Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1891)
Heft: 1265-1278

Artikel: Forschungen auf dem Gebiete der Spektralanalyse
Autor: Huber, G.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-319043

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 16.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

G. Huber.

Forschungen auf dem Gebiete der Spektralanalyse.

Vorgetragen in der Sitzung vom 10. Januar 1891.

Erhitzt man einen festen Körper, so gerathen die kleinsten Theilchen desselben in immer raschere und raschere Schwingungen, diese bringen den umliegenden Aether in Mitschwingungen, die Aetherschwingungen pflanzen sich nach allen Seiten geradlinig fort und wenn dieselben unsere Gefühlsnerven treffen, so erregen sie das Gefühl der Wärme, es sind dunkle Wärmestrahlen, die von dem heissen Körper ausgehen, und diese Wärme heisst *strahlende Wärme.* Erhitzt man immer weiter, so wird die Wärmestrahlung immer intensiver und es tritt der Moment ein, wo die Schwingungen so rasch werden, dass sie auf unser Auge wirken, der Körper fängt an zu glühen, d. h. er beginnt Licht auszusenden.

Nach dem *Gesetze von Draper* (New-York 1847), das später von Kirchhoff in ähnlicher Weise ausgesprochen wurde, beginnen *alle* festen Körper in dem Augenblicke Licht auszusenden, wo sie die Temperatur 525° C. erreicht haben und dieses zuerst ausgestrahlte Licht ist dunkelroth. Im Jahre 1887 hat nun Prof. Weber in Zürich gezeigt (und seither wurde es von Andern bestätigt), dass die Metalle schon bei einer Temperatur von ca. 400° C. Licht aussenden und dass die Glühtemperatur bei verschiedenen Körpern ungleich hoch liegt. Nach Draper beginnt die Lichtemission mit dunkelroth, welches Licht, durch das Prisma zerlegt, ein Spektrum erzeugt, das nur Strahlen geringer Brechbarkeit, vorherrschend Roth, enthält, um sich bei steigender Temperatur des glühenden Körpers in *einseitiger* Richtung gegen das Violett, zum vollständigen Spektrum zu entwickeln. Die neuen Untersuchungen zeigen, dass diese Erscheinung wesentlich anders verläuft. Das Glühen der festen Körper beginnt mit der Aussendung eines Lichtes, dessen Farbe von Weber durch «düsternebelgrau» be-

zeichnet wurde, bei steigender Temperatur wird dieses Grau immer heller, bis die eigentliche Rothgluth eintritt.

Das Spektrum des ersten grauen Lichtes besteht aus einem grauen Streifen an der Stelle, wo im vollständigen Spektrum die gelbgrünen Strahlen liegen und mit steigender Temperatur entwickelt sich dasselbe nach *beiden* Seiten, gegen Roth und gegen Violett, bis bei der Weissgluth der graue Streifen verschwunden ist und das Spektrum die sog. sieben Regenbogenfarben: roth, orange, gelb, grün, blau, indigo und violett ohne Unterbrechung zeigt. Ein solches vollständiges Spektrum heisst ein *kontinuirliches Emissionsspektrum*, es wird erzeugt von glühenden, festen und flüssigen Körpern und von glühenden Gasen unter hohem Druck.

Das kontinuirliche Emissions- oder Ausstrahlungsspektrum enthält aber nicht blos leuchtende, sondern auch dunkle Strahlen, welche nicht mehr auf unser Auge wirken, sei es, dass die Aetherschwingungen in denselben zu rasch, also die Wellenlängen zu kurz, sei es, dass die Schwingungen zu langsam, also die Wellenlängen zu gross sind. Die Brechbarkeit der letzteren ist geringer als diejenige der leuchtenden Strahlen, sie liegen daher vor den rothen Strahlen und heissen *ultra- od. infrarothe Strahlen;* die ersteren sind von grösserer Brechbarkeit als die leuchtenden Strahlen, sie liegen also jenseits des Violetts und heissen *ultraviolette Strahlen.* Das vollständige kontiunirliche Spektrum enthält daher 3 Theile:

1) Das leuchtende farbige Spektrum.

Die grösste Intensität desselben für unser Auge liegt im Gelb. Es ist eingeschlossen zwischen den Wellenlängen:

$\lambda = 760\ \mu\mu$ für die äussersten rothen Strahlen und

$\lambda = 390\ \mu\mu$ » » » violetten Strahlen

wobei $\mu\mu$ Milliontel Millimeter bedeuten.

2) Das ultraviolette Spektrum.

Um dieses Spektrum zu untersuchen, müssen Prisma und Linsen des Spektroskopes aus Bergkrystall verfertigt sein, weil Quarz die ultravioletten Strahlen durchlässt, während Glas dieselben absorbirt. Der Reichthum an ultravioletten Strahlen ist bei verschiedenen Lichtquellen verschieden, besonders reich an solchen sind das elektrische Bogenlicht und die Induktionsfunken. Diese Strahlen haben, wie die blauen und violetten die Eigenschaft Phosphorescenz zu erregen, man kann daher diesen dunkeln Theil des Spektrums dem Auge sichtbar machen mit einer mit phorphorescirender Substanz bestrichenen Platte.

Dasselbe ist möglich durch Fluorescenz. Hält man in den ultravioletten Theil des Spektrums eine fluorescirende Substanz, so beginnt dieselbe zu leuchten, z. B. eine Uranglasplatte schön grün; man kann auch das Spektrum direkt durch ein fluorescirendes Okular betrachten. Der beste Nachweis der ultravioletten Strahlen beruht auf ihrer Wirkung auf Silbersalze, indem sie, wie das blaue und violette Licht, in hohem Grade die Eigenschaft haben, dieselben zu schwärzen, sie heissen daher auch kurz chemische Strahlen. Aus diesem Grunde untersucht man die brechbarsten Theile des Spektrums mit der photographischen Platte, welche in der neuesten Zeit, als Bromsilber-Gelatineplatte eine äusserst hohe Empfindlichkeit erreicht. Mit derselben lässt sich das ultraviolette Spektrum auf eine Strecke verfolgen, die bedeutend länger ist als das sichtbare Spektrum, bis jetzt ungefähr bis zur Wellenlänge $\lambda = 180\ \mu\mu$. Das Sonnenspektrum reicht nicht so weit, es bricht bei $\lambda = 300\ \mu\mu$ scharf ab, weil die Strahlen grösster Brechbarkeit von der Erdatmosphäre stark absorbirt werden.

3) Das ultrarothe Spektrum.

Gegen das rothe Ende des sichtbaren Spektrums nimmt eine andere Wirkung der Strahlen, *die Wärme*, zu und setzt sich weit über dasselbe hinaus in den dunkeln Theil des Spektrums fort. Das ultrarothe Spektrum enthält also dunkle Wärmestrahlen, und um dasselbe zu untersuchen, müssen die optischen Theile des Spektroskopes aus Steinsalz verfertigt sein, welches alle Arten von Wärmestrahlen durchlässt. Um den ultrarothen Theil des Spektrums wahrnehmbar zu machen, benutzt man die von Bequerel entdeckte Eigenschaft der rothen und ultrarothen Strahlen, bereits bestehende Phosphorescenz auszulöschen. In neuester Zeit stellte Abney empfindliche photographische Platten her, mit denen man das rothe und ultrarothe Spektrum ebenso gut photographisch, mit allen Einzelheiten aufnehmen kann, wie dies für die brechbaren Theile des Spektrums schon längst möglich ist. Neuerdings hat Lommel beide Methoden mit Erfolg kombinirt. Der Nachweis der Wärmestrahlung geschieht mit einem empfindlichen Thermoskop in Verbindung mit einem feinen Galvanometer. In neuester Zeit hat Langley auf dem Alleghany - Observatorium ein noch empfindlicheres Instrument verwendet, das sog. Bolometer. Dasselbe hat die Anordnung einer Wheatstone'schen Stromverzweigung und beruht auf der Veränderung des elektrischen Leitungswiderstandes mit der Temperatur. Mit einem empfindlichen Galvanometer kombinirt, zeigt das Bolometer noch ein Milliontel eines Celsiusgrades an.

Mit Hilfe des Bolometers konnte Langley bis jetzt das ultrarothe Spektrum verfolgen bis zu einer Länge, die gleich ist der zwanzigfachen Länge des sichtbaren Spektrums, bis zur Wellenlänge $\lambda = 28\ \mu$. (μ bedeutet Tausendstel Millimeter) und es ist wohl möglich, dass weiterhin ein kontinuirlicher Uebergang stattfindet zu den elektrischen Wellen, deren Länge sich nach cm., dm., m. und km. berechnet. Das Sonnenspektrum erstreckt sich nicht so weit, weil die Erdatmosphäre die Wärmestrahlen theilweise absorbirt; nach Angström rührt die Absorption namentlich von der in der Luft enthaltenen Kohlensäure und dem Wasserdampfe her, die Absorption der Kohlensäure im Ultraroth besteht aus zwei gesonderten Gebieten, deren Maxima bei $\lambda = 2{,}60\ \mu$ und $\lambda = 4{,}32\ \mu$ liegen. Im Normalspektrum der Sonne liegt das Maximum der Wärmestrahlung bei $\lambda = 0{,}62\ \mu$, worauf sie ziemlich rasch abnimmt und nach $\lambda = 3\ \mu$ ganz verschwindet.

Je kälter ein Körper ist, desto längere Wellen sendet er im Allgemeinen aus, Strahlen von der Wellenlänge $\lambda = 28\ \mu$ liefert etwa schmelzendes Eis.

Langley hat in den Jahren 1884—1887 mit seinem Bolometer die Wärmevertheilung im Spektrum des Mondes untersucht, es war dies eine höchst schwierige Arbeit. Seit John Herschel war man der Ansicht, dass ein Punkt der Mondoberfläche unter der vierzehntägigen Sonnenbestrahlung, die durch keine Atmosphäre und durch keine Wolkenbildung gehindert ist, eine sehr hohe Temperatur erreichen werde, welche diejenige des siedenden Wassers übersteige. Die bolometrische Untersuchung hat nun gezeigt, dass das Maximum der Wärmestrahlung des Mondes ganz am Ende des ultrarothen Spektrums liegt, bei den Wellenlängen 10—20 μ. Dieses Resultat lässt also schliessen, dass die Temperatur der Mondoberfläche unter dem Einflusse der Sonnenstrahlung nicht sehr von derjenigen des Gefrierpunktes unseres Wassers entfernt sein kann. Aus Langleys Beobachtungen während einer Mondfinsterniss ergiebt sich ferner, dass der Mond keine eigene Wärme hat und seine Wärmestrahlung nur durch absorbirte Sonnenwärme bedingt ist.

Nimmt man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes zu 300 000 km. an, so sind die Schwingungszahlen, d. h. die Anzahl der Schwingungen, welche ein Aethertheilchen in der Sekunde macht, für die betrachteten Grenzstellen folgende:

Für die äussersten ultrarothen Strahlen $\lambda = 28\ \mu$. Schwingungszahl **n = 11 Billionen.**

Für die äussersten rothen Strahlen $\lambda = 760\ \mu\mu$. Schwingungszahl n=770 Billionen.

Für die äussersten violetten Strahlen $\lambda = 390\ \mu\mu$. Schwingungszahl n=395 Billionen.

Für die äussersten ultravioletten Strahlen $\lambda = 180\ \mu\mu$. Schwingungszahl 1600 Billionen.

In der Akustik bezeichnet man einen Ton, der doppelt so viel Schwingungen macht als ein anderer, die Oktave desselben. Ueberträgt man diese Bezeichnung auch auf die hier in Betracht kommenden Aetherschwingungen, so umfasst das bis jetzt bekannte Spektrum, Wärme-, Licht- und chemische Strahlen zusammengenommen, etwas mehr als 7 Oktaven, von welchen das sichtbare Spektrum nicht ganz *eine* Oktave einnimmt. Der tiefste Ton, welchen das Ohr noch wahrzunehmen im Stande ist, macht in der Sekunde etwa 10, der höchste etwa 40,000 Schwingungen, in diesem Intervall liegen etwas über 12 Oktaven. Das menschliche Ohr umfasst also 12 Oktaven, während das Auge nicht ganz eine Oktave zu empfinden vermag.

Eine 2te Art von Emissionsspektra sind:

Die Linien- u. Banden- oder kannelirte Spektra.

Diese Spektra bestehen aus farbigen, hellen, durch dunkle Zwischenräume von einander getrennten Linien oder Banden; sie werden erzeugt durch glühende Gase und Dämpfe bei gewöhnlicher Dichtigkeit.

Führt man die Spektra zurück auf Bewegung, welche von den Molekülen resp. Atomen des Körpers ausgehen, so muss die Natur und Intensität der Schwingungen von dem Bau der Moleküle und den Kräften abhängen, welche zwischen den in ihnen enthaltenen Atomen wirken. Man schreibt die Linienspektra den einzelnen Atomen, die Bandenspektra den Molekülen zu.

Jeder chemisch definirte Körper, jedes Element und jede Verbindung hat daher ihr eigenes, bestimmtes Spektrum, welches bei derselben Temperatur und bei demselben Drucke immer dasselbe bleibt. Das Verbindungsspektrum lässt sich natürlich nur dann beobachten, wenn die Verbindung bei der Temperatur, bei der die Lichtemission ihres Dampfes stattfindet, noch existirt, d. h. wenn sie nicht durch chemische Processe, wie sie sich z. B. in der Flamme abspielen, in die Atome zerlegt wird.

Das Glühen der Dämpfe und Leuchten der Gase wird auf verschiedene Weise zu Stande gebracht, weil die Temperatur, bei welcher

sich die einzelnen Stoffe verflüchtigen lassen, sehr verschieden ist. Während für manche z. B. Kalium, Natrium, schon die Hitze einer gewöhnlichen Weingeistflamme ausreicht, muss für andere, besonders die schweren Metalle und deren Verbindungen, die Hitze des elektrischen Funkens oder des galvanischen Flammenbogens angewendet werden. Je nach der Art und Weise, welche von diesen 3 Methoden der Verdampfung in Anwendung kommt, unterscheidet man drei Arten von Spektra: Flammen-, Funken- und Flammenbogenspektra. Wir wollen dieselben noch kurz einzeln betrachten.

1) Flammenspektra.

Linienspektra, die mit der lichtlosen Flamme des Bunsenbrenners erhalten werden, sind die der Alkalien und alkalischen Erden: Kalium, Natrium, Lithium, Strontium, Calcium, Barium, Cäsium, Rubidium und diejenigen von Kupfer, Blei, Mangan, Thallium, Indium, und zwar am leichtesten, wenn man die leichtflüchtigen Chlorverbindungen dieser Metalle anwendet. Die Anzahl der Linien ist bei den meisten verhältnissmässig gering, Natrium z. B. zeigt eine hellgelbe Linie, $\lambda = 589{,}2\ \mu\mu$, die bei starker Zerstreuung der Prismen des Apparates sich in zwei Linien auflöst. Das Licht des glühenden Natriumdampfes ist also monochromatisch; Kalium erzeugt eine dunkelrothe Linie $\lambda = 768\ \mu\mu$ und eine schwache violette $\lambda = 404\ \mu\mu$; Thallium eine einzige grüne Linie $\lambda = 535\ \mu\mu$, durch welche es im Blei entdeckt wurde, u. s. w.

2) Funkenspektra.

Für die Schwermetalle Eisen, Nickel, Zink, Silber u. s. w. muss die grössere Hitze des elektrischen Funkens angewendet werden, um dieselben in Dampf überzuführen. Die Funken werden erzeugt durch einen Funken-Induktor und verstärkt durch einen eingeschalteten Condensator, sie schlagen vor der Spalte des Spektroskopes zwischen zwei Spitzen des betreffenden Metalls über, verdampfen dabei einen Theil desselben und erzeugen ein intensives Spektrum. Oder man wendet eine Lösung des Metallsalzes an und verflüchtigt dieselben durch Induktionsfunken, die zwischen zwei Platinspitzen überschlagen. In beiden Fällen erhält man neben dem Spektrum des verdampften Metalles auch dasjenige des Gases, in welchem die Funken überspringen, dieses muss besonders untersucht und von dem ganzen Spektrum in Abzug gebracht werden. Die Anzahl der Linien ist meist gross.

3) Flammenbogenspektra.

Die höchsten Hitzegrade, welche der zwischen zwei Kohlenspitzen erzeugte galvanische Flammenbogen giebt, wendet man an, um von einem Metalle ein möglichst vollständiges, intensives Spektrum zu erhalten, zum Zwecke objektiver oder photographischer Darstellung.

Das elektrische Kohlenbogenlicht für sich allein gibt das Spektrum der *Kohle,* das früher Kohlenwasserstoffen zugeschrieben wurde. Ausser dem Linienspektrum wird der Kohle heute allgemein, mit Ausnahme der französischen Spektroskopisten, ein Bandenspektrum zugeschrieben, welches Swan'sches Spektrum heisst. Dasselbe besteht aus fünf, aus einzelnen, nahe beisammen stehenden Linien zusammengesetzten Banden mit den Wellenlängen λ=618,7—595,4 $\mu\mu$; λ=563,3—542,5 $\mu\mu$; λ=516,4—508,2 $\mu\mu$; λ=473,6—467,7 $\mu\mu$, u. λ=428,1—423,2 $\mu\mu$. Jede dieser Linien ist nach dem Roth hin scharf begrenzt, gegen das Violett verwaschen. Ausser diesen Banden sind im elekrischen Kohlenbogenlicht noch weitere im Blau, Violett und Ultraviolett vorhanden, welche häufig neben den andern auftreten, sie werden namentlich von Liveing und Dewar dem *Cyan*, einer Kohlen-Stickstoffverbindung zugeschrieben, während andere z. B. Lockyer und Vogel sie für ein höherer Temperatur angehörendes, zweites Bandenspektrum der Kohle selbst halten. Ueberhaupt wurden über kein Element mehr Versuche ausgeführt und über kein anderes herrschen noch so viele Zweifel, als über die Kohle.

4) Gasspektra.

Um das Spektrum eines Gases, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff u. s. w. zu erhalten, schliesst man dasselbe in sehr verdünntem Zustande in einer Glasröhre, einer sogenannten Geissler'schen Röhre ein und bringt dasselbe durch hindurchschlagende Induktionsfunken zum Leuchten. Das Spektrum des Wasserstoffs z. B. zeigt vier Hauptlinien:

Eine intensiv rothe Linie, bezeichnet mit Hα. Wellenlänge λ=656,27 $\mu\mu$.

Eine grünblaue Linie bezeichnet mit Hβ Wellenlänge λ=486,13 $\mu\mu$.

» blaue » » » Hγ » λ=434,01 $\mu\mu$.

» violette » » » Hδ » λ=410,12 $\mu\mu$.

von denen die letzte nur schwer zu erkennen ist.

Sauerstoff und Stickstoff zeigen eine sehr grosse Anzahl von Linien und Banden; das Spektrum der trockenen atmosphärischen Luft ist identisch mit demjenigen des Stickstoffs. Die Kohlenwasserstoffe erzeugen alle dasselbe Bandenspektrum, welches sehr wahrscheinlich

dem Kohlenstoff selbst zukommt, es ist das bereits oben betrachtete; die drei Hanptbanden liegen im Grüngelb, Grün und Blau. Die Spektra der Kohle und des Wasserstoffes spielen eine grosse Rolle bei den kosmischen Lichtquellen, wie wir später sehen werden.

Das Leuchten verdünnter Gase in Geissler'schen Röhren beim Durchgang elektrischer Funken ist aber kein eigentliches Glühen, denn nach den Untersuchungen von Hasselberg und Wiedemann können stark verdünnte Gase unter dem Einflusse elektrischer Entladungen bei so niedriger Temperatur zum Leuchten gebracht werden, dass an ein Glühen gar nicht gedacht werden kann. Hasselberg brachte Luft bei tiefer Temperatur zum Leuchten, indem er den Induktionsstrom nicht direkt in die Geissler'sche Röhre einleitete, sondern mit Staniolbelegen nur äussere Ladung herbeiführte. Die Temperatursteigerung für jede Entladung in der Röhre betrug nur 10—15° C., so dass man bei der Unsicherheit der Messungen füglich die Frage stellen kann, ob unter solchen Umständen überhaupt eine messbare Temperatursteigerung vorgekommen ist. Dieses Leuchten verdünnter Gase heisst Elektroluminescenz.

Luminescenzerscheinungen überhaupt nennt Wiedemann solche Processe, bei denen das normale Verhältniss zwischen translatorischer und intramolekularer Bewegung nicht vorhanden, bei denen die Strahlung eine irreguläre ist, also Leuchten stattfindet bei einer Temperatur, die noch weit unter der Glühtemperatur des luminescirenden Körpers liegt. Ausser der Elektroluminescenz gehört zu diesen Erscheinungen noch die Photoluminescenz, nämlich Fluorescenz und Phosphorescenz.

Das Phosphorescenzlicht trifft man in der unorganischen wie in der organischen Welt an, bei Mineralien wie bei Insekten, Fischen, Mollusken und Vegetabilien; das Spektrum desselben ist ein kontinuirliches oder es besteht aus hellen Banden von verschiedenen Farben.

Schon früher nahm man allgemein an, dass das Phosphorescenzlicht der Leuchtkäfer keine dunkeln Wärmestrahlen enthalte, weil das Spektrum derselben schneller als dasjenige der gebräuchlichen Lichtquellen nach dem rothen Ende zu abfällt, doch wurde diese Annahme erst im vergangenen Jahre zur Gewissheit erhoben, durch die sorgfältigen Messungen der Herren Langley und Very, die sie auf dem Alleghany-Observatorium an lebenden Exemplaren eines grossen Leuchtkäfers (Pyrophorus noctilicus) aus Cuba ausführten. Das Spektrum dieses Leuchtkäfers besteht aus einem breiten Lichtband im Gelb und

Grün, das sich nur wenig noch ins Orange und Blau ersteckt, es ermangelt der sichtbaren rothen Wärmestrahlen. Um aber zu entscheiden, ob auch dunkle Wärmestrahlen vorhanden sind, untersuchte Langley das ultra rothe Spektrum mit seinen empfindlichen Bolometern und fand, dass dies *nicht* der Fall, dass die von diesem Leuchtkäfer ausgestrahlte Wärme, nach Abzug der durch seine Körperwärme bedingten, äusserst gering ist.

Das Luminescenzlicht also, sowohl das durch Elektroluminescenz in Geissler'schen Röhren, als auch das durch Phosphorescenz erzeugte, erweist sich als das *vortheilhafteste* Licht, denn es ist eine Lichtentwickelung *ohne* gleichzeitige unnöthige Wärmeentwicklung, d. h. ohne unsichtbare Wärmestrahlen. Keine der bisherigen künstlichen Lichtquellen erfüllt diese Forderung. Am grössten ist der Verlust an Energie bei den Lichtquellen niedriger Temperatur, wie bei der Kerze, Petroleumlampe und Gasflamme, bei denen er über 99% beträgt. Bei den Lichtern höherer Temperatur, wie beim Glühlicht und dem elektrischen Bogenlicht, beträgt der Verlust etwas weniger, aber immerhin noch mehr als die Hälfte. Das Maximum der Energie liegt nämlich im Spektrum der Gasflamme bei der Wellenlänge von $\lambda = 1{,}6\ \mu$, beim elektrischen Bogenlicht bei $\lambda = 1{,}16\ \mu$, im Normalspektrum der Sonne bei $0{,}62\ \mu$ und im Leuchtkäferspektrum bei $0{,}57\mu$, also ganz im leuchtenden Theile desselben.

Die obigen Messungen Langleys zeigen also, dass die Natur in den Leuchtkäfern das billigste Licht hervorbringt, mit einem etwa vierhundertsten Theil der Kosten an Energie, die in der Kerzenflamme verbraucht wird und mit einem nur unbedeutenden Theile der Kosten des elektrischen Lichtes. Da nun Zoologen und Physiker annehmen, dass das Licht der Leuchtkäfer nicht unzertrennlich an einen sog. Lebensprocess gebunden, sondern als Resultat gewisser chemisch-physikalischer Vorgänge zu betrachten ist, so ist die Hoffnung vorhanden, dass einst die industrielle Herstellung eines solchen Lichtes gelingen wird, jedenfalls werden diese verbesserten Lichtquellen in der grossen Gruppe der Luminescenz-Erscheinungen zu suchen sein.

Eine Elektroluminescenzerscheinung in grossem Maassstabe ist nach neuerer Theorie das *Nordlicht*. Bekanntlich nimmt man an, die Sonne sei ein elektrischer Körper, welcher auf die Glieder des Sonnensystems elektrische Wirkungen ausübt. Diese elektrische Fernewirkung ist um so grösser; je thätiger die Sonne ist, dies offenbart sich am auffallendsten im Auftreten von Sonnenflecken und mit diesen erreichen

die Nordlichter ihr Maximum an Häufigkeit und Intensität. Die durch die Sonne erzeugte Elektricität bedingt nun in den obersten verdünnten Luftschichten der Erdathmosphäre elektrische Entladungen, die unter Lichterscheinungen stattfinden, ähnlich wie in Geissler'schen Röhren. Vogel sieht daher das Nordlichtspektrum als eine Modifikation des Luftspektrums an, dasselbe stimmt nur desshalb nicht mit dem Luftspektrum überein, weil die elektrischen Entladungen in den höchsten Luftschichten bei so tiefer Temperatur stattfinden, wie wir sie in den Geissler'schen Röhren nicht herstellen können. Doch konnte Hasselberg bei dem oben erwähnten Versuche im Luftspektrum bereits 3 Nordlichtlinien nachweisen und Wüllner hat 1889 in demselben, bei Anwendung einer weiten Röhre mit Längsdurchsicht, die grüne Nordlichtlinie $\lambda = 557\ \mu\mu$ gefunden.

Eine weitere Elektroluminescenzerscheinung ist sehr wahrscheinlich das Eigenlicht der Kometen. Das Spektroskop hat gezeigt, dass die Lichterscheinung der Kometen ganz ähnlich ist derjenigen, welche man an den Geissler'schen Röhren, durch welche elektrische Entladungen gehen, beobachtet. Dass die Dämpfe, welche den Hauptbestandtheil des Kometen bilden, eine sehr geringe Dichte und tiefe Temperatur besitzen, ist durch verschiedene Thatsachen bestätigt. In neuester Zeit hat A. Berberich die Helligkeitserscheinungen des Encke'schen Kometen, über den mehr als hundertjährige Beobachtungen vorliegen, mit den von R. Wolf gegebenen Epochen der elfjährigen Sonnenfleckenperiode verglichen. Dabei hat sich das merkwürdige Resultat ergeben, dass die Helligkeits-Maxima und Minima des Kometen zusammenfallen mit den Maxima und Minima der Sonnenthätigkeit. Alle diese und auch andere Thatsachen, so das Ausstossen eines Schweifes in der von der Sonne abgewendeten Richtung, bei der Annäherung zu derselben, sprechen dafür, dass die Sonne auch elektrische Wirkungen auf die Kometen ausübt, wobei die von der Sonne erzeugte Elektricität in den verdünnten Gasen des Kometen Entladungen bewirkt, welche das Luminescenzlicht verursachen. Auf die Spektralerscheinungen werden wir später zu sprechen kommen.

Kehren wir nun wieder zurück zu den Linienspektra.

Die Spektra der chemischen Stoffe erzeugen nicht nur helle, sondern auch dunkle aktive Linien, die mit den früher besprochenen Methoden nachgewiesen werden können. Die Metalle Cadmium, Zink und Aluminium sind besonders reich an ultravioletten Strahlen. Die äusserste bekannte ultraviolette Linie des Cadmiums liegt bei $\lambda = 214$

$\mu\mu$, die des Zinks bei λ=202 $\mu\mu$ und die des Aluminiums (dreifach) λ=186 $\mu\mu$, die letztere liegt also ganz am Ende des bis jetzt bekannten Spektrums.

Im Spektrum eines Metalles erscheinen die farbigen Linien an bestimmten Stellen einer für jedes Spektroskop willkürlich gewählten Skala und eine und dieselbe farbige Linie hat im Vergleiche zu den übrigen in den verschiedenen Apparaten eine sehr ungleiche Stellung, je nach der zerstreuenden Kraft desselben. Dagegen ist die Wellenlänge jeder Linie eine feste, unveränderliche Grösse, die von dem angewendeten Apparate unabhängig ist. Aus diesem Grunde reduzirt man die Skalenangaben jedes Spektroskopes auf Wellenlängen; die Reduktion geschieht in der Weise, dass man mit einem Beugungsspektrum die Wellenlängen einer Anzahl der wichtigsten Linien bestimmt und mit Hülfe derselben für jedes Instrument eine Wellenlänge-Curve konstruirt, mit welcher für jede Stelle der Skala die zugehörige Wellenlänge auf graphischem Wege gefunden werden kann.

Schon Kirchhoff und Bunsen haben nachgewiesen, dass der Hitzegrad, bei dem ein Stoff verflüchtigt wird, Einfluss hat auf den Charakter des Spektrums, indem bei steigender Temperatur die Zahl und Helligkeit der Linien sich ändert, die Lage derselben aber ungeändert bleibt, das Spektrum nähert sich immer mehr dem kontinuirlichen, in welches es bei genügend hoher Temperatur übergeht. Natrium z. B. in der Flamme des Bunsenbrenners verdampft, strahlt einfarbig gelbes Licht aus, welches im Spektroskop eine gelbe Linie gibt; im elektrischen Flammenbogen treten eine ganze Reihe von Linien auf und Natriumdampf von der Temperatur 2500° C. strahlt weisses Licht aus von jeder Brechbarkeit, das ein kontinuirliches Spektrum erzeugt.

Zu ähnlichen Resultaten führten die Untersuchungen der Spektra glühender Gase, in welchen die Existenz von Spektra verschiedener Ordnung sich offenbarte. Bei hohem Drucke geht das Linienspektrum des Gases nach und nach in das kontinuirliche über; der Wasserstoff z. B. gibt bei einem Drucke von nicht ganz zwei Atmosphären, ein blendend helles kontinuirliches Spektrum.

Nach dem *chemischen Gesetze der Periodicität* von Mendelejeff und Lothar Meyer, lassen sich die Eigenschaften der Elemente und ihrer Verbindungen als periodische Funktionen der Atomgewichte darstellen. Schon bald nach Entdeckung der Spektralanalyse hat man desshalb begonnen zu versuchen, ob sich nicht auch eine solche Peroidicität im Auftreten der Spektrallinien zeige, ob sich nicht die Linien

als harmonische Obertöne einer Grundschwingung darstellen liessen. Verschiedene angestellte Versuche führten aber nicht zum Ziele, bis Schuster 1880 die Möglichkeit einer solchen Darstellung mit Hülfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung nachwies und der erste, welcher dann ein wirkliches Gesetz für die Lage der Linien in einem Spektrum fand, war Balmer. Dieser zeigte im Jahre 1885, dass sich die Linien des Wasserstoffs aus der Grundschwingung $\lambda = 364{,}56$ durch die Formel $\lambda = 364{,}56 . \frac{n^2}{n^2 - 4}$ darstellen lassen, wenn man in derselben für n alle ganzen Zahlen setzt von $n = 3$ bis $n = 16$, die 4 Hauptlinien ergeben sich für $n = 3, 4, 5, 6$.

Zum Zwecke, auch für die Spektra der Metalle eine Gesetzmässigkeit für die Lage der Linien zu finden, untersuchten Kayser und Runge in Hannover in den Jahren 1887—1890 die Alkalien. Dieselben wurden in möglichst reinem metallischen Zustande im elektrischen Kohlenbogenlicht verdampft und die Wellenlängen der in grosser Anzahl auftretenden Linien sehr genau bestimmt, mit Hülfe eines, mit einem Rowland'schen Concavgitter erzeugten Beugungsspektrums. Das Gitter enthielt 790 Furchen auf einen Millimeter und hatte den Krümmungsradius 6,5 m. Die von ihnen erhaltenen Resultate sind in Folgendem angegeben:

Alle Alkalien besitzen eine Anzahl sehr leicht umkehrbarer Linien, die in Paaren auftreten, und berechnet werden können aus zwei Formeln von der Form $\lambda^{-1} = A + B n^{-2} + C n^{-4}$, in welchen A, B, C für jedes Element bestimmte Constante darstellen, und der Ordnungszahl n der Reihe nach die ganzzahligen Werthe $n = 3, 4, 5, \ldots$ bis zu einer bestimmten Grenze beizulegen sind; der reciproke Werth λ^{-1} der Wellenlänge bedeutet die Schwingungszahl. Diese Linien bilden die Hauptserie, mit Ausnahme von Lithium ist für ihre Linienpaare die Differenz der Schwingungszahlen der vierten Potenz der Ordnungszahl umgekehrt proportional. Die niedrigste existirende Ordnungszahl ist stets $n = 3$, nur bei Caesium ist das entsprechende Linienpaar nicht beobachtet, da es im Ultraroth liegt.

Ausser den Hauptserien haben die Alkalien Nebenserien, und zwar Rubidium, Lithium, Caesium deren zwei, Natrium und Kalium deren vier; je zwei Nebenserien sind kongruent, so dass sie auch als eine Serie von Paaren aufgefasst werden können. Die Linien der verschiedenen Nebenserien haben sehr deutlich verschiedenes Aussehen, indem die der einen Serie nur unscharf gegen Roth, die der andern unscharf

nach beiden Seiten sind. Die Linien der Nebenserien werden durch dieselbe Formel, nur mit verschiedenen Constanten A, B, C dargestellt. Die Schwingungsdifferenz aller aufeinander folgender Paare der Nebenserien ist für jedes Element die gleiche, und die Atomgewichte der Elemente wachsen ein wenig stärker als die Quadratwuzeln aus den Schwingungsdifferenzen.

Vergleicht man die verschiedenen Alkalien miteinander, so tritt ausser dem homologen Bau sehr auffallend hervor, dass sowohl die Haupt- als die Nebenserien mit wachsendem Atomgewicht nach der Seite der längeren Wellen, nach Roth, hinrücken, wie schon früher bekannt war. Für die im violetten Theile des Spektrums gelegenen Linien von Calcium, Strontium, Barium, Gallium, Indium, Thallium gilt dasselbe. Die Auffindung solcher Gesetzmässigkeiten ist noch immer mit grossen Schwierigkeiten verknüpft, da die Spektra der meisten Stoffe sehr komplizirt und mit der Temperatur veränderlich sind.

Anwendung der Linien- und Bandenspektra macht man zur chemischen Analyse, indem in Gemischen aus verschiedenen Metallsalzen die einzelnen Metalle sich leicht und sicher erkennen lassen aus ihren bestimmten, charakteristischen Linien. Diese Methode bietet die Vortheile, dass sie schnell ausgeführt, bequem und sehr empfindlich ist. Die empfindlichste spektroskopische Reaktion zeigt Natrium, von dem noch ein $\frac{1}{3.000.000}$ eines Milligrammes nachgewiesen werden kann. Vermittelst dieser Analyse sind seit dem Jahre 1860 schon verschiedene neue chemische Elemente, wie Caesium, Rubidium, Thallium, Indium, Gallium, Samarium, Scandium entdeckt worden.

Der *quantitativen chemischen Analyse* wurde durch die neuen Untersuchungen von Hartley eine ganz neue Bahn geöffnet, mit Hilfe der Spektralphotographie, indem er die Funkenspektra von Lösungen bei Anwendung von Graphitelektroden photographirte. Die Methode ist sehr empfindlich in Bezug auf die einzelnen Metalle, sie verspricht für die quantitative Analyse von grossem Vortheil zu werden, da jede Lösung bei gegebener Bedingung ein bestimmtes Spektrum liefert. Für Magnesium z. B. ist die Empfindlichkeit unbegrenzt, man kann bei bestimmter Funkenstrecke noch $\frac{1}{10.000.000}$ mgr. auffinden, bei Vergrösserung derselben lässt sich die Empfindlichkeit noch um das 10,000fache steigern. Dabei haben, mit nur wenig Ausnahmen, die nichtmetallischen Bestandtheile eines Salzes keinen Einfluss auf die Funkenspektra der Lösungen.

Eine der wichtigsten Verwendungen, welche das Spektroskop in der Technik gefunden hat, ist diejenige bei der Bereitung des Gussstahls nach dem Bessemer-Prozess. Um Gussstahl zu erhalten wird dem Gusseisen sein Gehalt an Kohlenstoff entzogen, indem ein Luftstrom durch das in einem birnförmigen Gefässe, dem Convertor, enthaltene geschmolzene Eisen getrieben wird, der dabei die in diesem enthaltene Kohle oxidirt und verbrennt. Die Hitze des geschmolzenen Gusseisens ist so gross, dass die glühenden Dämpfe aller damit verbundenen Stoffe an der oberen Oeffnung der Bessemer-Birne in Gestalt einer Flamme emporschlagen. Untersucht man diese mit einem einfachen Spektroskop mit gerader Durchsicht, so sieht man, dass die Linien des Spektrums im Laufe des Prozesses der Erhitzung bedeutend und regelmässig sich ändern und diese regelmässige Aenderung der charakteristischen Linien gibt ein Mittel den Augenblick zu erkennen, in welchem die Oxidierung aufhören und das Gebläse abgestellt werden muss. Die richtige Erkennung dieses Momentes ist sehr wichtig, da ein Versehen um einen Bruchtheil einer Minute hinreichend sein kann, um 100 Zentner Gussstahl zu verderben.

Die dritte Hauptart von Spektra sind

Die Absorptionsspektra.

Geht weisses kontinuirliches Licht, bevor es durch ein Prisma zerlegt wird, durch ein durchsichtiges, festes, flüssiges oder gasförmiges Medium, so können einzelne Farben oder Strahlen von bestimmter Brechbarkeit in demselben verschluckt, absorbirt, werden. Diese fehlen dann in dem vorher kontinuirlichen Spektrum, so dass dasselbe nur einzelne Farben zeigt, oder dass es von dunklen Linien und Bändern durchzogen erscheint. Ein solches Spektrum, welches aus dunkeln Linien und Bändern auf hellem, farbigem Grunde besteht, heisst ein Absorptionsspektrum.

Lässt man z. B. ein Bündel weissen Sonnenlichtes durch eine rothe Glasplatte gehen, so absorbirt diese meist alle Farben mit Ausnahme des Roth; das Spektrum zeigt nur einen rothen Streifen. Durchsetzt das weisse Licht, bevor es ins Spektroskop tritt eine Flüssigkeit, z. B. einen Auszug des Chlorophylls (Blattgrün), so entsteht im rothen, gelben und grünen Theile des Spektrums je ein dunkles Band und das Blau und Violett verschwinden zum grössten Theil. Die grüne Chlorophylllösung absorbirt aber nicht jede Art von Roth und Gelb,

sondern nur rothe und gelbe Strahlen bestimmter Brechbarkeit, die übrigen Strahlen des weissen Lichtes lässt sie ungehindert durchgehen. Uebrigens ist das Aussehen des Spektrums sehr bedingt von der Concentration der Lösung und der Dicke der durchlaufenen Schicht.

Die grüne Farbe der Pflanzen ist nichts anderes, als der zurückgestrahlte Rest des weissen Sonnenlichtes, von dem in dem chlorophyllhaltigen Zellgewebe der Pflanzen die oben bezeichneten Strahlen absorbirt wurden; desshalb zeigt das von grünen Pflanzentheilen reflektirte Licht das Absorptionsspektrum des Chlorophylls.

Ein bekanntes Absorptionsspektrum ist dasjenige des Blutfarbstoffs (Oxyhämoglobin), welches in der gerichtlichen Medicin eine wichtige Verwendung gefunden hat.

Ziemlich frisches, stark mit Wasser verdünntes Blut zeigt im Gelb und im Anfange des Grün zwei dunkle Absorptionsbanden, die durch einen Streifen geschwächtes Grün getrennt sind, Blau und Violett sind fast ganz ausgelöscht. Diese Blutreaktion ist sehr empfindlich. Löst man getrocknetes Blut in Pulverform in Wasser, dass nur eine schwach gelbliche Lösung entsteht, so zeigt diese doch deutlich die beiden dunkeln Blutbänder. Ist die vom weissen Lichte durchlaufene Blutschicht dicker, so werden die Bänder dunkler, bei 1,5 cm. Schichtdicke zeigen sich noch deutliche Reste der Bänder, wenn das Auge im durchgelassenen Licht keine Färbung und höchstens im auffallenden eine Spur gelblichen Tones wahrnehmen kann. Mit einem empfindlichen Instrumente, dem Mikrospektroskop, hat Sorby noch $\frac{1}{1000}$ Gran Blutfarbstoff nachgewiesen. Die spektroskopische Reaktion des Blutes zeigt sich noch bei mehrere Jahre alten Blutflecken.

Mit dem Spektroskope lässt sich auch der Nachweis einer Kohlenoxydgasvergiftung leisten, wie solche z. B. öfter bei zu frühem Schliessen von Ofenklappen entstehen und häufig den Tod durch Ersticken zur Folge haben. Schüttelt man nämlich gewöhnliches, reines Blut mit etwas Schwefelammonium, so wird das Oxyhämoglobin zu Hämoglobin reduzirt und die beiden dunkeln Blutbänder vereinigen sich zu einem einzigen breiten, verwaschenen Streifen. Ist aber das Blut mit nur wenig Kohlenoxydgas imprägnirt, so vereinigen sich die beiden Blutbänder *nicht*. Auch diese Reaktion ist sehr empfindlich und zeigt sich noch lange Zeit nach dem Tode einer infolge von Kohlenoxydvergiftung verstorbenen Person. Ganz neulich hat man auch gefunden, dass Vergiftung durch Blausäure sicher durch das eigenthümliche Blutspektrum nachgewiesen werden kann.

Auch der Wein erzeugt dunkle Absorptionslinien. Sorby hat mit dem Mikrospektroskop aus der Anzahl und Lage dieser Linien das Alter und den Jahrgang des Weines innerhalb seiner zehn ersten Jahre mit Sicherheit bestimmt. Vogel hat mit einem gewöhnlichen Taschenspektroskop die Absorptionsspektra verschiedener Farbstoffe und die Anwendung derselben zur Entdeckung von Weinverfälschungen studirt, doch steht die spektroskopische Untersuchung des Weines bis jetzt der chemischen noch bedeutend nach, dasselbe ist der Fall bei dem Bier.

Von den Absorptionsspektra macht man ferner Anwendung in der Farbstofffabrikation und zur chemischen Analyse. Eine vollkommen farblose Lösung von Dydim z. B. gibt ein charakteristisches Absorptionsspektrum aus einer Reihe sehr scharfer dunkler Linien bestehend, welche sich bereits zeigen, wenn nur ganz geringe Mengen einer Dydimverbindung in der Lösung enthalten sind und zur Erkennung desselben führen.

Die grössten Triumphe aber hat die Spektralanalyse gefeiert auf dem Gebiete der Astronomie, in ihrer Anwendung zur

Untersuchung der Natur der Himmelskörper.

Eine Reihe der wichtigsten astronomischen Entdeckungen knüpft sich lediglich an die Benützung physikalischer Forschungsmethoden, besonders an die Spektralanalyse und an die Einführung der Photographie in die astronomische Beobachtungskunst. Auch die erstere hat sich die Photographie dienstbar gemacht, indem in neuester Zeit die Sternspektra am schärfsten und genauesten werden bei photographischer Aufnahme. Eine Reihe von Sternwarten beschäftigen sich gegenwärtig fast ausschliesslich mit Astrophysik, und es vergeht beinahe keine Woche, in der nicht neue Entdeckungen gemacht werden.

Die hier vorkommenden Spektra sind meist Absorptionsspektra und bei denselben handelt es sich fast ausschliesslich um die Absorption in Gasen und Dämpfen.

Das Kirchhoff'sche Gesetz: Das Verhältniss zwischen dem Emissions- und dem Absorptionsvermögen einer und derselben Strahlgattung ist für alle Körper bei derselben Temperatur dasselbe (für die Lumineszenzerscheinungen hat das Gesetz nur beschränkte Gültigkeit), lautet, auf die Gase und Dämpfe übertragen: Jedes Gas und jeder Dampf

absorbirt bei ihrem Durchgange genau diejenigen Lichtstrahlen, welche sie selbst in glühendem Zustande aussenden.

Der glühende Natriumdampf z. B. gibt als Spektrum unter gewöhnlichen Verhältnissen eine hellgelbe Linie, welche in einem stark zerstreuenden Spektroskope sich in zwei nahe beisammen stehende Linien auflöst, er strahlt also nur einfarbiges gelbes Licht aus. Lässt man nun das intensiv weisse Licht des elektrischen Flammenbogens, welches im Gesichtsfelde des Spektroskopes ein kontinuirliches Spektrum erzeugt, durch Natriumdampf hindurchgehen, so löscht der letztere aus dem weissen Lichte gerade nur diejenigen gelben Strahlen aus, welche er im glühenden Zustande selbst ausstrahlt, d. h. diejenigen an der Stelle der Natriumlinie; alle andern Strahlen dagegen, die rothen, orangefarbigen, die übrigen gelben, die grünen, blauen und violetten Strahlen gehen ungehindert und ungeschwächt hindurch. Im durchgelassenen Lichte fehlen daher jene gelben Strahlen und es entsteht genau an der Stelle der hellen Natriumdoppellinie eine *dunkle* Doppellinie im hellen kontinuirlichen Spektrum.

In derselben Weise konnten Kirchhoff und Bunsen durch Lithium-, Kalium-, Calcium-, Strontium- und Bariumdampf aus dem kontinuirlichen Spektrum genau dieselben hellen, farbigen Linien auslöschen und in dunkle verwandeln, welche von diesen Dämpfen selbst in der Glühhitze durch Ausstrahlung erzeugt werden. Cornu hat dieselbe Verwandlung der Linien auch für Blei, Silber, Zink, Kupfer und andere Metalle gezeigt.

Weil bei diesen Versuchen die hellen Linien der Gasspektra sich in dunkle verwandeln, dagegen die dunkeln Theile der Gasspektra von dem kontinuirlichen Spektrum des weissen Lichtes hell und farbig beleuchtet erscheinen, mithin das ganze Spektrum in Bezug auf die Beleuchtung umgekehrt erscheint, so nennt man die ganze Erscheinung nach Kirchhoff «die Umkehrung der Linien oder die Umkehrung des Spektrums». Diese Absorptionsspektra heissen daher auch Umkehrungsspektra. Die Umkehrung der Linien gelingt um so sicherer, je höher die Temperatur des weissglühenden Körpers, welcher das kontinuirliche Spektrum erzeugt, und je niedriger die des umkehrenden Dampfes ist.

Solche Umkehrungsspektra zeigen nun die meisten Himmelskörper. Aus der Anzahl und Lage der Absorptionslinien im Spektrum eines Gestirnes und aus der Uebereinstimmung — Coincidenz — dieser dunkeln Linien mit den hellen Linien im Spektrum bekannter

irdischer Stoffe, welche Coincidenz man nachweist durch gleichzeitige Uebereinanderlagerung beider Spektra, kann man schliessen, dass jene Stoffe in Dampfform als absorbirende Medien in der Atmosphäre des betreffenden Weltkörpers vorhanden sind und auf diese Weise lässt sich die chemische Natur desselben spektroskopisch bestimmen. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, dass auch die Erdatmosphäre, besonders der in ihr enthaltene Wasserdampf, eine grosse Anzahl von Absorptionslinien erzeugt, die besonders zu bestimmen und in jedem speziellen Falle von dem ganzen Spektrum zu subtrahiren sind. Der Lichtstrahl also, welcher der einzige Bote ist, der uns Kunde gibt von dem Dasein der uns sichtbaren unermesslich fernen Weltkörper, offenbart uns zugleich ihre physische Beschaffenheit.

Das grösste Interesse bot von jeher unsere Licht- und Wärmequelle,

Die Sonne.

Entwirft man durch ein stark zerstreuendes Prisma in einem dunkeln Zimmer auf einem weissen Schirm ein Spektrum der Sonne, so zeigt sich der helle, farbige Grund desselben durchzogen von unzählig vielen dunkeln Linien, deren wichtigste ihr Entdecker *Frauenhofer* (1814) mit den grossen Buchstaben des Alphabetes bezeichnet hat und die nach ihm Frauenhofer'sche Linien heissen. Von diesen dunkeln Linien liegen A, B und C im Roth, D im Gelb, E im Grün, F im Grünblau, G im Blau und die Doppellinie H im äussersten Violett. Die Linien A und B coincidiren mit Sauerstofflinien, C, F und eine vor G liegende Linie mit den Wasserstofflinien Hα, Hβ und Hγ, D mit der Natriumlinie und E, G und H mit Eisen- und Calciumlinien. Frauenhofer'sche inaktive Linien gibt es auch im ultrarothen und im ultravioletten Theil des Sonnenspektrums, die wichtigsten im letzteren sind mit K, L, . . . bis T bezeichnet; beide Theile lassen sich nach den früher angegebenen Methoden untersuchen.

Die Frauenhofer'schen Linien dienen als Marksteine im Sonnenspektrum, desshalb hat man die Wellenlängen derselben genau bestimmt, vermittelst eines, mit einem feinen Gitter erzeugten Beugungsspektrums.

Dieses hat vor dem prismatischen Brechungsspektrum den Vortheil, dass es unabhängig ist von dem fremden Einflusse, welchen die Natur der Substanz, aus welcher die Prismen bestehen, auf die Vertheilung der Farben ausübt. Angström in Upsala hat auf diese Weise die

Wellenlängen von beinahe tausend Frauenhofer'schen Linien bis auf ein Zehnmilliontel eines Millimeters genau bestimmt, eine grosse Anzahl der übrigen durch Interpolation berechnet und aus allen diesen Linien blos nach der Grösse ihrer Wellenlänge das Sonnenspektrum zusammengestellt, er nennt es mit Recht das normale Sonnenspektrum. Zu jeder neu gefundenen Linie kann sofort die Wellenlänge gefunden werden, wenn man dieselbe nach ihrer relativen Lage zu bekannten Linien in das Normalspektrum einträgt.

Kirchhoff stellte auf Grund seiner spektroskopischen Untersuchungen eine Theorie über die Beschaffenheit der Sonne auf, welche von den meisten Physikern anerkannt und durch weitere Forschungen vervollständigt worden ist.

Nach der Ansicht Kirchhoffs ist die Sonne ein in höchster Glühhitze befindlicher Ball. Der Sonnenkern ist von so hoher Temperatur und steht unter so hohem Drucke, dass eine Vorstellung von seinem Aggregatzustande kaum möglich ist. Jedenfalls aber ist die äusserste Schicht, welche den Sonnenrand bildet, gasförmig, von derselben aus findet hauptsächlich die Ausstrahlung von Energie und Licht statt, deshalb heisst sie die *Photosphäre.* In Folge der Ausstrahlung enthält sie glühende Condensationsprodukte, die cyrrhusartige Wolken bilden, welche also ein kontinuirliches Spektrum erzeugen. Auf diese folgt eine sehr dünne Schicht von Metalldämpfen, ihre Temperatur ist geringer als die der Photosphäre, in dieser Schicht findet die Absorption, also die Umkehrung der hellen Linien in dunkle, Frauenhofer'sche Linien statt, dieselbe ist sehr wahrscheinlich nur der oberste Theil der Photosphäre. Die Frauenhofer'schen Linien sind aber nicht absolut dunkel, denn sie empfangen das Licht, das die glühenden Metalldämpfe selbst ausstrahlen, nur ist dieses schwächer als dasjenige der Photosphäre, die Linien erscheinen daher nur dunkel aus Contrast gegen die hellere Umgebung.

Im Spektrum dieser Dampfschicht findet man die meisten der irdischen Metalle von geringem Atomgewicht: Natrium, Calcium, Barium, Mangan, Nickel, Zink, Eisen u. s. w., bei dem Eisen z. B. hat man die Coincidenz von etwa zweitausend Frauenhofer'schen Linien mit hellen Eisenlinien nachgewiesen, von Metallen mit hohem Atomgewicht hat man nur Blei gefunden. Bei einer totalen Sonnenfinsterniss blitzen im Momente der vollständigen Verfinsterung bei radial zur Sonne gestelltem Spalt die Metalllinien nur einen Augenblick hell auf, denn es kommt dann nur das Licht der glühenden Metalldämpfe in das

Spektroskop, bei Sonnenlicht können diese Linen nicht hell gemacht werden.

Auf diese dünne Schicht glühender Metalldämpfe folgt eine mächtige, 1000 — 1500 Meilen hohe Schicht glühender Gase, die wesentlich aus Wasserstoff besteht und die wegen ihrer röthlichen Färbung die *Chromosphäre* heisst. Richtet man die Spalte des Spektroskopes auf den äussersten Sonnenrand und wendet starke Zerstreuung an, um das noch in die Spalte gelangende diffuse Tageslicht abzuschwächen, so erhält man ein helles Linienspektrum derselben. Dieses Spektrum der Chromosphäre zeigt gewöhnlich die hellen Linien des Wasserstoffs, des Heliums und Coroniums, letztere noch zwei unbekannte Stoffe, welche sich in der äussersten Sonnenatmosphäre finden; das Helium offenbart sich durch eine gelbe Linie, nahe bei der Natriumlinie D, sie hat die Wellenlänge $\lambda = 587{,}6\ \mu\mu$ und das Coronium durch eine grüne Linie $\lambda = 531{,}7\ \mu\mu$.

Infolge heftiger Eruptionen und Strömungen, sog. *Protuberanzen*, wird die Chromosphäre zu ungeheuren Höhen 10—20.000 und mehr Meilen emporgerissen, in denselben werden auch die Dämpfe einiger Metalle mitgeführt, so dass die Linien derselben ebenfalls hell erscheinen. Von den 273 dabei beobachteten Linien gehören die meisten dem Eisen an, daneben kommen noch vor Natrium, Calcium, Barium, Titan, Mangan, Chrom und Magnesium. Bei weit geöffneter Spalte erhält man an Stelle jeder der Wasserstofflinien, in der Farbe der betreffenden Linie, ein Bild der ganzen Protuberanz, die manigfaltige Gestalten zeigt, wobei dieselbe photographirt werden kann.

Betrachtet man die Sonnenoberfläche durch ein mit einem Blendglas versehenes Fernrohr, so bemerkt man auf derselben meist einzelne dunkle und hellere Stellen, die ersteren heissen Sonnenflecke, die letzteren Sonnenfackeln; diese sind in den meisten Fällen die Begleiter der ersteren. Die Natur der Sonnenflecke, welche in der Häufigkeit ihres Auftretens nach R. Wolf eine elfjährige Periode befolgen, ist noch nicht vollständig aufgeklärt. Im Spektrum derselben sind die Absorptionslinien zahlreicher, breiter und dunkler als im Spektrum der übrigen Sonnenscheibe und zwar ist die Zahl der stark verbreiterten Metalllinien viel grösser im Minimumfleck, als in dem der Maximumsperiode (nach Perry und Cortie). Die verstärkte Absorption betrifft namentlich die Linien der Metalle Eisen, Calcium, Titan, Natrium, Barium und Mangan, so dass sich schliessen lässt, dass die den Sonnenfleck bildende Substanz vorzugsweise aus Dämpfen

jener Metalle bestehe, die in sehr verschieden dichten Schichten und in sehr verschiedenen Verhältnissen auftreten. Daneben spielt der Wasserstoff eine Hauptrolle, es zeigen sich manchmal die Linien desselben hell, von den über dem Fleck lagernden glühenden Gasmassen herrührend. Das Spektrum eines Sonnenfleckes ist ferner der Breite nach von dunkeln Banden durchkreuzt, welche beweisen, dass es innerhalb desselben ein Gebiet allgemeiner Absorption gibt, die sich auf alle Strahlen erstreckt. Dieses beweist ohne Zweifel, dass die Temperatur innerhalb des Fleckes niedriger ist als die der umgebenden Region der Sonnenoberfläche.

Nach der spektroskopischen Untersuchung lässt sich die Bildung eines Sonnenflecks dadurch erklären, dass nach einer heftigen Gaseruption, Protuberanz, die infolge der Expansion abgekühlten Gasmassen in die Photosphäre niedersinken und dampfförmige Niederschläge bilden, wobei vielleicht noch chemische Verbindungen stattfinden. Die schweren Theile dieser Niederschläge bilden an den Stellen grösster Verdichtung den Kern des Flecks, die weniger dichten Randtheile desselben den Halbschatten, die sog. Penumbra; aber auch der dampfförmige Kern lässt, obgleich er fast schwarz erscheint, noch sehr viel Sonnenlicht hindurch, denn ein solcher gibt noch immer ein Spektrum mit allen Einzelheiten des vollen Sonnenlichtes. Mit dieser Erklärung der Sonnenflecke stimmt auch die Erscheinung überein, dass die genannten Metalldämpfe, welche die stärkste Absorption verursachen, auch diejenigen sind, welche in den Protuberanzen in die Höhe gerissen werden.

Ueber das Vorkommen des Metalloides Stickstoff auf der Sonne ist man noch sehr im Zweifel. Auffallender Weise zeigen sich nämlich im Sonnenspektrum einige der früher erwähnten Cyanbanden und es war Lockyer, der zuerst darauf aufmerksam machte, dass unter den Frauenhofer'schen Linien sich die Cyanbande bei $\lambda = 422$ finde. Später wurden von Vogel und Andern noch weitere Cyanbanden gesehen, von derjenigen bei $\lambda = 388$ ist jede Kohlenlinie im Sonnenspektrum vertreten. Diese merkwürdige Thatsache ist noch nicht aufgeklärt. Da Cyan sich schon bei einigen 1000^0 dissocirt, während die Temperatur der Sonne viel höher angenommen wird, so kann es nicht die Kohlen-Stickstoffverbindung sein, die wir als Cyan bezeichnen und andererseits kann das schwere Cyangas nicht in der äussersten, kühleren Sonnenatmosphäre über dem leichten Wasserstoffgas schweben.

Der Sauerstoff offenbart sich im Sonnenspektrum durch eine Anzahl dunkler Frauenhofer'schen Linien A, B, α, . . . und eine

Reihe von Absorptionsbanden im Roth, Gelb, Grün, Blau u. s. w., die bisher noch nicht aufgelöst werden konnten. Bis zum letzten Jahre war man nicht sicher, ob die Entstehung derselben der absorbirenden Wirkung der Sonnen- oder derjenigen der Erdatmosphäre zuzuschreiben ist. Schon längst hat man nämlich die Wahrnehmung gemacht, dass die dunkeln Sauerstoffbanden bei hohem Stand der Sonne fehlen und nur beobachtet werden bei tiefem Stand, wo das Sonnenlicht einen weiteren Weg durch die Erdatmosphäre zurückzulegen hat, und dass auf Bergen die Intensität der Sauerstofflinien geringer ist als in der Ebene. Besonders verdient um die Lösung dieser höchst wichtigen Frage machte sich der Astronome Janssen. Als seine Beobachtungen im Jahre 1864 auf dem Faulhorn keinen entschiedenen Aufschluss gaben, operirte Janssen mit künstlichem Licht. Im Oktober 1864 liess er auf dem einen Ufer des Genfersees einen grossen Holzstoss anzünden, dessen Flamme in der Nähe beobachtet ein kontinuirliches Spektrum gab, auf dem andern Ufer dagegen beobachtet in einer Entfernuug von 21 km. traten dieselben dunkeln Linien auf, die Brewster im Spektrum der untergehenden Sonne beobachtet hatte. Um die Absorption des Wasserdampfes allein zu finden, untersuchte Janssen in seinem Laboratorium in Paris spektroskopisch das Licht, das durch einen 37 m. langen, mit Wasserdampf gefüllten Cylinder gestrichen war, es traten zwischen dem äussersten Roth und der D-Linie Gruppen von dunkeln Linien auf, welche denen der untergehenden Sonne ganz ähnlich waren. In neuester Zeit machte er noch Versuche über die Absorption der Erdatmosphäre zwischen dem Eiffelthurm als Lichtemissionsstation und dem Observatorium zu Meudon als spektroskopische Station. Im Jahre 1888 beobachtete Janssen das Sonnenspektrum auf Grands-Mulets am Mont-Blanc in einer Höhe von 3050 m., und endlich im August 1890 auf der Spitze des Mont-Blanc in einer Höhe von 4800 m., wobei besonders die letzteren Beobachtungen eine über Erwarten grosse Verminderung der Intensität der dunkeln Frauenhofer'schen Linien A, B, α und der Banden, welche dem Sauerstoff angehören, zeigten, die Liniengruppe B war ganz verschwunden. Aus allen den seinigen und den von Andern gemachten Beobachtungen zieht Janssen den Schluss, dass die Absorptionslinien und Banden des Sauerstoffs *unzweifelhaft* der Erdatmosphäre angehören und Sauerstoff in der Sonnenatmosphäre nicht zu finden sei, wenigstens *nicht* in dem Zustande, welcher ihn befähigt auf das Licht die Absorption auszuüben, die er in unserer Erdatmosphäre hervorbringt.

Das Auftreten der atmosphärischen Absorptionslinien im Sonnenspektrum gestattet mit Vortheil eine Anwendung in der *Meteorologie zur Wetterprognose.* Der Umstand, dass bei Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfes die tellurischen Linien im Spektrum dunkler und breiter werden, besonders die Gruppen in der Nähe der D-Linie, lässt naturgemäss umgekehrt aus der Intensität der bekannten Wasserdampflinien, der sog. Regenbänder, auf die Luftfeuchtigkeit schliessen; je grösser aber die Luftfeuchtigkeit, um so grösser ist unter sonst gleichen Umständen die Neigung zu Niederschlägen. Zur Beobachtung dient ein gewöhnliches Spektroskop à vision directe. Das Spektroskop gewährt den Vortheil, dass es Aufschluss verschafft über die Gesammtabsorption des Wasserdampfes in der ganzen Linie vom Beobachter bis zur äussersten Grenze der Atmosphäre in der Richtung, nach welcher dasselbe gerichtet wird, also auch über jene Luftschichten, in welchen die Regenbildung stattfindet, während das Hygrometer, dessen sich die Meteorologen bedienen, nur Aufschluss gibt über die Luftfeuchtigkeit in der Umgebung des Instrumentes.

An der äussersten Peripherie der Sonnenatmosphäre befindet sich die *Corona*, ein in silberweissem Lichte strahlender Kranz von wechselnder Gestalt, der zur Zeit einer totalen Sonnenfinsterniss die schwarze Mondscheibe wie mit einem Heiligenschein umgibt. Das Hauptspektrum derselben ist ein schwaches, kontinuirliches, *ohne* Frauenhofer'sche Linien, die Corona besitzt also eigenes weisses Licht, Janssen, Draper und andere beobachteten aber auch Frauenhofer'sche Linien in demselben, was darauf hindeutet, dass sie auch Sonnenlicht reflektirt. Daneben zeigt das Spektrum der Corona noch einzelne helle Linien, deren Intensität, Zahl und Lage fast bei jeder totalen Sonnenfinsterniss wieder eine andere ist, unter diesen befindet sich gewöhnlich die helle, grüne Linie $\lambda = 531{,}7\ \mu\mu$, welche dem schon erwähnten unbekannten Stoffe Coronium angehört. Bei Gelegenheit der Sonnenfinsterniss von 1886 sah Dr. Schuster eine Reihe von Linien im Blau und Violett, deren Vergleichung mit den Linien irdischer Elemente ein negatives Resultat ergeben hat. Die stärkste Coronalinie war 1886 diejenige von der Wellenlänge $423{,}28\ \mu\mu$, die wahrscheinlich identisch ist mit der oft von Joung in der Chromosphäre gesehenen Linie $\lambda = 423{,}2\ \mu\mu$.

Die Natur der Corona ist noch nicht aufgeklärt, ziemlich sicher ist zunächst nur, dass die Ursache, welche eine elfjährige Periode der Sonnenflecken bedingt, in ähnlicher periodischer Art auch die Corona

beeinflusst. Das kontinuirliche Spektrum deutet darauf hin, dass neben gasförmigen Materien noch flüssige oder feste Theilchen, kosmischer Staub, vorhanden ist, welcher die Ausstrahlung des weissen Lichtes und die Reflexion des Sonnenlichtes bewirkt. Nach der einen Ansicht (Schuster, Joung) fallen die einzelnen Theilchen dieses Staubes als Meteore in die Sonne, oder kreisen als Meteorstaubring um dieselbe; nach einer andern Ansicht (Schäberle) wird diese feine, staubförmige Materie in Strömen von der Sonne selbst fortgeschleudert, durch Kräfte, welche senkrecht zur Sonnenoberfläche wirken.

Die Planeten unseres Sonnensystems zeigen das Sonnenspektrum mit den Frauenhofer'schen Linien; bei jedem einzelnen treten noch besondere dunkle Linien und Bänder hinzu, die durch Absorption entstehen bei der Reflexion des Sonnenlichtes in der Atmosphäre und an der Oberfläche des betreffenden Planeten, nur bei den beiden äussersten Planeten, *Uranus* und *Neptun*, lassen sich wegen der grossen Lichtschwäche des Spektrums die Frauenhofer'schen Linien nicht erkennen, dagegen mehrere dunkle Banden. Taylor zu Ealing glaubt in ihrem Spektrum helle Streifen gefunden zu haben, so dass er diesen beiden Planeten, sowie auch Jupiter, ein geringes Selbstleuchten zuschreibt. In den Spektra der grossen Planeten, Merkur, Venus, Mars, Jupiter etc., treten eine Anzahl tellurischer Absorptionslinien und Bänder auf, welche auf das Vorhandensein von Wasserdampf in ihren Atmosphären schliessen lassen, insbesondere lassen die spektroskopischen Beobachtungen erkennen, dass Mars eine Atmosphäre besitzt, deren Beschaffenheit von derjenigen der Erdatmosphäre nur wenig abweicht. Das Spektrum des Mondes ist in vollkommenster Uebereinstimmung mit dem der Sonne, es muss aus dieser Abwesenheit von besonderen Absorptionslinien der Schluss gezogen werden, dass der Mond keine Atmosphäre hat, die sich in unsern Spektroskopen durch Absorptionslinien bemerklich macht. In den Atmosphären des Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun ist ein noch unbekannter Stoff vorhanden, der sich durch starke Absorption gewisser rother Strahlen dokumentirt.

Das Spektrum der Fixsterne.

Aehnlich wie unsere Sonne zeigen die Fixsterne Umkehrungsspektra und durch Vergleichung mit den Linien irdischer Elemente findet man, dass sie im wesentlichen auch dieselbe chemische Zusammensetzung haben. Die Messung und Einzeichnung der Spektrallinien der

Fixsterne ist eine sehr mühevolle und subtile Arbeit, diese wurde nun bedeutend vereinfacht und viel genauer, nachdem es gelang, die Spektra direkt auf photographischem Wege aufzunehmen. Je nach der Zahl, Intensität und Breite der dunkeln Linien theilt man dieselben in verschiedene Klassen und Gruppen ein.

Die Eintheilung des italienischen Astronomen Secchi umfasst vier Haupttypen, diesen schliesst sich ein fünfter Typus an, aus wenigen Sternen bestehend, in deren Spektrum die Wasserstofflinien hell erscheinen.

Die Eintheilung von Vogel in Potsdam, die von den meisten Gelehrten acceptirt ist, enthält drei Klassen mit Unterabtheilungen, wobei die dritte Klasse den dritten und vierten Secchi'schen Typus vereinigt umfasst.

I. Klasse. Meist weisse Sterne. Die Metalllinien sind äusserst schwach oder sie sind gar nicht zu erkennen, die brechbareren Theile des Spektrums sind besonders intensiv. Die Sterne dieser Klasse besitzen die höchst vorkommenden Temperaturen.

a. Die dunkeln Wasserstofflinien sind breit und intensiv (Sirius, Wega).

b. Die dunkeln Wasserstofflinien fehlen (β, γ, δ, ε Orionis).

c. Die Wasserstofllinien und die Heliumlinie erscheinen hell; nur einzelne wenige Sterne (β Lyrae, γ Cassiopejae).

II. Klasse. Meist gelbliche Sterne, vom Typus unserer Sonne. Die Metalllinien treten sehr deutlich auf, die brechbareren Theile des Spektrums sind matt gegenüber der Klasse I, in den weniger brechbaren Theilen zuweilen schwache Banden.

a. Die sehr zahlreichen Metalllinien besonders intensiv im Gelb und Grün, Wasserstofflinien meist kräftig (Capella, Arcturus Aldebaran).

b. Ausser den dunkeln Linien und einzelnen schwachen Bändern noch mehrere helle Linien (T Coronae).

III. Klasse. Enthält die röthlichen Sterne und die sehr lichtschwachen Sterne unter sechster Grösse. Die Spektra zeigen nebst dunkeln Linien, noch zahlreiche dunkle Bänder in allen Theilen des Spektrums. Die brechbareren Theile sind auffallend schwach, die Sterne dieser Klasse enthalten dichte Atmosphären.

a. Die auffallendsten Bänder sind nach dem Violett zu dunkel und scharf begrenzt, nach dem Roth zu schwach und verwaschen (α Herculis, α Orionis).

b. Die dunkeln breiten Bänder sind umgekehrt wie bei a., gegen das Roth scharf begrenzt und gegen das Violett verwaschen. (Nur schwächere Sterne bekannt.)

Die Wasserstofflinien vieler Sterne der Klasse I a sind in der Mitte keineswegs absolut dunkel, vielmehr findet dort eine merkliche Lichtwirkung statt, die unter Umständen so weit gehen kann, wie z. B. bei ξ Orionis, dass die sehr breiten und verwaschenen Linien sich kaum noch von dem kontinurlichen Spektrum abheben. Es ist klar, dass die bisher unbekannte Erscheinung einen Uebergang zu den bis jetzt ganz isolirt dastehenden Spektren der Gruppe I c bildet, in welchen die Wasserstofflinien und D_3 (Helium) hell auftreten, indem sich zwischen Typus I c und I a durch geeignete Wahl der Individuen dieselbe Brücke bilden lässt, wie zwischen I a und II a. Und gerade wie im letzteren Falle dieser Uebergang erklärt ist durch eine allmählige Abkühlung, durch einen Prozess also, der allen Sternen gemeinsam ist, so gilt diese Erklärung auch für den Uebergang von I c zu I a, so dass wir zu dem Schlusse geführt werden, dass der Typus I c dem Anfangsstadium der Sternentwicklung näher steht als I a. Ausser den oben erwähnten Kennzeichen der Spektra der Fixsterne besitzen viele derselben noch besondere Eigenthümlichkeiten, auch lassen sich die Spektra der verschiedenen Typen nicht scharf von einander trennen, sondern es lassen sich ungefähr alle Sterne mit ihren Spektra in eine Reihe unterbringen, in welcher die nebeneinanderliegenden Spektra kaum von einander verschieden sind. Nur die Sterne des vierten Secchi'schen Typus, oder III b, Sterne unter sechster Grösse, deren Spektrum im Wesentlichen aus drei hellen durch dunkle Zwischenräume getrennten Bändern besteht, im Gelb, Grün und Blau, reihen sich nicht an, die Sterne dieses Typus haben keine Aehnlichkeit mit den andern; ihre Anzahl ist gering.

Die Spektra gewähren ein ausgezeichnetes Mittel, um die Energie der verschiedenen Wellenlängen bei Sternen von verschiedenem Typus zu studieren. Bereits sind befriedigende Messungen zu diesem Zwecke angestellt worden, und es steht zu hoffen, dass es möglich sein wird, sie auf absolutes Maass zu reduciren durch Vergleich mit den Resultaten, welche mittels des Bolometers für die Vertheilung der Energie im Sonnenspektrum erhalten worden sind.

Eine Erscheinung eigener Art sind

Die neuen oder temporären Sterne.

Von Zeit zu Zeit, aber immer nur in sehr grossen Intervallen, sieht man plötzlich am Himmel einzelne Sterne aufflammen, dann aber in kürzerer oder längerer Zeit wieder verschwinden. Nach einer Zusammenstellung von A. v. Humboldt lassen sich in den letzten 2000 Jahren nur 21 solche Ereignisse verzeichnen, von denen die berühmtesten sind der Stern in der Cassiopeja von Tycho de Brahe (1572), der an Glanz der Venus gleich kam und nach 17 Monaten spurlos dem blossen Auge verschwand, und der von Kepler (1604) am rechten Fuss des Schlangenträgers beobachtete, der an Glanz Jupiter übertraf und nach 15 Monaten teleskopisch wurde. Eine charakteristische Eigenthümlichkeit aller dieser Sterne ist, dass sie meist sehr rasch an Lichtstärke gewinnen, aber langsam und unregelmässig abnehmen.

Auch in neuester Zeit, seit Kenntniss der Spektralanalyse, sind einige solche Ereignisse eingetreten. In der Nacht vom 12. Mai 1866 wurde ein neuer heller Stern in der nördlichen Krone zum ersten Mal beobachtet, am 24. November 1876 ein solcher im Schwan und 1885 ein dritter im Andromeda Nebel, alle drei nahmen rasch an Helligkeit ab.

Das Spektrum solcher neuer Sterne zeigt neben dem kontinuirlichen, von dunkeln Linien durchzogenen Spektrum, wie es die Sonne und die übrigen Sterne zeigen, noch eine Anzahl heller Linien, die vorherrschend dem Wasserstoff und Stickstoff angehören, es sind also auf diesen Sternen grosse glühende Gasmassen vorhanden. Ueber die Ursache dieses plötzlichen Aufleuchtens wusste man früher absolut keine Erklärung und auch gegenwärtig herrschen darüber noch verschiedene Ansichten. Unzweifelhaft handelt es sich nicht um Neubildung von Sternen, da in verschiedenen Fällen bereits vor dem Aufleuchten des Sternes an seiner Stelle ein kleiner Stern gesehen worden ist, sondern um physikalisch-chemische Prozesse. Nach der Hypothese von Zöllner bilden sich infolge der Wärmeausstrahlung nach und nach Abkühlungsprodukte, die schliesslich die ganze Oberfläche mit einer kältern, weniger oder nicht mehr leuchtenden Schicht bedecken. Durch plötzliches Zerreissen derselben, durch Gaseruptionen muss die eingeschlossene Gluthmasse hervordringen, zugleich können noch chemische Prozesse die Wärme- und Lichtausstrahlung erhöhen, der Körper wird wieder für einige Zeit leuchtend. Nach der Ansicht von Klinkerfues

wird das Aufleuchten eines neuen Sternes hervorgerufen durch einen uns unsichtbaren Begleiter, der im Perihel einen geringen Abstand von demselben erreicht. Durch die anziehende Wirkung des Begleiters wird im Perihel die dichte, absorbirende atmosphärische Hülle des Hauptsterns beseitigt, gleichzeitig werden durch die Wirkung dieser Anziehung gewaltige Eruptionen glühender Gasmassen aus dem Innern des Sternes verursacht. Unter diesen Umständen tritt zunächst Aufhellung des kontinuirlichen Spektrums ein, das durchzogen ist von dunkeln Linien und Bändern, herrührend von den noch bedeckten Theilen der Oberfläche des Sternes, dann folgen helle Linien, welche von den glühenden Gasmassen erzeugt werden. Mit zunehmender Entfernung des Begleiters vom Perihel, bedeckt sich die Oberfläche des Sternes wieder mit der absorbirenden Schicht und die Helligkeit des Spektrums nimmt rasch ab, die hellen Linien treten zunächst deutlicher hervor, weil die leichten glühenden Gase über der absorbirenden Schicht sich befinden, sie verschwinden dann allmählig mit abnehmender Temperatur dieser Gasmassen. Die Beobachtungen des neuen Sternes im Andromedanebel sprechen nach Vogel für die letztere Ansicht, allerdings erklärt auch diese nicht alle Erscheinungen.

Von den bisher betrachteten Himmelskörpern gänzlich verschiedene Gebilde sind

Die Nebelflecke.

Das Fernrohr zeigt uns Stellen, welche mit mattem Glanze die Dunkelheit des Himmelsgrundes unterbrechen und die man mit dem Namen Nebelflecke bezeichnet hat. Sie kommen in allen Grössen und Formen vor; zu den bekannteren gehören der grosse Orion- und der Andromedanebel, der spiralförmige Nebel in den Jagdhunden, der Ringnebel in der Leier u. s. w. Bis jetzt sind schon viele tausende derselben bekannt, die beiden Herschel allein entdeckten und beobachteten mit ihren Riesenteleskopen einige tausende. Viele dieser Nebelflecken lassen sich in eine sehr grosse Anzahl einzelner Sterne auflösen, diese führen den Namen *Sternhaufen*, aber ein grosser Theil bleibt noch übrig, bei denen nicht die geringste Spur einer Auflösung wahrgenommen werden kann, z. B. Orion- und Andromedanebel, es sind dies die eigentlichen Nebelflecken. Auch auf diesem Gebiete hat die Photographie die direkte Beobachtung weit überholt, das Studium der Sichtbarkeit der nebligen Materie auf den erhaltenen Platten lässt klarer und besser die wahre Struktur dieser Objekte erkennen, so

enthüllt eine Photographie des Andromedanebels (von Roberts) eine völlig ungeahnte, aus concentrischen, elliptischen Ringen zusammengesetzte Struktur desselben.

Vor Entdeckung der Spektralanalyse war nun die vorherrschende Ansicht die, dass die eigentlichen Nebelflecken ebenfalls Sternenhaufen seien, dass ihre Auflösung nur nicht gelinge, wegen ihrer ungeheuer grossen Entfernung und wegen der ungenügend zerlegenden Kraft unserer optischen Instrumente. Erst das Spektroskop gab uns das Mittel an die Hand, die Frage zu entscheiden. Das Licht der Sternhaufen wird durch das Prisma meist in ein Spektrum von kontinuirlichem Aussehen zerlegt, das Spektrum der eigentlichen Nebel dagegen ist ein Linienspektrum, im Allgemeinen aus 4 hellen Linien bestehend, von denen aber meist nur drei sichtbar sind, zwei derselben gehören dem Wasserstoff an, nämlich $H\beta$ und $H\gamma$; die hellste kommt dem Stickstoff zu und die zweite ist noch nicht aufgeklärt, die übrigen Linien des Wasser- und Stickstoffs werden auf dem unermesslichen Wege, den das Licht von den Nebelflecken bis zur Erde zurückzulegen hat, ausgelöscht. Die spektroskopischen Beobachtungen führen ferner zu dem Schlusse, dass die Temperatur der Nebelflecke eine sehr tiefe ist. Huggins machte die merkwürdige Beobachtung, dass einige der auflösbaren Nebel, von denen man annahm, sie seien wirkliche Sternhaufen, dasselbe Licht ausstrahlen wie die wahren Nebel, also ebenfalls glühende Gasmassen sind. Wir haben also hier Sternsysteme, deren einzelne Körper gasförmig sind, ein solcher Zustand ist ganz in Uebereinstimmung mit der Kant-Laplace'schen Hypothese über die Bildung unseres Sonnensystems.

Ziemlich weit scheinen diejenigen Nebelflecke in ihrer Entwicklung vorgeschritten zu sein, welche mit ziemlich scharf begrenzten Rändern entweder in Kreisform oder nur schwach elliptisch geformt erscheinen. Weil sie bleichen oder in matt bläulichem Licht leuchtenden Planeten ähnlich sind, werden sie *planetarische Nebel* genannt. Auch sie sind ihrer Form nach sehr verschieden, theils Spiral- theils Ringnebel, einzelne schwache Sterne stehen zuweilen in ihnen oder in unmittelbarer Nähe. Alle diese Nebel haben dasselbe, aus einigen, trotz ihrer Lichtschwäche relativ glänzenden hellen Linien bestehendes Spektrum, unter welchen sich eine Wasserstoff- und eine Stickstofflinie befindet.

Die Nebelflecke bestehen also unzweifelhaft aus leuchtenden Gasmassen, in denen Wasserstoff und Stickstoff die Hauptbestandtheile

sind; eine Reihe von Nebelflecken, unter diesen der Orion- und der Andromedanebel zeigen noch ein oder mehrere Kohlenstoffbanden. Obgleich die spektroskopische Untersuchung der Nebelflecke sich immer noch im Anfangsstadium befindet, so besitzt sie doch schon durch die erzielten Resultate eine grosse Wichtigkeit für das Studium aller Fragen, welche mit der Entwicklung des Universums in Verbindung stehen, sie bilden eine wichtige Stütze der schon von Herschel ausgesprochenen Ansicht, dass wir in diesen Nebelmassen und im sogen. kosmischen Weltdunst, die Keime der Sonnen- und Planetensysteme zu erblicken haben.

Die räthselhaftesten Himmelskörper, die um die Sonne laufen, aber unserm Sonnensystem ursprünglich nicht angehören, sondern von aussen aus dem Weltraume, vermöge der Anziehung der Sonne in dasselbe eingedrungen sind und für kürzere oder längere Zeit Bürger desselben bleiben, sind

Die Kometen.

Die Kometen unterscheiden sich wesentlich von den übrigen Körpern des Sonnensystems durch ihre manigfaltige, wechselnde Gestalt, durch die Beschaffenheit ihrer Bahnen und durch die Dauer ihrer Sichtbarkeit. Manche von ihnen, wie der Encke'sche, Biela'sche Komet, beschreiben in regelmässiger Wiederkehr geschlossene Bahnen um die Sonne, während andere unerwartet aus dem Weltraume im Sonnensystem auftauchen und nach einem einzigen Umlauf um die Sonne auf Nimmerwiedersehen verschwinden.

Die Frage, nach der Natur der Kometen, wurde erst in neuester Zeit befriedigend gelöst. Nebst dem schwachen kontinuirlichen Spektrum mit Frauenhofer'schen Linien, das vom reflektirten Sonnenlicht herrührt, zeigen die Kometen im Allgemeinen die drei Hauptbanden des Kohlenwasserstoffspektrums, das jetzt dem Kohlenstoff selbst zugeschrieben wird, nur mit dem Unterschiede, dass die Helligkeitsmaxima in den drei Banden in der Mitte liegen, während sie bei irdischen Kohlenwasserstoffen am Anfang sind. Man hat aber bei den letzteren die Maxima auch gegen die Mitte der Banden auftreten sehen, wenn der Kohlenwasserstoff mit Kohlenoxyd vermischt und disruptive elektrische Entladungen durch beide verdünnte Gase gingen; das Kohlenoxydspektrum verschwand dabei und nur das Kohlenwasserstoffspektrum erschien auf die angegebene Weise modifizirt. Es wird jetzt als unzweifelhaft angenommen, dass ein Komet aus einem Meteorschwarm

besteht, der im Kometenkopf seine grösste Dichte erreicht; die Zwischenräume zwischen den einzelnen Meteoriten sind mit Kohlenoxyd- und Kohlenwasserstoffgasen in sehr verdünntem Zustande ausgefüllt, welche Gase sich aus den Meteoriten des Schwarmes entwickeln. Dass gasförmige Kohlenstoffverbindungen wirklich in den Meteoriten eingeschlossen sind, beweist der Umstand, dass sich solche in grosser Menge entwickeln, beim Erhitzen von Meteoreisen und Meteorsteinen. Diese Gase kommen nun durch disruptive elektrische Entladungen zwischen den einzelnen Meteoriten, wie früher erwähnt, durch Lumineszenz zum Leuchten. Manche Kometen zeigen auch Cyanbanden, z. B. der Komet II 1881, wie eine Spektralphotographie von Huggins zeigt.

Bei Kometen, welche der Sonne sehr nahe kamen, wie der Komet Wells 1882 I und der «Grosse Komet» 1882 II, trat im Perihel sehr intensiv die Natriumlinie auf, daneben zeigten sich noch schwach einige andere Metalllinien von Blei, Mangan, Eisen und Magnesium, die dadurch entstanden, dass durch die grosse Hitze in der Sonnennähe diese Metalle in den Meteoriten verdampften, dabei verschwand das Kohlenstoffspektrum vollständig. Bei der Entfernung des Kometen von der Sonne verblasste allmälig das Metallspektrum und das Kohlenstoffspektrum kam wieder zum Vorschein. Genau dieselben Erscheinungen können auch künstlich hervorgerufen werden, wenn man in einer mit verdünntem Kohlenwasserstoffgas gefüllten Geissler'schen Röhre durch Erhitzen Natriummetall verdampft und elektrische Entladungen hindurchleitet, sie liefern also ein sehr gewichtiges Argument für die Annahme des elektrischen Ursprungs des Eigenlichtes der Kometen.

Das Auftreten der Kohlenbanden wurde aber nicht bloss bei Kometen, sondern auch, wie schon erwähnt, bei manchen Nebelflecken und als Absorptionsbanden bei Fixsternen der Klasse III und bei Sternen mit hellen Linien beobachtet. Secchi war 1869 der erste, der auf das Vorkommen des Kohlenstoffs in Sternspektra aufmerksam machte, später geschah es auch von Vogel und Dunér, welche beide die Ansicht aussprachen, dass in den Atmosphären der betreffenden Fixsterne Kohlenstoffverbindungen vorkommen, welche die Absorption bewirken.

Besondere Aufmerksamkeit schenkte dem Auftreten des Kohlenstoffs in den Spektra der Gestirne der englische Astronome Lockyer. Er fand durch Vergleichung, dass die Spektra der oben erwähnten Himmelskörper, sowohl in den Absorptions- als auch in den hellen

Banden des Kohlenstoffs und ebenso in den Absorptionslinien des Mangan-, Magnesium- und Bleidampfes mit den Spektra mancher Kometen übereinstimmen. Lockyer ist desshalb der Ansicht, dass jene Nebelflecke aus kosmischem Staub in möglichst gasförmigem Zustande bestehen, der sich nach und nach zu Meteoriten verdichtet, so dass Meteorschwärme entstehen und dass jene Fixsterne der Klasse III nicht eigentliche Sterne sind, sondern dichte Schwärme von Meteormassen, also Kometen, nur mit dem Unterschiede, dass sie nicht um unsere Sonne kreisen. Die Absorption des Kohlenstofflichtes, das von den gasförmigen Kohlenstoffverbindungen, welche die Zwischenräume zwischen den einzelnen Meteoriten ausfüllen, herrührt, denkt Lockyer sich zu Stande gebracht durch glühende Dämpfe, welche die einzelnen Meteoriten umhüllen, die eine sehr hohe Temperatur erreichen durch Zusammenstösse der einzelnen Meteoriten. Durch weitere Condensation dieser Meteorschwärme wächst die Temperatur und es entstehen nach und nach die Sterne der Klasse I, welches die heissesten Himmelskörper sind. Bei fortgesetzter Condensation findet zuletzt durch Ausstrahlung Abkühlung zur Klasse II und nachher Erstarren statt. Auf dieser Ansicht basirt Lockyer seine Hypothese von dem meteoritischen Ursprung aller kosmischen Himmelskörper, vom kosmischen Nebel bis zu den hellsten und heissesten Sternen der Klasse I und hinunter bis zur dunkeln, kalten Kugel.

Zu den schönsten Errungenschaften der Spektralanalyse in der Astronomie gehört die Entdeckung, dass man aus einer kleinen Verschiebung der Spektrallinien bestimmen kann:

Die Grösse und Richtung der Bewegung der Fixsterne und anderer Lichtquellen im Weltraume.

Die Bezeichnung «Fixstern» ist, wie man schon längst weiss, eine unrichtige, denn es gibt keinen Himmelskörper, der in absoluter Ruhe ist. Seitliche Verschiebungen der Sterne gegenüber der Erde lassen sich nach kürzerer oder längerer Zeit mit Fernröhren beobachten und messen, dagegen verräth kein Teleskop diejenige Bewegung, welche einen Himmelskörper in gerader Richtung direkt auf die Erde zu oder von ihr wegführt, die sog. *Bewegung* im *Visionsradius,* wohl aber thut dies das Spektroskop. Die Möglichkeit, die Grösse und Richtung der Bewegung einer Lichtquelle im Versions-

radius spektroskopisch bestimmen zu können, beruht auf dem *Doppler'schen Prinzip;* dasselbe möge zuerst für den Schall erklärt werden.

Die Höhe eines Tones hängt von der Anzahl der Luftstösse (Schwingungen) ab, welche in einer bestimmten Zeit unser Ohr treffen. Bewegt sich nun ein tönender Körper z. B. die Pfeife einer Lokomotive, mit grosser Geschwindigkeit gegen einen ruhenden Beobachter zu, so gelangen in derselben Zeit mehr Schwingungen in sein Ohr, als wenn die Pfeife in Ruhe ist, es wird also die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde, d. h. die Schwingungszahl des Tones, vergrössert, somit die Wellenlänge verkürzt und der Ton erscheint dem Beobachter *höher*, als er es für die ruhende Pfeife ist. Gerade das Umgekehrte tritt ein, wenn sich die Pfeife von dem Hörer entfernt, die Wellenlänge des Tones wird vergrössert, der Ton erscheint tiefer.

Das Doppler'sche Prinzip behält unverändert seine Gültigkeit für die Aetherschwingungen des Lichts. Bewegt sich eine Lichtquelle mit sehr grosser Geschwindigkeit im Visionsradius direkt gegen die Erde zu, so treffen in derselben Zeit mehr Schwingungen in unser Auge, als wenn dieselbe in Ruhe ist, die Schwingungszahlen der von der Lichtquelle ausgestrahlten Lichtsorten werden erhöht, die Wellenlängen verkürzt, es werden daher alle Linien ihres Spektrums gegenüber denjenigen einer ruhenden Lichtquelle um gleichviel gegen das brechbarere Ende, das Violett verschoben. Entfernt sich die Lichtquelle im Visionsradius von der Erde, so findet umgekehrt Linienverschiebung gegen das Roth statt. Da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes sehr gross, 300,000 Kilometer in der Sekunde ist, so muss die Geschwindigkeit der bewegten Lichtquelle ebenfalls sehr gross sein und mehrere Kilometer oder Meilen betragen, wenn die Linienverschiebung noch messbar sein soll.

Die Verschiebung wird gewöhnlich an der F- oder der G-Linie ($H\gamma$) des Wasserstoffs, der fast auf allen Himmelskörpern vorkommt, gemessen, durch Vergleichung mit der Lage dieser Linie in dem gleichzeitig direkt durch eine Geissler'sche Röhre erzeugten Wasserstoffspektrum. Aus der Grösse der Verschiebung, mit Berücksichtigung der Bewegung der Erde, kann die Grösse und Richtung der Bewegung des betreffenden Himmelskörpers leicht berechnet werden. Die Wellenlänge der Mitte der F-Linie beträgt 485,0 $\mu\mu$, eine Aenderung derselben um ein hundertmilliontel Millimeter durch Verschiebung, kann noch gemessen werden. Diese Messungen gehören zu den schwierigsten Problemen der Astronomie, denn wegen der geringen Geschwin-

digkeit der Himmelskörper gegen derjenigen des Lichtes, sind diese Verschiebungen sehr klein, und aus diesem Grunde sind auch die früher von Secchi, Huggins, und andern erhaltenen Zahlen ungenau. Die Resultate wurden erst in neuester Zeit brauchbar, seit Prof. Vogel und Dr. Scheiner in Potsdam die Photographie zu Hülfe nahmen. Das Stern- und das Vergleichspektrum werden beide gleichzeitig photographisch auf einer höchst empfindlichen Bromsilber-Gelatineplatte aufgenommen, bei lichtschwachen Objekten bleiben die Platten längere Zeit, bis zu einigen Stunden exponirt und die Messung der Verschiebung wird auf der sehr scharfen Spektralphotographie mikroskopisch, unter Anwendung einer 7—35fachen Vergrösserung ausgeführt. Der wahrscheinliche Fehler einer Messung beträgt hiebei für die Geschwindigkeit einer der besser zu messenden Lichtquellen, wie es die Sterne der Klasse II und III sind, nur 3 km., für diejenige einer schwieriger zu messenden, wie die Sterne der linienarmen Klasse I, etwa 6 km.

In folgendem sind die Geschwindigkeiten einiger Sterne angegeben, wie sie von Vogel und Scheiner im Mittel gefunden wurden, dabei bedeutet + Entfernung von der Erde, — Annäherung zu derselben:

α Cygni	— 6 km.	Procyon	— 11 km.
Sirius	— 12 »	Aldebaran	+ 40 »
α Orionis	+ 14 »	Capella	+ 25 »

Ein Theil der Bewegung der Fixsterne rührt aber von derjenigen unseres Sonnensystems her, denn auch unsere Sonne, von allen ihren Planeten und sonstigen Trabanten begleitet, bewegt sich durch den Weltraum, sehr wahrscheinlich gegen das Sternbild des Herkules zu. Die Grösse und Richtung dieser Bewegung werden wir aber erst in Zukunft bestimmter angeben können, wenn erst die Ortsveränderungen einer grossen Anzahl von Fixsternen näher bekannt sind.

Im Juli und August 1890 ist es J. E. Keeler auf spektroskopischem Wege gelungen, mit grosser Sicherheit auch die Bewegung der *planetarischen Nebel* im Visionsradius zu bestimmen. Dieser jüngste Erfolg von grosser Tragweite, den wir dem grössten jetzt existirenden Refraktor von 915 mm. Objektivdurchmesser der Licksternwarte auf dem Mount Hamilton (N.A.) und dem vorzüglichen, damit verbundenen Spektroskop verdanken, zeigt in noch glänzenderer Weise als es bisher der Fall war, die Fruchtbarkeit der Anwendung

des Doppler'schen Prinzips auf die Analyse des von den Gestirnen zu uns gelangenden Lichtes. Himmelskörper, wie die planetarischen Nebel, die so weit entfernt sind, dass von einer Bewegung an der Himmelskugel sich bis jetzt nicht die geringste Spur gezeigt hat und von denen wir daher annehmen müssen, dass sie weit jenseits der Region der Fixsterne, an den Grenzen des sichtbaren Weltalls stehen, offenbaren in den geringen Farbenänderungen des von ihnen ausgesandten Lichtes, dass auch sie mit einer Geschwindigkeit durch den Weltraum fliegen, welche von derselben Grössenordnung ist, wie diejenige der Fixsterne.

Keelers sorgfältige Messungen bezogen sich auf die Lage der hellsten in den untersuchten Nebelflecken gemeinsam vorkommenden Linie $\lambda = 500{,}6\ \mu\mu$., deren Natur bisher noch nicht festgestellt werden konnte, neuerdings hat er in einigen Nebeln die Lage der Wasserlinie genau bestimmt und zur Messung benutzt. Die grosse Genauigkeit wurde erreicht durch Anwendung eines Rowland'schen Gitters mit starker Dispersion, probeweise war zunächst die Bewegung der Venus aus Linienverschiebung bestimmt worden, und es hatten sich hierbei Resultate ergeben, welche mit den berechneten Grössen vorzüglich übereinstimmten. Bis jetzt wurde von 10 der helleren Nebel die Bewegung bestimmt, die kleinste Bewegung ist wenig grösser als 2 km. in der Sekunde, die grösste nahezu 60 km., theils ist sie auf die Erde zu, theils von ihr weggerichtet, der Fehler jeder einzelnen Messung beträgt kaum mehr als 4 km. in der Sekunde.

Durch diese von Keeler erhaltenen Resultate ist wiederum einer der Schleier entfernt, welche uns bisher die wahre Natur der Nebel so sehr verhüllt haben. Theoretisch war es freilich sicher, dass diese Körper denselben Gesetzen unterworfen sein mussten, wie die Sterne, mit denen sie in manchen Fällen sogar direkt verbunden sind. Die thoretische Wahrscheinlichkeit ist nun zur Gewissheit geworden und die Bewegung der Nebel eine feststehende Thatsache.

Das Prinzip aus der Verschiebung der Spektrallinien die Bewegung einer Lichtquelle zu bestimmen, hat zuerst Lockyer angewendet *um die Geschwindigkeit zu messen, mit welcher das die Protuberanzen bildende glühende Wasserstoffgas aus dem Sonnenkörper hervorbricht oder nach erfolgter Eruption wieder herabsinkt.* Eine Verschiebung der Wasserstofflinien tritt nur ein, wenn das glühende Gas sich im Visionsradius auf die Erde zu oder von ihr weg bewegt, die auf- und absteigenden Ströme sind daher nur in der Mitte der Sonnenscheibe

bemerklich. Die grünblaue Linie F, welche in der Regel von scharfen Rändern begrenzt ist, erscheint, wenn das Spektroskop auf einen Sonnenfleck in der Nähe des Sonnemittelpunktes gerichtet wird, mitunter nicht blos hell, sondern auch als dunkle Linie stellenweise zusammengedreht, verkrümmt, und von ungleichmässiger Dicke und bei aufsteigenden Protuberanzen nach dem Violett, bei niedersteigenden nach dem Roth verschoben. Dieselben Erscheinungen zeigen sich auch an der rothen C-Linie (Hα), jedoch ist die F-Linie empfindlicher in Bezug auf die genannten Veränderungen, wesshalb gewöhnlich diese benutzt wird.

Alle diese Verdrehungen, Verbreiterungen und Verschiebungen der F-Linie rühren nur von einer Aenderung der Wellenlänge des grünblauen Lichtes her, welches das in Bewegung befindliche glühende Wasserstoffgas der Sonne aussendet und zwar beweist die ungleichmässige Verschiebung derselben eine ungleiche Geschwindigkeit, Wirbelbewegungen innerhalb des Gasstromes. Die gewöhnliche Geschwindigkeit dieser auf- und absteigenden Gasströme beträgt 4—5 geogr. Meilen.

Zwei der grössten bis jetzt beobachteten Protuberanzen wurden von Joung beschrieben. Die erste ereignete sich am 7. Sept. 1871 nach 12½ Uhr; sie hatte anfänglich eine Längenausdehnung am Sonnenrande von ungefähr 21700 Meilen und eine Höhe von 12000 Meilen; ihre grösste Höhe erreichte sie um 1 Uhr 05 mit 45800 Meilen und die Geschwindigkeit, mit welcher die Gasmassen in die Höhe stiegen, betrug 36 Meilen in der Sekunde. Um 1 Uhr 15 war die Protuberanz wie eine sich auflösende Wolke verschwunden. Die zweite Protuberanz ereignete sich am 7. Okt. 1880 und erreichte die Höhe von 78000 Meilen, sie ist wohl die höchste bis jetzt beobachtete.

Neben diesen auf- und absteigenden Gasströmungen in der Sonnenatmosphäre entstehen auch fortschreitende *Wirbelstürme* oder *Cyclonen* von solch ungeheurer Gewalt, dass unsere stärksten irdischen Orkane dagegen nur wie ein leiser Windhauch erscheinen. Diese seitlich fortschreitenden, gegen die Erde zu oder von ihr weggerichteten Strömungen und Wirbelstürme werden nur am Sonnenrande für uns bemerklich, indem sie eine Verschiebung der F-Linie bewirken. Lokyer hat die Geschwindigkeit derselben genau gemessen, indem er die Verzerrungen und Verschiebungen der F-Linie beobachtete und fand dieselbe von einer unglaublichen Heftigkeit. Er beobachtete einen solchen Drehsturm am 14. März 1869, dessen Durchmesser 340 Meilen betrug,

der sich mit einer Geschwindigkeit von 9 Meilen in der Sekunde fortbewegte. Brachte man den Spalt des Spektroskopes auf den Rand des Wirbels, so sah man, dass auf der einen Seite der Sturm sich von uns entfernte, auf der andern Seite auf uns zukam, indem die F-Linie dann nur nach dem Roth oder nur nach dem Violett hin verschoben war. Hierdurch war bestimmt bewiesen, dass ein wirklicher Drehsturm stattgefunden hatte.

Ebenfalls auf dem Doppler'schen Prinzipe beruht der Nachweis der *Sonnenrotation*, worauf Secchi und Zöllner schon vor einigen Jahrzehnten hingewiesen hatten. Die Punkte der Sonne auf der uns zugekehrten Seite rotiren von Ost nach West, die grösste Geschwindigkeit ist am Aequator. Die Punkte auf dem östlichen Rande nähern sich dem Beobachter auf der Erde, die entgegengesetzten des Westrandes entfernen sich von ihm; im ersten Falle findet Linienverschiebung gegen das Violett, im zweiten Falle Verschiebung gegen Roth statt. Die Gesammtverschiebung beträgt aber nur $\frac{1}{77}$ des Abstandes der beiden D-Linien und doch kann sie gemessen werden, weil das intensive Sonnenlicht starke Zerstreuung gestattet. Die Rechnung ergibt hieraus eine Geschwindigkeit von 1,922 km. für die Punkte des Sonnenäquators, welcher eine Rotationsdauer der Sonne von 26,23 Tagen entspricht. Die aus teleskopischen Beobachtungen der Sonnenflecke und Fackeln gefundenen Werthe der Rotationsdauer sind 1—2 Tage kleiner, dies könnte den physikalischen Grund haben, dass, wenn man vom centralen Theil der Sonne durch die Photosphäre zu den Fackeln und der absorbirenden Schicht aufsteigt, die Winkelgeschwindigkeiten allmählig abnehmen. Am besten wird es sein, für jetzt noch von einer Erklärung abzusehen und fernere Beobachtungen, besonders spektroskopische, abzuwarten. Eine sichere Aenderung der Rotationsdauer mit der Breite ist durch das Spektroskop nicht entdeckt worden.

Nicht weniger schöne Erfolge hat die Spektralanalyse aufzuweisen in der Erforschung der Bewegung der

Doppel- und mehrfachen Fixsternsysteme.

In der Fixsternwelt gibt es Systeme von 2, 3 und mehr sehr nahe beisammen stehenden Sternen verschiedener Grösse, die physisch derart miteinander verbunden sind, dass, nach dem allgemeinen Gravitationsgesetze, von zweien sich der eine um den andern bewegt,

oder dass zwei oder auch mehrere Sterne um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt kreisen. Solche Systeme heissen Doppel-, dreifache resp. mehrfache Sterne. Sind alle Sterne eines Systems in einem Fernrohr oder Teleskop von grosser optischer Kraft getrennt sichtbar, so lassen sich die Bahnen derselben verfolgen und nach kürzerer oder längerer Zeit bestimmen, wie es schon für eine grosse Anzahl mehrfacher Sternsysteme geschehen ist, seit der Mannheimer Astronome Christian Mayer im Jahr 1778 zuerst auf das Vorhandensein von Fixsterntrabanten aufmerksam machte. Es gibt aber auch Fixsterne, die nach der Art ihrer Bewegung verrathen, dass noch ein Begleiter vorhanden ist, so dass beide Sterne sich um ihren gemeinschaftlichen Schwerpunkt bewegen, während von diesem Begleiter in den stärksten Fernröhren keine Spur zu sehen ist, der also dunkel oder äusserst lichtschwach sein muss. Das Spektroskop hat nun in verschiedenen solchen Fällen die Vermuthung der Astronomen bestätigt, indem während eines Umlaufs des hellen Sterns um den dunkeln Begleiter in bestimmten Intervallen zweimal Linienverschiebung eintritt, das eine Mal gegen Violett, wenn sich der Fixstern auf seiner Bahn der Erde nähert, das andere Mal gegen Roth, wenn er sich von ihr entfernt, und zweimal keine Linienverschiebung, wenn der Stern sich senkrecht zum Visionsradius bewegt, abgesehen von den Verschiebungen die entstehen, infolge der Bewegung des ganzen Systems im Raume. Sirius, der Hauptstern des grossen Hundes z. B. zeigte in seiner Bewegung solche Abweichungen, dass schon Bessel die Ansicht aussprach, derselbe bewege sich um einen dunkeln Begleiter, welche Ansicht von den einen Astronomen bestätigt, von den andern bestritten wurde. Die Spektralanalyse hat zu Gunsten Bessels entschieden, die Umlaufszeit des Sirius beträgt 49—50 Jahre. Dieselben Erscheinungen zeigten noch Procyon (α canis min.) und Spica (α Virginis), beide sind Doppelsterne, von denen je der eine Stern für uns unsichtbar ist.

Im November 1890 legte Fowler der königl. astron. Gesellschaft in London Spektralphotographien der Wega, des Hauptsterns der Leier vor, welche zeigen, dass dieser Stern ein Doppelstern ist, aus 2 hellen Fixsternen bestehend, die in so geringem Abstand um ihren Schwerpunkt kreisen, dass sie optisch nicht getrennt werden können. Der Beweis der Duplität dieses Sterns beruht auf dem Umstande, dass, wenn die beiden Componenten des Systems nach entgegengesetzter Richtung im Visionsradius sich bewegen, ihre gemeinschaftlichen Spektrallinien sich in entgegengesetzter Richtung des Spektrums ver-

schieben, so dass sie *doppelt* werden. Geschieht die Bewegung rechtwinklig zur Gesichtslinie, der eine Stern nach rechts, der andere nach links, so findet natürlich keine solche Verschiebung statt, so dass die Linien einfach sind. Folglich werden während eines ganzen Umlaufs der zwei Sterne um ihren Schwerpunkt die Linien zweimal ein Maximum der Trennung erfahren und zweimal werden sie einfach sein. Die hauptsächlichsten Linien im Spektrum der Wega sind die Wasserstofflinien, diese erfahren aber keine Verdoppelung, da ihre Breite grösser ist als die Trennung und ein Dickerwerden derselben unsicher zu bestimmen ist. Dagegen ist die K-Linie $\lambda = 393{,}7$ des Calciums, die nächststärkste im Spektrum, zart genug um die Verdoppelung deutlich sichtbar zu machen. Aus 14 Photographien ergab sich das Resultat, dass ihre Bahn nahe kreisförmig ist und ihre Umlaufszeit nur die sehr kurze Zeit von 24,68 Stunden beansprucht. Die relative Maximalgeschwindigkeit der beiden Sterne beträgt etwa 80 Meilen in der Sekunde und ihr Abstand nur ca. eine Million Meilen, sie bilden also ein sehr enges Doppelsternsystem, wie man es früher nicht für möglich hielt. Die Gesammtmasse beträgt daher 22,5 Sonnenmassen und da kein merklicher Intensitätsunterschied der zwei K-Linien vorhanden ist, sind die Massen der zwei Componenten ungefähr gleich.*)

Auf der Sternwarte zu Cambridge (N.-A.) wurden von Professor Pickering in den letzten drei Jahren ebenfalls photographische Aufnahmen von Sternspektra ausgeführt, dieselben hatten zu einer analogen Entdeckung geleitet, wonach der Hauptstern des Doppelsterns ζ im grossen Bären selbst ein enger Doppelstern ist, bestehend aus zwei hellen Sternen, die unsere Fernrohre nicht mehr trennen können. Die Entdeckung folgte ebenfalls aus der Trennung der K-Linie in Intervallen von 52 Tagen, die Trennung betrug als Aenderung der Wellenlänge 0,199 Milliontel mm. Die Umlaufszeit des Systems der beiden Componenten beträgt 104 Tage, die Geschwindigkeit in ihrer Bahn, die als kreisförmig angenommen wird, beträgt bei Annahme gleicher Massen, 21 Meilen, ihr Abstand 30 Millionen Meilen und die Gesammtmasse beider Sterne etwa 40 Sonnenmassen. Zwei weitere äusserst enge, aus 2 hellen Sternen bestehende Doppelsterne sind noch β Aurigæ und b Ophiuchi; die beiden Componenten des ersteren haben einen Abstand von nur 1,7 Millionen Meilen; eine Umlaufszeit

*) Nach seither von Prof. Pickering, Vogel und Henry aufgenommenen Photographien, bestätigt sich diese Verdoppelung der Wega *nicht* Es muss also eine andere Erklärung für diese Erscheinung gesucht werden.

von 8 Tagen, Bahngeschwindigkeit 31,5 Meilen und eine Gesammtmasse von 2,3 Sonnenmassen.

Unter den Fixsternen giebt es solche, die von Zeit zu Zeit ihren Glanz ändern, die an Licht zu- oder abnehmen und in regelmässigen Intervallen sogar völlig unsichtbar werden können, diese heissen:

Veränderliche Sterne.

Der merkwürdigste derselben ist Mira Ceti (der Wunderbare Stern im Walfische), der im Maximum seiner Helligkeit ein Stern zweiter Grösse ist, im Minimum dagegen bis zur 10. Grösse herabsinkt. Ebenso interessant ist der Stern Algol (β Persei), welcher in regelmässiger Wiederkehr alle 69 Stunden während 4 Stunden an Helligkeit abnimmt bis zu einem Minimum und in derselben Zeit wieder seinen vollen Glanz erreicht. Um den Lichtwechsel Algols zu erklären, wurde die Hypothese als wahrscheinlich hingestellt, dass die eine Seite des Sterns mit starken Condensationsprodukten bedeckt sei. Die spektralanalytische Untersuchung hat aber ergeben, dass das Spektrum Algols zur Klasse I gehört und bei diesen im höchsten Glühzustande befindlichen Sternen ist an Abkühlungsprodukte gar nicht zu denken. Auch die Annahme von der Abweichung von der Kugelgestalt vermag die Erscheinung nicht zu erklären. Beide Hypothesen sind nun vollständig hinfällig geworden, denn aus den spektrophotographischen Beobachtungen von Prof. Vogel und Dr. Scheiner im Winter 1889/90 geht unzweifelhaft hervor, dass Algol vor seinem Minimum sich von der Sonne entfernt, nach dem Minimum sich derselben nähert, wie dies der Fall sein muss, wenn Algol sich hinter einen dunkeln Körper schiebt. Hiermit ist also der Beweis geliefert, dass Algol sich in einer mit der Periode des Lichtwechsels in einfachem Zusammenhang stehenden Bewegung befindet, und dies führt nothwendig zur Annahme eines Doppelsternsystems, in welchem dem uns unsichtbaren Begleiter eine Masse derselben Ordnung beizulegen ist. Mit Zugrundelegung der Elemente des Lichtwechsels ergeben sich folgende Daten:

Durchmesser des Hauptsterns . .	230,000	Meilen
» » dunkeln Begleiters	180,000	»
Distanz der Mittelpunkte	700,000	»

Bahngeschwindigkeit des Algols und des Begleiters 6 und 12 Meilen.
Massen der beiden Körper = $^4/_9$ und $^2/_9$ der Sonnenmasse.

Dabei ist gleiche Dichtigkeit der 2 Körper vorausgesetzt. Algol ist also ein äusserst enger Doppelstern, während man früher Anstand nahm, einen Doppelstern Algol anzunehmen, da die Existenz so enger Sternsysteme für unwahrscheinlich gehalten wurde, nun sind aber bereits mehrere solche bekannt. Der Verlauf der Lichtkurve während der Dauer der Verfinsterung lässt auf mächtige Atmosphären schliessen, von denen diejenige des Hauptsterns eine grosse Leuchtkraft, die des mehr abgekühlten Begleiters eine starke Absorptionsfähigkeit besitzt. Scheiner berechnet dieselben zu 54,000 bezw. 42,000 Meilen Höhe, der geringste Abstand beider Atmosphären würde demnach 400,000 Meilen sein.

Aehnliche Verhältnisse werden noch bei andern Veränderlichen existiren. Wir stehen also hier vor einer Astronomie des Unsichtbaren, wir erfahren die Existenz von Himmelskörpern, von denen das Fernrohr uns keine direkte Kunde giebt, wir erfahren, dass nicht bloss dunkle Körper um leuchtende — Sonnen — kreisen, sondern auch Sonnen um Sonnen, und Sonnen als Trabanten um dunkle Massen. Das Spektroskop und das Fernrohr lehren uns, dass das Newton'sche Gravitationsgesetz auch noch Gültigkeit hat in der unermesslich fernen Fixsternwelt.