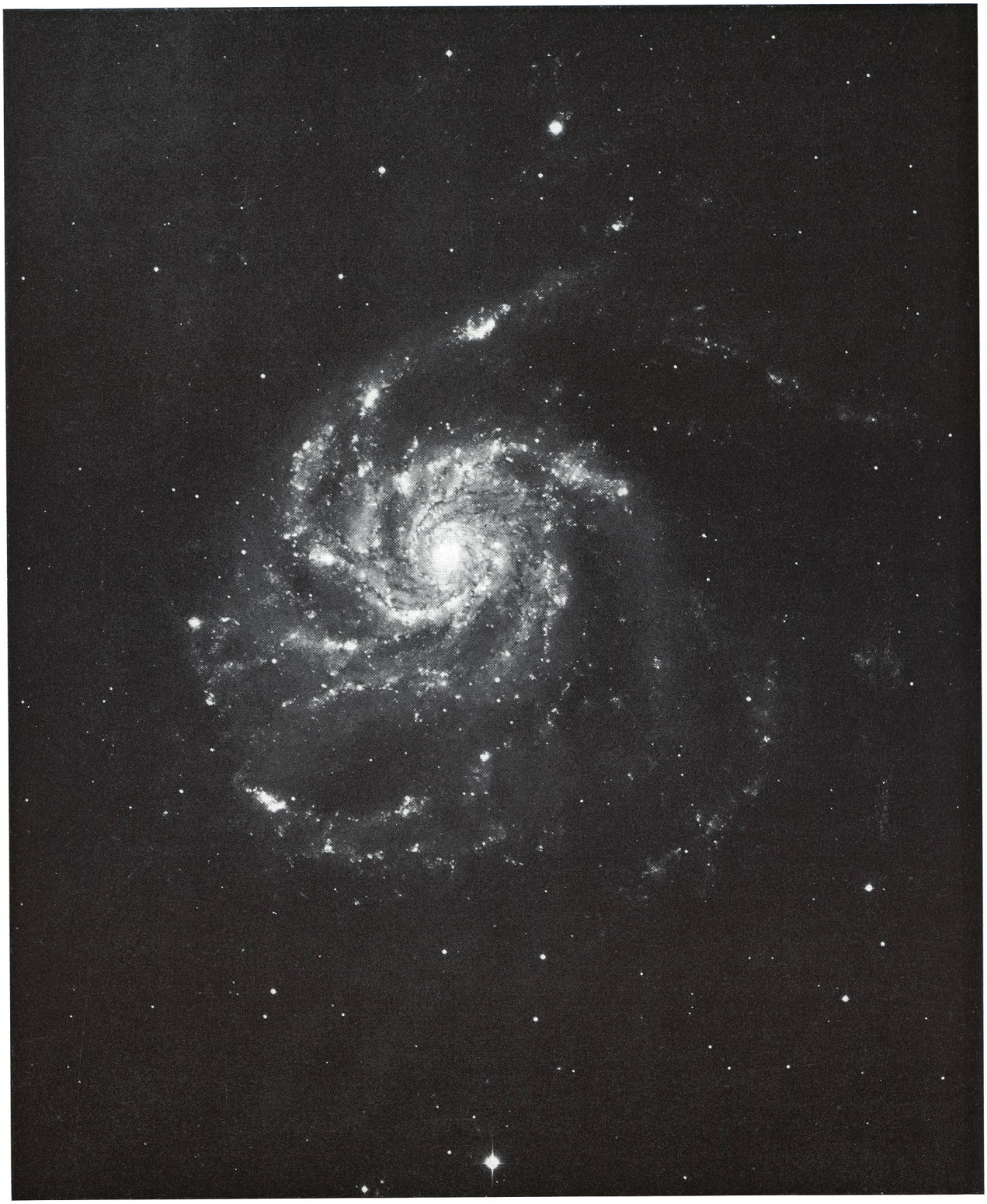
Literatur:

1) F. HUND: Geschichte der Physikalischen Begriffe. BI, Bd. 543, S. 146 ff.
2) W. H. WOLLASTON: Phil. Trans., vol. 92, p. 378.
3) J. FRAUNHOFER: Denkschriften der k. Akad. d. Wiss., 1814–15.
oder: Annalen der Physik, Bd. 56, S. 264–313, 1817.
oder: Gesammelte Schriften. Hrsg. E. LOMMEL, München 1888. S. 3.
4) J. FRAUNHOFER: Gesam. Werke, S. 3.
5) J. FRAUNHOFER: aaO. S. 10.
6) J. FRAUNHOFER: aaO. S. 12.
7) J. FRAUNHOFER: aaO. S. 13.
8) J. FRAUNHOFER: aaO. S. 25–26.
9) siehe z. B. A. M. CLERKE: Geschichte der Astronomie während des 19. Jahrhunderts. Berlin 1889, S. 172–174, 176–177, 180–183.
10) W. A. MILLER: Phil. Mag., Bd. 27 (3. Serie), S. 90.
11) STOKES: Ann. d. Phys., Bd. 118.
12) C. J. ÅNGSTRÖM: Phil. Mag., Bd. 9 (4. Serie), p. 327 (Original 1853).
13) G. KIRCHHOFF: Zur Geschichte der Spectral-Analyse und der Analyse der Sonnenatmosphäre. Pogg. Ann., Bd. 118, (1862); oder: Gesammelte Abhandlungen, J. A. BARTH, Leipzig 1882, S. 625.
14) L. FOUCAULT: Note sur la lumière de l'arc Voltaique. Z. B. in Recueil des Travaux scientifiques de FOUCAULT, Paris 1878; p. 170 (Original 1849).
15) L. FOUCAULT: aaO. p. 171.
16) OSTWALD's Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 72, S. 71 (Leipzig, 1921).
17) G. R. KIRCHHOFF, R. W. BUNSEN: Chemische Analyse durch Spectralbeobachtungen. Pogg. Ann., Bd. 110 (1860), S. 161.
18) G. R. KIRCHOHFF, R. W. BUNSEN: Chem. An. d. Spectr. beob. Pogg. Ann., Bd. 113 (1861), S. 337.
19) G. R. KIRCHHOFF: Über die FRAUNHOFER'schen Linien. Monatsber. d. Ak. d. Wiss. Berlin, Okt. 1859; oder: Ges. Abh., S. 564.
20) G. R. KIRCHHOFF: Über den Zusammenhang zwischen Emission und Absorption von Licht und Wärme. (1859), Ges. Abh., S. 566.
21) G. R. KIRCHHOFF: Über das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht (1862). Ges. Abh., S. 571.
22) G. R. KIRCHHOFF, R. W. BUNSEN: Ges. Abh. von KIRCHHOFF (13), S. 622.
23) R. H. CURTIS: Classification and Description of Stellar Spectra. Hanb. d. Astrophys., Bd. 5/1, S. 1–108 (1932).
24) DONATI: Intorno alle Strie degli Spettri Stellari. Nuovo Cimento 15, 292; Ann. d. Museo Fiorentino (1862); MN 23, p. 100 (1863).
25) C. J. ÅNGSTRÖM: Ann. d. Phys., Bd. 117, S. 296 (1862).
26) RUTHERFORD: Amer. J. of Science and Arts (2) 35, p. 71 (1862).
27) A. SECCHI: Proc. Roy. Soc., vol. 15, p. 146 (1863).
28) W. HUGGINS: Phil. Trans., vol. 154, p. 413 (1864).
29) W. HUGGINS: Phil. Trans., vol. 158, p. 529.
30) DONATI: Astr. Nachr., No. 1488 (1864).
31) W. HUGGINS: Phil. Trans., vol. 158, p. 556.
32) VOGEL: Astr. Nachr., No. 2000 (1874).
33) W. HUGGINS: Proc. Roy. Soc., vol. 25, p. 446 (1876).
34) (Draper Catalogue) Harvard Ann. 91–99 (1918–24).

Adresse des Autors:
H.-U. FUCHS, Lerchenrain 7/26, CH-8046 Zürich.

BBSAG-Bulletin No. 14

wurde am 5. April 1974 herausgegeben und enthält als 47. Liste der Minima von Bedeckungsveränderlichen 139 neue Angaben. Dieses Bulletin kann von Interessenten wie üblich bei Herrn K. LOCHER, Rebrainstrasse, CH-8624 Grüt bei Wetzikon, angefordert werden.



Beispiel einer Aufnahme mit dem im Titelbild dieser Nummer gezeigten grossen Teleskop des U. S. Naval Observatory in Flagstaff:

M 101, aufgenommen am 12. Mai 1964 auf 103 a O ohne Filter. Belichtungszeit: 2h45m. Man beachte die hervorragende Durchzeichnung auch der äusseren Teile der Spiralarme und die gestochene Schärfe der schwächsten Sterne. By courtesy of H. Ables. Copyright: U. S. Naval Observatory Photograph.