ASTRONOMISCHE NACHRICHTEN.

N^o 3708.

Band 155.

12.

Die anomale Dispersion glühender Metaldämpfe und ihr Einfluss auf Phänomene der Sonnenoberfläche.

Von Professor *H. Ebert* in München.

Herr W. H. Julius hat in Astr. Nachr. Nr. 3672 (Bd. 153 p. 433, 1900) darauf hingewiesen, dass auf die Spectralerscheinungen, welche die Sonnenflecken und die Protuberanzen aufweisen, anomale Dispersion absorbirender Dämpfe auf der Sonne wahrscheinlich einen nicht unbeträchtlichen Einfluss ausüben. Denn seit der Entdeckung dieser Erscheinung bei leuchtendem Natriumdampf durch Kundt wissen wir, dass Strahlen, die mit ihrer Wellenlänge den maximalen Absorptionsgebieten der Dämpfe nahe liegen, besonders starke Ablenkungen erfahren, wenn sie prismatisch geformte dampferfüllte Räume oder Dampfgebiete von wechselnder Dichtigkeit passiren. Mit Versuchen über die anomale Dispersion glühender Metaldämpfe beschäftigt, konnte ich zunächst die von Herrn Julius gefundenen Versuchsergebnisse bestätigen. Weit dichtere Dampfprismen, als sie in einer Bunsenflamme aus Natriumsalzen zu erhalten sind, kann man durch directe Verbrennung von metallischem Natrium auf Wasser erhalten. Auf ein bis zum Rande mit Wasser gefülltes Glasschälchen wird ein Stück Fliespapier horizontal gelegt und auf dieses ein sorgfältig gereinigtes Stück Natrium gebracht. Dasselbe erhitzt sich sehr schnell, schmilzt, entzündet sich und brennt mit einer intensiven gelben, sehr dampffreien Flamme ab, die erst stark conisch ist, dann mehr einem Cylinder sich nähert und sich schliesslich wieder zu einer ausgesprochen kegelförmigen Flamme verkürzt. Das entstandene geschmolzene Natriumhydroxyd schwebt zunächst noch im sphäroidalen Zustande über dem feuchten Papier als abgeplattete Kugel und verspritzt dann mit grosser Heftigkeit in dem Moment, wo eine directe Berührung mit der Unterlage eintritt. Die in der Nähe stehenden Apparatheile schützt man, indem man zwischen sie und die Flamme Spiegelglasscheiben stellt.

Besonders im ersten und im letzten Stadium der Flammenbildung ist der vom Dampf erfüllte Raum stark prismatisch, und die Erscheinungen der anomalen Dispersion bei gekreuzten Spectren bilden sich wundervoll aus, ohne dass man durch Gefflacker gestört wird, was bei dem Verdampfen in der Bunsen- oder Gebläseflamme niemals zu vermeiden ist.

Bei dieser Versuchsanordnung zeigt sich die Erscheinung wie sie Herr Julius a. a. O. p. 435 abbildet und nicht wie

sie Herr H. Becquerel*) beschreibt, vergl. a. a. O. p. 434. Die Pfeilspitzen reichten fast genau bis zu der Stelle, an welcher bei Abblendung des weissen Lichtes die hellen Emissionslinien des Natriums oder bei der meistens eintretenden Selbstumkehr der Natriumlinien die schmalen, D_1 und D_2 entsprechenden Absorptionslinien zu liegen kamen.

Die Dimensionen der von mir getroffenen Anordnung, welche der von Becquerel sowie der von Julius angewendeten gleich, waren die folgenden: Der erste, das von einer 25 Ampère-Bogenlampe mit Condensor kommende Licht parallel machende, mit dem horizontalen Spalt versehene Collimator hatte 30 mm Oeffnung und 24 cm Brennweite. Ein Fernrohr-objectiv von 76 mm Oeffnung und 125 cm Brennweite vereinigte die von diesem kommenden durch die Flamme gegangenen Strahlen auf dem vertical stehenden Spalt des Spectralapparates. Vor diesem Objectiv stand ein regulirbarer horizontaler Spalt von nur wenigen Millimetern Breite; wenn der Fuss der Flammen nur wenig unter diesem Spalt stand, blendete dieser einen als Prisma mit oben liegender brechender Kante wirkenden Dampfkörper aus.

Der dispergirende Theil des Spectralapparates bestand aus einer Kette von drei schweren Flintglasprismen; die auflösende Kraft wurde erhöht durch Anwendung relativ grosser Focalweiten von Collimator und Beobachtungsfernrohr, nämlich 110 cm bei 65 mm Oeffnung bezw. 100 cm bei 77 mm Oeffnung.

Versuche mit dieser Anordnung bei Zulassen oder Abblenden des Bogenlampenlichtes, und beim Entwerfen des Flammenbildes auf dem Spectralspalt selbst mit Hilfe einer Hülfslinse liessen zunächst erkennen, dass auch in den überaus dichten Dampfkörpern, die man beim directen Abbrennen metallischen Natriums erhält, das eigentliche Absorptionsgebiet des Dampfes nur ein eng begrenztes ist. Dagegen erfahren die den D -Linien benachbarten Strahlen des weissen Lichtes erhebliche Ablenkungen, um so grössere, je näher ihre Wellenlängen λD_1 und λD_2 liegen. Dadurch kommen Verbiegungen und Verschiebungen in dem schmalen Spectralbande zu Stande, wie sie Julius in Fig. 3 seiner Mittheilung sehr gut wiedergiebt.

Die Ursache, dass sowohl Julius, als auch ich die Erscheinungen etwas anders sahen als Becquerel, kann wohl

*) H. Becquerel, »Sur la dispersion anormale et le pouvoir rotatoire magnétique de certaines vapeurs incandescentes«, Compt. rend. 127, p. 899, 1898, 2, und »Sur la dispersion anormale de la vapeur de sodium incandescente et sur quelques conséquences de ce phénomène«, Compt. rend. 128, p. 145, 1899, I, 1.

kaum in einem grösseren Reichthum an Natrium bei den Flammen, welche letzterer verwendete, liegen, wie Julius vermuthet. Auch darin stimmen meine Ergebnisse besser mit denen von Julius zusammen, dass die ganzen an D_1 und D_2 sich nach aussen hin anschliessenden Spectralgebiete nach der einen und der anderen Seite hin verschoben sind, während bei Becquerel diese Theile so dargestellt sind, dass ihre oberen und unteren Begrenzungslinien fast in derselben geraden Linie liegen (vergl. Fig. 1 und 2, ebenso im Original).

Herr Julius spricht die Vermuthung aus, dass diese sehr starke anomale Dispersion in der Nähe starker Absorptionslinien einen erheblichen Einfluss auf die Spectra der Sonnenflecke ausüben muss und dass dieselbe zum Theil wenigstens die starke Verbreiterung, und wohl auch die gelegentliche Selbstumkehr einzelner dunkler Absorptionslinien, ihre einseitigen Verschiebungen, Auszackungen u. s. w., wie sie häufig über Sonnenflecken beobachtet werden, zu erklären vermöge. Ich habe diese Vermuthung experimentell zu verificiren vermocht, indem ich mit den Flammen, deren verhältnissmässig kleine Absorption, aber grosse Dispersion mit der beschriebenen Anordnung geprüft worden war, die Verhältnisse möglichst genau nachahmte, welche vorliegen, wenn in die tieferen, ein continuirliches Spectrum liefernden Partien des Sonnenkörpers eine anomal dispergirende Dampfmasse von unregelmässiger Begrenzung hinabgezogen, und das Ganze von uns spectralanalysirt wird. Dazu wurde die folgende Abänderung der Anordnung getroffen: Der erste Collimator wurde durch eine Linse von 100 mm Oeffnung und 30 cm Brennweite ersetzt. An Stelle des horizontalen schmalen Spaltes trat ein kreisrundes Diaphragma von 15 mm Durchmesser, welches an der Stelle aufgestellt wurde, wo der vom Lampencondensor kommende Strahlenkegel am engsten war; 29 cm davon entfernt stand die Linse, so dass die Strahlen im Allgemeinen schwach divergent aus ihr austraten. Da die von der Lampe kommenden Strahlen in der Diaphragmenebene aber nicht durch einen Punkt hindurch gehen, so kommen von der Linse auch parallele und schwach convergente Strahlenbündel ausser den divergenten; dadurch wird die Linse gewissermaassen zu einem selbstleuchtenden Körper, der, für einen engen Kegelraum wenigstens, Strahlen nach verschiedenen Richtungen hin aussendet. Die Linsenfläche kann also im Experiment die Sonne vertreten, wenn das Fernrohrobjectiv genügend weit (bis zu 14 Metern) entfernt in diesem Kegelraum aufgestellt wird. Dasselbe entwarf ein verkleinertes reelles kreisrundes Bild von dem hell erleuchteten Collimatorobjectiv auf der Spaltplatte des Spectral-Collimators. Unmittelbar hinter der Linse wurden, durch eine Spiegelglasplatte von ihr getrennt, die Flammen aufgestellt, so dass ihr unterer Theil etwa in der Höhe der Linsenmitte zur Entwicklung gelangte. Wurde das auf den Spectralspalt fallende Linsenbild auf einem Stück weissen Cartons aufgefangen, so zeigte sich an der Stelle der Flamme eine ziemlich stark gegen die helle Lichtscheibe contrastirende Verdunkelung und zwar auch dann, wenn die Flamme ganz rauchfrei brennt, was am Anfang und Ende immer wenigstens für kurze Momente der Fall ist. Man hat hier also gewissermaassen ein verkleinertes Sonnenbild mit einem Sonnenflecken in der Focalebene eines Refractors. Aus demselben wurde mit feinstem Spalt ein schmaler Bereich über dem

Flecken herausgeschnitten und mit den oben angegebenen Dispersionsmitteln zu einem Spectrum ausgezogen. In demselben zeigen sich nun in der That die Natriumlinien ausserordentlich verbreitert. Je nach der Dampfvertheilung erscheinen aber auch lange dunkle Fahnen, die sich von der einen oder anderen Absorptionslinie aus bis zum zehnten und mehrfachen Abstände der beiden Natriumlinien in das benachbarte continuirliche Spectralgebiet hinein erstrecken. Nicht minder häufig sind die Selbstumkehrungen der beiden Linien. Gewöhnlich verläuft die Erscheinung, wenn sich nach dem Entzünden des Natriums die Flamme entwickelt, folgendermaassen: Zuerst zeigen sich die beiden Absorptionslinien an der Spitze (der Flammenspitze entsprechend) schmal und scharf begrenzt; sie wachsen mit der Flamme in den mittleren Theil des Spectrums hinein, werden breit und verwaschen und schmelzen zu einem tiefen Schatten zusammen. In dem Maasse wie die Flamme höher aufflammt, wächst dieser Schatten nach Höhe und Breite. Plötzlich erschienen, den beiden D -Linien entsprechend, zwei helle, sich nach oben zuspitzende Linien. Auch diese verbreitern sich und können zusammenschmelzen; mitunter zeigen sich in ihrem Innern wieder dunkle schmale Linien, so dass man die Doppelumkehr der Natriumlinien vor sich hat, wie sie gelegentlich auch bei Sonnenflecken beobachtet worden ist. Die Verbreiterungen sind in den seltensten Fällen vollkommen symmetrisch; meist sind sie einseitig, ja ganze Fetzen der dunkleren oder helleren Partien ragten bisweilen tief in die benachbarten Gebiete hinein. Auf Grund des Doppler'schen Principes würde man hier auf enorme Bewegungsgeschwindigkeiten in der Richtung des Visionsradius schliessen. Und doch ist von diesen hierbei absolut nicht die Rede. Denn wenn auch die Dampftheilchen mit nicht unbeträchtlicher Geschwindigkeit in der Flamme selbst emporsteigen, so ist doch von Bewegungen quer zur Flammenaxe, von Wirbelbewegungen u. dergl. im vorliegenden Falle nichts zu sehen; die Erscheinungen sind lediglich auf die unregelmässigen Brechungen zurückzuführen, welche die durchgehenden weissen Strahlen der dahinter stehenden leuchtenden Fläche in dem von Dampf erfüllten Raume erfahren. Da auch die in der Flamme selbst erzeugten Strahlen starke Brechungen erfahren, ja sogar ganz besonders starke wegen der Nähe der Wellenlängen des emittirten und des absorbirten Lichtes, so zeigt auch schon die Natriumflamme allein, d. h. bei Abblendung des Bogenlampenlichtes bei dieser Anordnung sehr starke Linienverbreiterungen und Linienumkehrungen. Wie oben nachgewiesen wurde, haben wir aber in Wirklichkeit nur verhältnissmässig schmale Absorptionsgebiete und müssen daher auch diese Erscheinung der anomalen Dispersion in der Flamme selbst zuschreiben. Ungleich viel glänzender wird sie aber, wenn das continuirliche Spectrum hindurchtritt, weil dann nicht nur die eigenen Flammenstrahlungen, sondern auch die in der Wellenlänge diesen benachbarten Bogenlampenstrahlen unregelmässige Brechungen und starke Ablenkungen erfahren.

Man kann deutlich beobachten, dass sich die Vertheilung der Dämpfe in einem gewissen Sinne in dem Spectralbilde widerspiegelt. Wenn gegen das Ende der Dampfentwicklung die Flamme zu einem ruhig brennenden, von Rauch freien kleinen Conus zusammenschrumpft, sieht man

im Spectrum einen dunklen Kegel mit sehr breiter Basis, der sich schnell, d. h. viel flacher als der wirkliche Flammenkegel zuspitzt; von seiner Basis aus ragen meist zwei hellere, sich langsamer zuspitzende Kegel in die dunkle Masse hinein. Bei den Sonnenflecken hat man anders gestaltete Dampfkegel vor sich, vornehmlich solche, deren Axe mehr oder weniger senkrecht zur Sonnenoberfläche steht. Es ist daher verständlich, warum dann dort die hauptsächlichsten Linienverbreiterungen sowie die Umkehrungen mehr über der Mitte des Fleckes auftreten. Verhältnissmässig kleine Einseitigkeiten in der Gestalt können aber auch hier grosse einseitige Linienverschiebungen hervorrufen, und kleine Verästelungen der Masse die aus der Tiefe kommenden Strahlen weit von der betreffenden Fraunhofer'schen Linie abgelenkt erscheinen lassen.

Auch das, was Herr Julius über die Mitbetheiligung der anomalen Dispersion bei dem Protuberanzenphänomen vermuthet, habe ich durch directe Versuche bestätigen können.

Dazu wurde die Bogenlampe, das Diaphragma und die erste Linse so weit gesenkt, dass der obere Rand des hellen Linsenbildes auf die Mitte des Spectralspaltes fiel. Das Bild selbst bedeckte dann die obere Spalthälfte; das ihm entsprechende continuirliche Spectrum erfüllte die untere Gesichtshälfte des Beobachtungsfernrohres. Wegen der Divergenz der von der Linse kommenden Strahlen geht ein Theil der weissen Strahlen über das Refractorobjectiv hinweg, gelangt also nicht mehr in den Spectralapparat. Ist die von Julius geäusserte Ansicht der wesentlichen Mitbetheiligung der Dispersion in Dämpfen bei dem Protuberanzenphänomen richtig, so musste es möglich sein, durch Zwischenschaltung einer prismatisch gestalteten Natriumflamme nicht nur die den *D*-Linien entsprechenden, sondern auch eine grössere Reihe ihnen im Spectrum benachbarter Strahlen des weissen Lichtes so abzulenken, dass sie auf die untere Spalthälfte fielen, wo sonst kein Lampenlicht hin kam. Zu diesem Zweck wurde das Glasschälchen, auf dem die Entzündung der Natriumstücke stattfand, so weit gehoben, dass die durch den oberen Rand der Linse kommenden, den Randstrahlen der Sonnenscheibe entsprechenden weissen Strahlen durch den Fuss der Flammen gehen mussten, der meist besonders regelmässige prismatische Gestalt annimmt, namentlich wenn längliche Natriumstücke quer zur Strahlenrichtung auf das feuchte Fliesspapier gelegt werden. Da es sich darum handelte, Strahlen in den Refractor hinein abzulenken, die sonst an diesem vorbeigingen, und also nicht in das Auge des Beobachters gelangten, empfahl es sich, um die Erscheinung recht augenfällig zu machen, mit der Flamme weiter von der Linse weg (bis zu 2.5 Meter) als bei dem vorigen Versuch zu gehen. Man hat dann den Fall realisiert, dass man mit radial gestelltem Spectroskopspalt einen Theil des Sonnenrandes analysirt, vor dem eine niedrige aber lang ausgestreckte Metaldampfbank liegt. Man öffnet den Spalt weit. Endlich ist es noch zweckmässig, dass man durch einen vor dem Spalt von oben her vorgeschobenen undurchsichtigen Schirm das Linsenbild so weit abblendet, dass von dessen Spectrum nur noch ein schmaler, dem oberen Linsenrande (dem Sonnenrande) entsprechender Streifen in der Mitte des Gesichtsfeldes übrig bleibt. Oberhalb desselben hat man dann eine matt erleuchtete Gesichtshälfte,

München, 1901 März.

deren Licht von dem an den Linsen und am Staub in der Luft unregelmässig reflectirten Licht herrührt, welches dem zerstreuten Tageslicht entspricht. Jedenfalls gelangt kein directer Strahl der Bogenlampe in diesen Theil. Entzündet sich aber ein auf das Fliesspapier gebrachtes Natriumstück, so hebt sich zunächst der scheinbare Sonnenrand: eine Wolkenprotuberanz scheint demselben aufgelagert. Vielfach ist dieselbe nach oben hin ausgefrant und wolkig aufgetrieben. Plötzlich schiessen bei reichlicher werdender Dampfentwicklung zu beiden Seiten des Ortes der Natriumlinien blendend helle Flammensäulen auf, ja der ganze nächstliegende gelbe Theil des Spectrums, welcher nach dem Roth hin liegt, hebt sich empor, gegen die hellen Natriumlinien emporzüngelnd. Der Dampfkegel selbst braucht dabei nur eine sehr geringe Höhe zu haben; durch seine unregelmässige Brechung lenkt er einen beträchtlichen Theil des durch ihn gehenden weissen Lichtes in den dunklen Raum hinein ab, so dass eine stattliche Protuberanz entsteht. So oft ein Gehülfe das Licht der Bogenlampe abschneidet, verschwindet die schöne Erscheinung, man sieht dann nur noch die schwach leuchtenden Natriumlinien. In Folge unregelmässiger seitlicher Ablenkungen gehen oft lange Lichtfahnen von diesen Protuberanzen aus, die sich weit nach der einen oder anderen Seite hin entfernen. Auch Umkehrungen kommen gelegentlich am Fusse wenigstens vor. Meist zeigen die künstlichen Protuberanzen wie bekanntlich auch die natürlichen die charakteristische pfeilspitzenförmige Gestalt. Da wesentlich nur die den *D*-Linien unmittelbar benachbarten Strahlenarten des weissen Lichtes in das Gesichtsfeld hineingebrochen werden, so ist man kaum im Stande, an der Farbennuance selbst zu erkennen, dass man es nicht mit Natriumlicht, sondern mit diesem nahe stehenden Bestandtheilen des weissen Bogenlichtes zu thun hat. Nur an dem höheren Glanze kann man erkennen, dass man thatsächlich durch den Natriumdampf hindurch in den Krater des Voltabogens blickt.

Dass nicht etwa einfache, gewöhnliche Brechung in der heissen Luft oder Schlierenbildung an der Flamme die Ursache dieser Lichterhebungen, Linienverschiebungen und Auszackungen ist, geht daraus hervor, dass sie sich nur in der Umgebung der Natriumlinien selbst zeigt. In den anderen Spectralgebieten tritt beim Aufflammen des Natriums auch Aufhellung ein; man überzeugt sich aber leicht, dass diese von unregelmässig an den Rauchpartikelchen, die sich in der Flamme entwickeln, zerstreutem weissen Lichte herrührt.

Demnach dürften in der That diesen unregelmässigen Brechungen in an sich unscheinbaren und nur schwach bewegten auf der Sonnenoberfläche lagernden Metaldampfmassen eine grosse Rolle bei dem Protuberanzenphänomen zuzuschreiben sein und zwar unabhängig von jeder Sonnen-theorie, z. B. auch der Schmidt'schen.

Wenn auch nicht gelegnet werden soll, dass Linienverschiebungen in Folge thatsächlicher grosser relativer Geschwindigkeiten der leuchtenden Massen auf der Sonne häufig vorkommen, so ist doch neben dem Doppler'schen Princip auch der anomalen Dispersion absorbirender Gase und Dämpfe in der Sonnenphysik sicherlich eine hervorragende Aufmerksamkeit zu schenken.

H. Ebert.