©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Elemente der Spectralanalyse.

Von

JOHANN SCHENK
k. k. Professor.

Vortrag, gehalten am 3. Jänner 1877.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Es erscheint in der That unglaublich, wenn man gegenwärtig von Chemikern behaupten hört, dass das kleinste, jeder Anschauung sich entziehende Stäubchen einer Substanz genüge, um mit Sicherheit das Vorhandensein derselben zu constatiren, und die Bestandtheile desselben anzugeben; noch unglaublicher klingen die Behauptungen der Astronomen, dass Stoffe, welche allgemein verbreitet auf der Erde sich befinden, in der Atmosphäre der Sonne, welche über 20 Millionen Meilen oder 147 Millionen Kilometer von uns entfernt ist, vorhanden sind; dass die helleren Sterne, die doch Billionen von Meilen von uns abstehen, eine ähnliche Beschaffenheit wie die Sonne haben; dass ferner gewisse, unter den Gestirnen in unermesslicher Ferne vorhandene fremdartige Objecte, d. i. die Nebelflecke aus leuchtenden Gasen bestehen.

Es wird meine Aufgabe sein, in diesem kurzen populären Vortrage in allgemeinen Umrissen zu zeigen, dass diese Behauptungen, welche so unglaublich erscheinen, einfach nothwendige Schlussfolgerungen sind aus genauen mit grösster Sorgfalt ausgeführten Beobachtungen und Versuchen.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Das einzige Verbindungsmittel zwischen uns und der Sonne und den Gestirnen, vermittelst dessen wir Aufschluss über ihre chemische Beschaffenheit erlangen können, sind jene Ausstrahlungen, durch welche alles organische Leben bedingt ist, und welche die Wirkungen, die wir Licht und Wärme nennen, erzeugen; und jene Ausstrahlungen, die ein unmerkbares Theilchen eines irdischen Stoffes unter gewissen Umständen entsenden kann, sind es auch, welche uns die Natur desselben erkennen lassen.

Wir müssen daher vor allem die Natur dieser Ausstrahlungen kennen lernen, und werden dann, wenn wir mit ihren Eigenschaften vertraut geworden sind, sehen, wie die genaue Kenntniss und die richtige Anwendung derselben zu solch' erstaunlichen Ergebnissen führte.

Eine schwingende Saite erregt in der umgebenden Luft Verdichtungen und Verdünnungen; vor sich her verdrängt sie die Luft und verdichtet sie, hinter sich lässt sie einen leeren Raum, in welchen die nachfolgende Luft einströmt, und dabei einen Augenblick verdünnt wird.

Diese in regelmässigen Perioden sich wiederholende Bewegung der Luft pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von mehr als 1000 Wr. Fuss oder 333 Meter in der Secunde bis zu unserem Gehörorgan fort, stösst dort gegen das Trommelfell, und verursacht durch die weitere

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Fortpflanzung zum Gehörnerven und das Gehirn die Empfindung dessen, was wir Ton nennen.

Ein Ton, im Gegensatze zu einem blossen Schall oder Geräusch entsteht nur dann, wenn die Impulse der Luft gegen das Ohr in regelmässiger Folge und in genügender Anzahl stattfinden.

Die Höhe eines Tones hängt ab von der Anzahl der Luftstösse in einer Secunde. Hohe Töne sind Luftstösse von grosser Zahl, tiefe dagegen von geringer Zahl. Die Grenze für die Empfindung eines musikalischen Tones liegt zwischen 16 und 4700 Stössen in der Secunde. Die Grenze der Hörbarkeit eines Tones überhaupt endigt bei 38.000 Schwingungen in der Secunde.

Die Stärke des Tones hängt unter übrigens gleichen Umständen von der Stärke der Impulse ab; schwingt die Saite kräftiger, so wird der Ton stärker, die Tonhöhe bleibt jedoch dieselbe.

Erregt ein schwingender Körper in dem den unermesslichen Weltraum ausfüllenden Weltäther eine schwingende Bewegung, und pflanzt sich dieselbe bis zur Netzhaut unseres Auges fort, so ruft sie unter Umständen den Eindruck dessen hervor, was wir Licht nennen.

Ein Körper ist leuchtend, wenn er den Weltäther in schwingende Bewegung versetzt. Die Schwingungen des Aethers pflanzen sich vom leuchtenden Körper aus kugelförmig mit der ungeheueren Geschwindigkeit von mehr als 40.000 geographischen Meilen in einer Secunde fort.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Jeder Halbmesser einer kugelförmigen Lichtwelle ist ein Lichtstrahl.

Die bewegte Luft in ihrer Einwirkung auf das Gehörorgan ist die Ursache des Schalles, der bewegte Aether in seiner Einwirkung auf das Sehorgan die Ursache des Lichtes.

Der Unterschied zwischen den Schwingungen der Luft und des Aethers besteht hauptsächlich nur darin, dass bei der ungemein grossen Feinheit und Elektricität des Aethers nicht bloss die Fortpflanzung der Aetherbewegung viel schneller erfolgt, sondern dass auch die Zahl der in einer Secunde erfolgenden Schwingungen ausserordentlich gross sein muss, um als Licht aufgefasst zu werden.

Die erste Empfindung der Aethererschütterung seitens des Auges beginnt bei etwa 430 Billionen Schwingungen in einer Secunde, und hört auf, wenn diese Anzahl etwa 750 Billionen erreicht hat. Im ersteren Falle besteht die Empfindung des Auges in einem dunkeln Roth, im letzteren Falle in einem tiefen Violett.

Wächst die Zahl der Schwingungen auf 560 Billionen, dann empfindet das Auge den Eindruck des Gelb, bei 600 des Grün, bei 650 des Blau, endlich bei 750 das Violett, mit welcher Farbe die Empfindlichkeit des menschlichen Auges für die Aetherbewegung aufhört, ohne jedoch dass dadurch der Geschwindigkeit der letzteren eine Grenze gesetzt wäre.

Aetherschwingungen, die zwar auch nach Billionen gezählt werden, aber sich noch nicht zur Zahl 430

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Billionen in der Secunde erhoben haben, werden als Wärme empfunden. Steigert sich hingegen die Zahl der Oscillationen in der Secunde über jene Grenze hinaus, wo mit dem dunkeln Violett alle Empfindung für das Auge aufhört, so tritt die chemische Wirkung mit besonderer Stärke hervor, der Sehnerv empfindet dann die Impulse des Aethers nicht mehr, weil sie sich zu rasch folgen; aber sie wirken zersetzend auf gewisse Stoffe, und wir gewahren sehr deutlich, dass diese durch unsichtbare Strahlen verändert werden. Es ist indessen einem englischen Physiker gelungen das zu rasche Tempo der Aetherschwingungen zu mässigen, und die unsichtbaren, chemisch wirkenden Strahlen, in den Bereich des Sehnervs zu bringen.

Die Stufenleiter der Farben von Roth, durch Gelb, Grün, Blau bis Violett ist also für das Auge was für das Ohr die Tonleiter ist, und es geschieht nicht ohne Grund, wennwir von Farbentönen und Farbenharmonie sprechen. Wir können elf Octaven hören, und nicht ganz eine sehen.

Fällt ein Lichtstrahl L (Fig. 1) auf eine spiegelnde Fläche MN im Punkte A schief auf, und man errichtet in A auf MN ein Loth Ax, so wird der Strahl LA nach $AL_{,}$ zurückgeworfen oder reflectirt, und zwar so, dass der Einfallswinkel LAx = ist dem Reflexionswinkel $xAL_{,}$, und dass $AL_{,}Ax$ und $AL_{,}$ in einer Ebene liegen. Ein Auge in der Richtung $AL_{,}$ wird den Gegenstand L

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

in der Richtung $AL_{,,}$ sehen. Man nennt diesen Vorgang die Zurückwerfung oder Reflexion des Lichts.

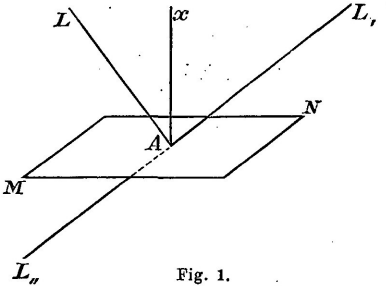

Fig. 1.

Wenn ein Lichtstrahl LA (Fig. 2) aus der Luft in das Wasser oder in das Glas, oder in einen andern durchsichtigen Stoff, dessen Dichtigkeit oder sonstige andere Beschaffenheit von dem ersteren abweicht, eindringt, so verlässt er seine bisherige Richtung, und gewinnt in dem andern durchsichtigen Stoff, oder in dem zweiten Mittel oder Medium, eine andere geradlinige Richtung $AL_{,,}$, welche mit dem ursprünglichen Strahle Lz einen Winkel bildet, derart, dass der letztere

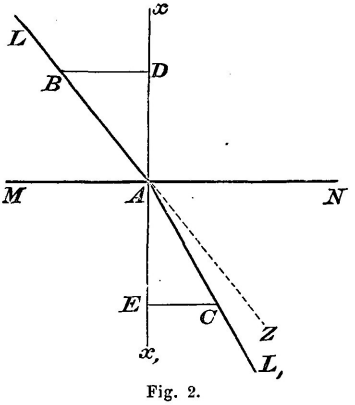

Fig. 2.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

an der Grenzfläche beider Mittel gebrochen erscheint, mit alleiniger Ausnahme des Falles, wo er zu der Oberfläche MN, welche beide Medien trennt, senkrecht steht. Denkt man sich in dem Punkte A, wo der Lichtstrahl in das neue Mittel tritt, ein Loth $xx_{,}$ auf die Trennungsfläche beider Medien gezogen, so heisst LAx der Einfallswinkel, und der Winkel $L_{,}A_{,}x_{,}$ der Brechungswinkel. Man nennt diese Abweichung des Lichtes von seiner geradlinigen Richtung die Brechung des Lichtes. Die Brechung des Lichtes erfolgt stets derart, dass die beiden Winkel in einer Ebene liegen, und dass das Verhältniss der auf $xx_{,}$ von den Punkten B und C, die von A in den Richtungen AL und $AL_{,}$ gleich weit abstehen, gefällten Lothe BD und CE ein constantes ist. Der Brechungswinkel kann kleiner oder grösser als der Einfallswinkel sein, d. h. die Brechung kann je nach der Beschaffenheit der beiden Medien zum oder vom Einfallslothe erfolgen.

Sowohl die Gesetze der Reflexion als die der Lichtbrechung lassen sich mit mathematischer Schärfe aus der vorhin angeführten Theorie des Lichtes ableiten.

Die Richtung des Lichtstrahls wird trotz der Brechung nicht verändert, wenn er durch einen Körper geht, der von parallelen Flächen begrenzt ist.

Der Lichtstrahl LA (Fig. 3) wird beim Eintritte in das von parallelen Flächen MN und $M_{,}N_{,}$ begrenzte Medium ebensoviel zum Lothe $xx_{,}$ als bei seinem Austritte vom Lothe $yy_{,}$ gebrochen, seine Richtung $A_{,}L_{,}$ ist nach dieser zweimaligen Brechung zu dem eintretenden Strahle parallel. Deshalb ist auch die Verschiebung der

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Strahlen nach dem Durchgange durch eine Glasscheibe überall gleich gross; die Gegenstände werden demnach durch die Glasscheibe in denselben relativen Stellungen erscheinen, wie beim directen Anschauen ohne Glas.

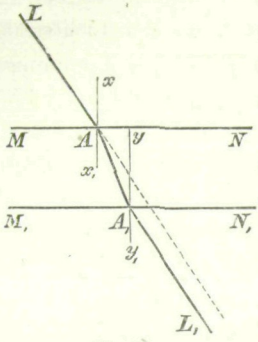

Fig. 3.

Legt man ein dickes Glas derart auf eine beliebige Zeichnung, dass es dieselbe nur zur Hälfte bedeckt, und man einen Theil derselben durch die Luft, den andern durch das Glas ansehen kann, so gewahrt man, wenn man in etwas schiefer Richtung und das Glas hinblickt, die Verschiebung der durch das Glas gesehenen Theile sehr deutlich.

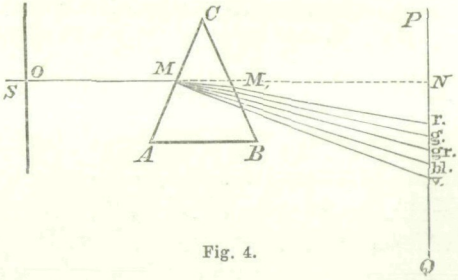

Fig. 4.

Das Wichtigste für unsere Zwecke ist der Durchgang des Lichtes durch ein Glasprisma. Ist *ABC* (Fig. 4) der Durchschnitt eines Glasprisma mit der Basis *AC* und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dem brechenden Winkel *ACB*, und lässt man durch eine schmale Spalte *O* in dem Fensterladen eines dunkeln Zimmers einen rothen Lichtstrahl *SM* auf das Prisma fallen, so wird derselbe beim Eintritte in das Prisma zu dem in *M* auf *AC* errichteten Lothe nach *MM*, und beim Austritte aus dem Prisma von dem in $M_,$ auf *BC* errichteten Lothe, z. B. nach $M_,r$ abgelenkt; auf einem weissen Schirme *PQ* wird man das rothe Bild der Spaltöffnung in *r* sehen.

Ein Auge in der Richtung $M_,r$ wird demnach die Spaltöffnung an einer höheren Stelle wahrnehmen.

Wiederholt man den Versuch nacheinander mit gelben, grünen, blauen und violetten Lichtstrahlen, so findet man, dass das rothe Licht am wenigsten, das Violette am meisten gebrochen wird, und dass die Brechbarkeit von Roth durch Orange, Gelb, Grün, Lichtblau, Dunkelblau bis zu Violett wächst.

Wir können nun schon im Voraus sagen was geschehen wird, wenn ein Lichtstrahl, der mehrere Farben zugleich besitzt, durch ein Prisma hindurchgehen muss.

Der Strahl wird nämlich nach dem Austritte aus dem Prisma in so viel einzelne Farben zerlegt, als er in sich enthält. Es besitzen demnach die Lichtstrahlen von verschiedener Farbe auch verschiedene Grade der Brechbarkeit.

Es drängt sich die Frage auf, welche Veränderung der nichtfarbige, d. h. der weisse Lichtstrahl *SM* erleiden wird, wenn er durch ein Prisma durch geht.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Der berühmte englische Gelehrte Newton machte im Jahre 1675 die merkwürdige Entdeckung, dass wenn ein Strahl weissen Sonnenlichtes *SM* auf ein Prisma *ABC* (Fig. 4) fällt, so wird der Strahl nach dem Durchgange durch dasselbe von seiner geradlinigen Richtung abgelenkt, und theilt sich in sehr viele einzelne farbige Strahlen, welche divergirend aus dem Prisma austreten, und auf dem Schirme anstatt des weissen Spaltbildes in *N* einen glänzenden langgestreckten farbigen Lichtstreifen bilden, man nennt denselben Spectrum.

Das Auge unterscheidet in dem Spectrum der Sonne, in welchem die einzelnen Farben allmälig ineinander übergehen, die sieben Hauptfarben: Roth, Orange, Gelb, Grün, Lichtblau, Dunkelblau und Violett.

Das weisse Licht wird durch das Prisma analysirt, das Resultat dieser Analyse ist die Sonderung aller im weissen Lichte enthaltenen farbigen Strahlen und das daraus hervorgehende Farbenbild oder Spectrum. Die Farben sind sämmtlich einfach und nicht weiter zerlegbar.

Diese Erscheinung, so wie überhaupt jede durch Brechung erzielte Zerlegung irgend eines Lichtes in nicht weiter zerlegbare Bestandtheile heisst Farbenzerstreuung oder Dispersion.

Eine Wiedervereinigung der Spectralfarben mit Hilfe eines Hohlspiegels oder einer Linse gibt wieder das weisse Licht.

Denkt man sich die ganze Länge des durch ein Prisma erzeugten Spectrums in 170 gleiche Theile ge-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

theilt, so reicht Roth etwa von 0 bis 35, von 35—50 reines Orange, von 50—60 Gelb, von 60—90 Grün, von 90—130 Blau, von 130—170 Violett. Das Auge vermag jedoch nicht eine scharfe Grenze zwischen den verschieden gefärbten Theilen zu ziehen.

In dem Lichte, welches uns die Sonne zusendet, gibt es ausser den Strahlen des färbigen Spectrums, auch noch Strahlen von geringerer Brechbarkeit, als das Roth, so wie andererseits solche von grösserer Brechbarkeit als die violetten. Jene bilden das Wärmespectrum, diese geben sich durch ihre chemischen Eigenschaften zu erkennen.

Wollaston entdeckte im Jahre 1802, dass wenn das Sonnenlicht durch ein Prisma zerlegt wird, die Farben des Regenbogens, welche das Spectrum bilden, nicht continuirlich aufeinanderfolgen, sondern vielmehr durch eine beträchtliche Anzahl dunkler Linien in unregelmässigen Zwischenräumen unterbrochen sind. Diese Linien finden sich stets im Sonnenspectrum, dasselbe mag durch directes, zerstreutes oder reflectirtes Licht hervorgebracht sein.

Die genaue Beobachtung und Messung dieser Linien ist für die Wissenschaft von grosser Wichtigkeit, denn nur dadurch, dass wir die Lage jeder Linie genau kennen, sind wir im Stande zu beweisen, dass Eisen, Natrium und viele andere Stoffe in der Sonnenatmosphäre und den Gestirnen enthalten sind.

Zuerst wurden diese dunklen Linien genauer untersucht von dem berühmten Optiker Frauenhofer; nach

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ihm wurden sie Frauenhofersche Linien genannt. Derselbe hat im Jahre 1814 die Lage von etwa 576 solcher dunkler Linien festgestellt.

Frauenhofer hob unter den Streifen in den verschiedenen Farben diejenigen heraus, welche am meisten hervorstechen, und somit leicht wieder gefunden werden können, und bezeichnete sie, von dem rothen Ende nach dem violetten hingehend, mit den Buchstaben *A*, *B*, ... *H*.

In dem rothen Theile des Spectrums befindet sich der einfach breite Streifen *A* nach der früher angeführten Eintheilung bei 18, das Streifenpaar *B* bei 28, der einfache Streifen *C* bei 34, *D* aus zwei gleich dunkeln Linien bei 50 im Gelben, *E* eine Gruppe mehrerer sehr naher Streifen bei 70 im Grünen, der dicke Streifen *F* bei 90 im Blauen, die Gruppe *G* zwischen Blau und Violett bei 127, und endlich die Gruppe *H* im violetten Theile des Spectrums bei 162.

Viele dieser Linien erscheinen feiner als das feinste Spinngewebe, nehmen demnach nur einen kleinen Theil des farbigen Feldes ein, so dass obgleich die Anzahl dieser Linien sehr gross ist, die Lichtstellen doch bedeutend über die Schattenstellen vorherrschen.

Frauenhofer zeigte, dass die relative Entfernung zweier Linien unverändert bleibt, ob directes Sonnenlicht, oder solches welches vom Monde und den Planeten zurückgestrahlt wird.

Frauenhofer machte noch eine weitere wichtige Beobachtung, er fand dass die Spectren der Fixsterne, die wie die Sonne selbstleuchtende Körper sind, auch

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dunkle Linien enthalten, welche indessen nicht mit denen des Sonnenspectrums übereinstimmen, und er zog daraus schon 1814 den bemerkenswerthen Schluss, dass was auch immer die Ursache sei, welche diese Linien erzeuge, irgend etwas sein müsse, welches ausserhalb unserer Atmosphäre sich befinde, und nicht durch Etwas, welches beim Durchgange der Sonnenstrahlen durch die Luft sich bilde; aber erst im Jahre 1859 haben Kirchhof und Bunsen in Heidelberg uns über die wahre Natur dieser Linien aufgeklärt, und hiedurch den Grundstein gelegt zu einer Chemie der Sonne und der Gestirne.

Wenn das von verschiedenen Lichtquellen ausgehende Licht durch ein Prisma zerlegt wird, so können sich die Spectra von einander in verschiedenen wichtigen Beziehungen unterscheiden, aber alle möglichen Spectra lassen sich in drei Classen theilen.

1. Ein continuirliches, lückenloses, alle Gattungen von Farben enthaltendes Spectrum, der Zusammenhang der Farben wird nirgends durch eine dunkle Linie unterbrochen.

Die Erfahrung lehrt, dass das Licht, dem das continuirliche Spectrum seine Entstehung verdankt, von einem glühenden festen oder flüssigen Körper ausgesendet wird. Ein solches Spectrum enthüllt uns die chemische Natur des glühenden Körpers, von welchem das Licht ausgegangen ist, nicht. Die Flamme des elektrischen Lichtes, des glühenden Kalkes, Eisens oder Magnesiums u. s. w. liefern ein in allen Punkten ähnliches continuirliches Spectrum.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

2. Ein discontinuirliches oder ein Gasspectrum; besteht aus einzelnen meist sehr unregelmässig geordneten leuchtenden Farbenstreifen, untermischt mit dunklen Zwischenräumen.

Die Erfahrung lehrt, dass die glänzende Substanz deren durch das Prisma zerlegte Licht ein discontinuirliches Spectrum liefert, im gasförmigen Zustande sich befindet, und dass die in gasförmigen Zustand übergeführten Substanzen von einander durch ihre Spectra unterschieden werden können.

Die Erfahrung hat ferner gelehrt, dass jedes Element sowohl, als jeder zusammengesetzte Körper, welcher ohne Zersetzung im gasförmigen Zustande leuchtend geworden ist, sich durch ein besonders nur diesem Stoffe angehöriges Spectrum auszeichne; und dass wenn mehrere Stoffe zugleich in Gasform glühen, deren Spectra unter Umständen übereinandergelegt, also zugleich erscheinen; so dass es für denjenigen, dem die Spectra der einzelnen Stoffe bekannt sind, nicht schwer fällt, aus dem Gesammtspectrum, welches die Mischung gewisser Stoffe ausstrahlt, jeden einzelnen Stoff zu erkennen.

Hiemit ist das Wesen der Spectralanalyse angedeutet. Sie analysirt die Körper in ihre Bestandtheile durch das Lichtbild oder das Spectrum, welches sie erzeugen, wenn sie sich im Zustande hoher Lichtausstrahlung befinden.

Kochsalz ist eine Verbindung des Metalles Natrium mit dem nicht metallischen Chlor. Verdampft man Kochsalz in einer schwach leuchtenden aber heissen Flamme,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

so wird dasselbe in seine Bestandtheile zerlegt; der metallische glühende Natriumdampf gibt ein Spectrum, das aus einer hellen Linie (bei 50) besteht, die sich unter Umständen als eine Doppellinie zu erkennen gibt, der Natriumdampf gibt demnach nur eine Art von Lichtstrahlen ab, sein Licht ist einfärbig oder monochromatisch.

Das Spectrum des glühenden Chlordampfes ist durch das sehr helle Spectrum des glühenden metallischen Natriumdampfes bis zur Unkenntlichkeit verdunkelt. Aehnlich verhalten sich auch die übrigen Chlormetalle; die Spectra der metallischen Dämpfe machen sich daher in hervorragender Weise geltend.

Die helle Natriumlinie fällt genau an die Stelle, an der im Sonnenspectrum die dunkle Linie *D* liegt.

Von allen Spectralreactionen ist die des Natriums am empfindlichsten. Der Chemiker hat keine einzige Reaction aufzuweisen, welche sich nur im Entferntesten mit der spectralanalytischen des Natriums an Empfindlichkeit vergleichen liesse.

Theilt man ein Kilo Kochsalz in 1,000.000 gleiche Theile, so heisst das Gewicht eines solchen Theiles ein Milligramm. Der Chemiker vermag mit den feinsten Wagen, und unter Anwendung besonderer Kunstgriffe, noch das Gewicht eines solchen Stäubchens zu bestimmen, aber damit ist er auch hart an der Grenze des chemischen Erkennens und Wägens angelangt. Nun aber denke man ein Milligramm in 3,000.000 Theile getheilt, so gelangt man zu einem so kleinen Stäubchen, dass

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

dafür jede Anschauung fehlt. Nach mit aller Sorgfalt angestellten Versuchen ist ein solches Theilchen hinreichend, um sich noch mit aller Bestimmtheit durch das Spectrum zu erkennen zu geben.

Natriumsalze sind stets in der Luft enthalten. Alle Körper, welche der Luft ausgesetzt sind, geben beim Erhitzen in der Flamme die gelbe Natriumlinie. Nicht minder zeigt sie der Staub, welcher sich im Zimmer aus der Luft absetzt.

Die Meerwassertröpfchen, welche in die Atmosphäre gelangen, verdunsten und hinterlassen kochsalzhaltige Sonnenstäubchen, die, wie es scheint, einen der Grösse nach wechselnden, aber nur selten fehlenden Gemengtheil der Atmosphäre ausmachen, und die vielleicht dazu bestimmt sind, den kleinen Organismen die Salze zuzuführen, welche die grösseren Pflanzen und Thiere dem Boden entnehmen.

Der glühend leuchtende Dampf des Lithiums gibt zwei scharf begrenzte Linien, eine gelbe sehr schwache und eine rothe sehr glänzende Linie. Man bezeichnet die charakteristischen Linien des Spectrums eines Stoffes nach dem Grade ihrer Helligkeit mit den griechischen Buchstaben α, β, γ . . . und fügt letztere dem chemischen Zeichen, mit welchen man den Stoff bezeichnet, hinzu. Bei Lithium also Liα, Liβ.

Von Lithium ist der 100.000ste Theil eines Milligramm nachweisbar. Dieses Metall, früher nur in vier

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Mineralien aufgefunden, ist eines der am meisten verbreiteten Elemente. Es findet sich in den meisten Felsarten, im Meer- und Flusswasser, in der Asche der meisten Pflanzen, in der Milch, im Blute und Muskelfleisch.

Das Calciumspectrum enthält eine höchst charakteristische und intensive Linie im Grün (Caβ), eine im Orange (Caα); $^{6}/_{100000}$ eines Milligramm sind mit Leichtigkeit noch nachzuweisen.

Das Spectrum des Kaliums zeigt zwei charakteristische Linien, die eine (*K*α bei 17) genau an die dunkle Linie *A* des Sonnenspectrums fallend, die andere (*K*β bei 153) weit in Violett ebenfalls einer Frauenhofer'schen Linie entsprechend.

Eine sehr schwache mit der Frauenhofer'schen Linie *B* zusammenfallende Linie *B*, die nur bei intensivsten Flammen sichtbar ist, ist wenig charakteristisch.

Bringt man ein Stückchen Eisen, Zink, Silber u. s. w. zwischen Kohlenspitzen, die als Polenden einer kräftigen galvanischen Kette dienen, so werden die Metalle in glühend leuchtenden Dampf verwandelt, und man kann das discontinuirliche oder Gasspectrum derjenigen einfachen Stoffe erhalten, die im gewöhnlichen Leben Metalle genannt werden.

Erhitzt man durch Elektricität Geisler'sche Röhren, welche Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlensäure u. s. w.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

in verdünntem Zustande enthalten, so strahlen diese ebenfalls ein charakteristisches Licht aus und man kann die Spectra dieser farblosen unsichtbaren Gase sich verschaffen.

Für denjenigen, welcher die Spectren aus wiederholter Anschauung kennt, bedarf es einer genauen Messung der einzelnen Linien nicht; ihre Farbe, ihre gegenseitige Lage, ihre eigenthümliche Gestalt und Abschattirung, die Abstufungen ihres Glanzes sind Kennzeichen, welche zur sicheren Orientirung vollkommen hinreichen.

Die staunenswerthe Empfindlichkeit der Spectralanalyse musste zur Entdeckung neuer Elemente führen.

Denn wenn es Stoffe gibt, die so sparsam in der Natur verbreitet sind, dass uns die bisherigen Mittel der Analyse bei ihrer Erkennung und Abscheidung im Stiche lassen, so wird man hoffen dürfen, solche Stoffe durch die Betrachtung ihrer Spectren noch in Mengen zu erkennen und zu bestimmen, die sich auf gewöhnlichem Wege jeder chemischen Wahrnehmung entziehen.

In der That hatte man Spectra gefunden, die von den Spectren der bisher bekannten Elemente verschieden sind. Es sind diese demnach neue Elemente. Bisher fand man die vier neuen Metalle Caesium, Rubidium, Thallium und Indium.

Eine dritte Art von Spectren sind jene der glühenden festen oder flüssigen Körper, in welchen die Stätig-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

keit der färbigen Bänder durch dunkle Streifen unterbrochen ist.

Ein solches Spectrum liefert, wie bereits auseinandergesetzt, die Sonne und die Fixsterne.

Kirchhof hat gezeigt, dass wenn Dämpfe irdischer Substanzen sich zwischen dem Auge und dem glühenden Körper befinden, sie gerade diejenigen Farben zurückhalten oder absorbiren, die sie selbst ausstrahlen würden, wenn der Dampf leuchtend wäre.

Der glühende Natriumdampf gibt unter den gewöhnlichen Verhältnissen ein aus einer hellen orangegelben Linie bestehendes Spectrum, er strahlt also nur dieses gelbe Licht aus.

Lässt man z. B. das weisse Licht des elektrischen Flammenbogens durch Natriumdampf hindurchgehen, so löscht letzterer aus dem weissen Lichte nur die gelben Strahlen aus, welche er im glühenden Zustande selbst ausstrahlt. Während diese gelben Strahlen durch den Natriumdampf absorbirt werden, gehen alle anderen farbigen Strahlen des weissen Lichtes durch das Prisma hindurch. Man sieht genau an derselben Stelle, wo der glühende Natriumdampf die glänzende gelbe Linie erzeugt, eine schwarze Linie.

Diese Umwandlung der hellen Linien in dunkle oder die Umkehrung der Gasspectra ist auch bei Calium, Calcium, Eisen, Kupfer und andern gelungen.

Kirchhof hat hiedurch ein Hilfsmittel geliefert, die dunklen Streifen des Sonnenspectrums zu erklären und zugleich die Anwesenheit mehrerer irdischer Elemente

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

in der Sonnenatmosphäre zu entdecken. Dazu ist es nur nöthig, die glänzenden Linien der Spectren des Lichtes irdischer Substanzen mit den dunklen Linien des Sonnenspectrums zu vergleichen.

Wenn eine Gruppe glänzender Linien mit einer Gruppe dunkler Linien zusammenfällt, so erkennen wir, dass die irdische Substanz, welche diese Gruppe glänzender Linien hervorbringt, in der Sonnenatmosphäre vertreten ist. Denn es ist nur diese Substanz und keine andere, welche durch ihr Absorptionsvermögen die besondere Gruppe dunkler Linien hervorbringen kann.

Gerade wie die Natriumlinie mit der dunkeln Doppellinie *D* zusammenfällt und auf das Vorhandensein von Natrium auf der Sonne hindeutet, so hat jede Eisenlinie, von welcher Kirchhof und Angström nicht weniger als 460 gemessen haben, ihren dunklen Repräsentanten im Sonnenspectrum.

Der Eindruck, welchen man empfängt, wenn man das Eisenspectrum zugleich mit dem Sonnenspectrum betrachtet, und diese Hunderte von Uebereinstimmungen sieht, und für eine jede helle Eisenlinie auch ihren dunkeln Stellvertreter zugleich erblickt, führt Jeden zu dem Schlusse: es ist Eisen in der Sonne enthalten. Weitere Forschungen haben gezeigt, dass Natrium, Eisen, Calcium, Baryum, Magnesium, Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Mangan, Titan, Aluminium, Wasserstoff enthalten.

Die bei totalen Sonnenfinsternissen am Rande der Sonne bis zu einer ungeheueren Höhe emporschiessenden flammenähnlichen Gebilde, die sogenannten Protube-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

ranzen sind mittelst der Spectralanalyse als glühendes Wasserstoffgas erkannt worden. Die Sonne ist demnach ein starrer glühender Körper, umgeben von einer dampfförmigen ebenfalls glühenden Hülle, in welcher die früher genannten Elemente enthalten sind.

Ebenso haben umfangreiche spectralanalytische Untersuchungen unter andern zu den Schlussfolgerungen geführt, dass die Sterne elementare Stoffe enthalten, welche sie mit der Erde und der Sonne gemein haben, und dass es am Himmel wirkliche Nebel gebe, welche aus einem leuchtenden Gase bestehen.

Bei einigem Nachdenken wird sich Jeder die Frage stellen, warum denn, wenn auch das Licht des Natriumdampfes die gelben Lichtstrahlen aus dem intensiven weissen Lichte, welches durch diese hindurchgeht, absorbire, nicht wenigstens die gelben Strahlen des Natriumdampfes, die gelbe Natriumlinie wieder herstelle?

Folgende Erörterung dient zur vollständigen Beantwortung dieser Frage, sowie zur Feststellung der wahren Natur der dunkeln Linien.

Setzt man z. B. die Intensität des Lichts im Spectrum des elektrischen Flammenbogens vor und hinter der Natriumlinie $= 100$, die des Natriumdampfes $= 1$, seine Absorptionskraft $= {}^3/_4$, so ist $101 - 100 \times {}^3/_4 = 26$ die Intensität der Natriumlinie selbst.

Man sieht hieraus, dass an den Stellen, wo die dunkeln Absorptionslinien entstehen, keineswegs alles Licht fehlt, die Linien nicht als völlig schwarz zu bezeichnen sind, aber durch den Contrast mit ihrer Umgebung können

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

diese Linien als ganz schwarz erscheinen. Die hohe Wichtigkeit der Spectralanalyse macht es wünschenswerth, Spectralapparate oder Spectroskope zu besitzen, welche von jeder beliebigen Lichtquelle ein Spectrum zu erzeugen und zu beobachten gestatten.

Das allen Spectroskopen Gemeinsame besteht aus einer Lichtquelle, die sehr heiss aber sehr lichtarm ist.

Hiezu eignet sich am besten der Bunsen'sche Brenner oder die Bunsen'sche Lampe (Fig. 5). Sie hat die Einrichtung, dass man dem Leuchtgase, welches in den unteren Theil *a* einströmt, gestattet, sich mit der atmosphärischen Luft zu vereinigen, bevor es zu der Ausflussöffnung gelangt. Zu diesem Zwecke ist der untere Raum bei *c* durchlöchert, damit die äussere Luft während des Brennens durch diese Oeffnung von selbst einströmt. Man erhält auf diese Weise eine schwach leuchtende aber sehr heisse Flamme *l*.

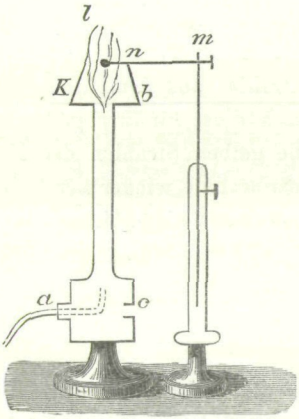

Fig. 5.

K ist ein Mantel von geschwärztem Blech, um das Flackern der Flamme zu verhüten. Bringt man in die Flamme *l* ein Körnchen des betreffenden Stoffes an das Oehr eines feinen Platindrahtes *mn*, so nimmt die Flamme die entprechende cha-

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

rakteristische Farbe an, welche geeignet ist das Gasspectrum des Stoffes zu erzeugen.

In den meisten Fällen reicht die Temperatur des Bunsen'schen Brenners hin, um die zu untersuchenden Stoffe zu verflüchtigen, und ein intensives Licht zu erzeugen, auf dass ihre Spectra scharf hervortreten.

Für die Verflüssigung der schweren Metalle und deren Verbindungen muss die Hitze des elektrischen Lichtes, wie bereits angedeutet, angewendet werden.

Bekanntlich brennt Leuchtgas, ein Gemenge von Kohlenwasserstoffgasen, mit bedeutender Leuchtkraft. Lässt man aber dem Leuchtgase, bevor es verbrennt, eine Quantität Sauerstoff oder atmosphärische Luft beimengen, damit der Sauerstoff in das Innere der Flamme dringe, so wird der hellleuchtenden Gasflamme das Licht benommen.

Bei hinreichender Menge von Sauerstoff erfolgt die Verbrennung sowohl des Wasserstoffs als des Kohlenstoffs zu Wasser und Kohlensäure in allen Theilen der Flamme zugleich. Es ist eine merkwürdige Thatsache, je vollständiger und schneller die Verbrennung des Kohlenstoffes und Wasserstoffes vor sich geht, desto weniger ist ein Leuchten möglich, aber desto grösser ist die Wärmeentwicklung, man erhält eine Heizflamme.

Nur wenn sich in einem Gase starre Theilchen abscheiden, die, bevor sie aus Mangel an Luftzutritt verbrennen, in der heissen Flamme des Gases weissglühen,

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

nur dann leuchtet die Flamme. Das was im Leuchtgase leuchtet, ist nichts anderes als äusserst fein zertheilter Kohlenstoff. Sperrt man den Zutritt der Luft zu dem Leuchtgase bei *c* ab, so leuchtet die Flamme wie jede andere Gasflamme.

Ausser der charakteristisch gefärbten Flamme *l* ist (Fig. 6, schematische Darstellung) eine verstellbare Spalte *s*, und am Ende des die Spalte enthaltenden Rohres

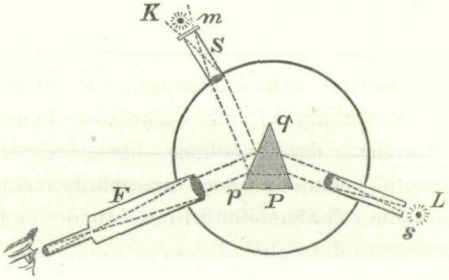

Fig. 6.

eine Glaslinse nothwendig, um die durch die Spalte durchgehenden Strahlen parallel zu machen; sodann das Prisma *P*, von dem alles Seitenlicht abgehalten ist. Das aus dem Prisma austretende Spectrum wird mittelst eines vergrössernden Fernrohrs *F* beobachtet.

Am Ende eines dritten Rohres *S*, mit beiden ersten in derselben Ebene liegend, ist eine auf Glas photographirte mikroskopische Millimeterscala *m* angebracht. Die Axen der beiden Rohre *F* und *S* bilden mit der Prismenfläche *pq* gleiche Winkel; folglich wird die durch das

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Licht *K* beleuchtete Scala *m*, nach den Gesetzen der Reflexion des Lichtes an der spiegelnden Glasfläche des Prismas in der Richtung der Axe des Fernrohrs *F* reflectirt, und das Spiegelbild derselben durch das Fernrohr gleichzeitig mit dem zu beobachtenden Spectrum gesehen.

Die merkwürdigen Stellen im Spectrum lassen sich demnach durch die bezifferten Theilstriche bestimmen, und die Abstände von einander genau angeben.

Durch Leichtigkeit in der Handhabung, durch geringe Dimension und durch vorzügliche Leistung zeichnen sich die sogenannten Taschen-Spectroskope von Hofmann und Browning aus. Das Hofmann'sche Taschen-Spectroskop hat das Ansehen eines gewöhnlichen Fernrohres, und wird bei dem Gebrauche entweder in der Hand gehalten, oder, um die zitternde Bewegung der Hand zu vermeiden, auf ein kleines Stativ leicht drehbar aufgestellt.

An dem vorderen nach der Lichtquelle hingerichteten Theile befindet sich der Spalt *s* (Fig. 7), die durch den Spalt divergirend einfallenden Lichtstrahlen fallen

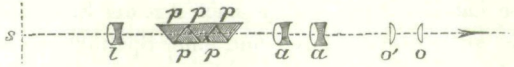

Fig. 7.

auf eine Linse *l*, welche die Strahlen nach ihrem Austritte aus der Linse parallel macht, und auf die dahintergestellten fünf Prismen *p* wirft. Letztere, von denen das

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

1., 3. und 5. aus Crownglas, das 2. und 4. Flintglas sind, bilden ein System mit so bemessenen Winkeln, dass die aus demselben austretenden färbigen Spectralstrahlen die Richtung der einfallenden Strahlen haben, und daher in dem Rohre, in welchem die vereinigten Prismen sich befinden, geradlinig fortgehen.

Die Linsen *a* und *a*, bilden das Objectiv, *o* und *o*, das Ocular eines ausziehbaren kleinen Fernrohres, durch welches man das Spectrum betrachtet.

Das $3^1/_2$ Zoll lange Spectroskop von Browning hat sieben Prismen, der Spalt wird bei demselben einfach durch Drehung eines am Ende befindlichen Ringes regulirt.

Man braucht nur das kleine fernrohrartige Instrument in gerader Richtung nach der Lichtquelle hinzurichten, um sofort das Spectrum der letzteren wahrzunehmen.

Wenn es sich darum handelt, die angeführten Arten der Spectren einem Publicum vorzuführen, so bedient man sich des Projectionsapparates von Duboscq.

In einem völlig dunkeln Saale stellt man (Fig. 8) eine Laterne *A* auf, welche nach Art der Zauberlaterne vorn mit einer Glaslinse *l* und einer Spaltöffnung *s*, und rückwärts mit einem reflectirenden Hohlspiegel versehen ist; *E* ist das höchst intensive und die höchste Wärme spendende Licht des galvanischen Flammenbogens, oder des elektrischen Kohlenlichtes einer 50- bis 60elementigen Bunsen'schen Batterie.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Das Licht tritt durch den feinen senkrechten Spalt *s*, dessen Bild man mit Hilfe der beweglichen Linse *m* auf einen etwa 4 Meter entfernten weissen Schirm werfen kann. Hinter die Linse stellt man sodann, um das

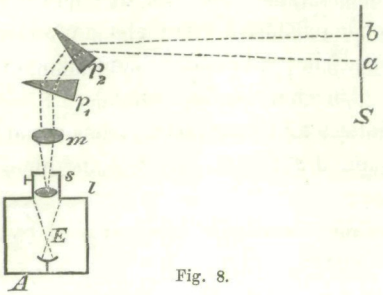

Fig. 8.

Spectrum zu verlängern und deutlicher zu machen, zwei Prismen p_1 p_2 auf.

Das Spectrum *ab*, welches auf diese Weise erhalten wird, ist ein continuirliches Spectrum.

Ersetzt man das dünne Kohlenstäbchen in der Lampe durch einen stärkeren Cylinder von reiner Kohle, dessen oberes Ende etwas ausgehöhlt ist, und legt man in diese Höhlung ein erbsengrosses Stück Zink, Kupfer, Silber, Natrium oder Thallium, im Allgemeinen solche Stoffe, welche im elektrischen Flammenbogen einen glühenden Dampf von solcher Leuchtkraft geben, dass ungeachtet des Durchganges des Lichtes durch die Linse und das dicke Prisma und der grossen Entfernung des Schirmes von der Lichtspalte noch ein hinlänglich klares und

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

weithin sichtbares Spectrum entsteht, so erhält man das discontinuirliche oder das Gasspectrum der glühenden Dämpfe, welche den Lichtbogen zwischen beiden Kohlenstäbchen ausfüllen.

Das Spectrum des leuchtenden Zinkdampfes besteht nur aus einem rothen, und aus drei blauen nahe zusammenstehenden Bändern. Auf gleiche Weise erhält man das Spectrum der glühenden Kupferdämpfe, bestehend aus drei glänzenden grünen Bändern. Eine Legirung beider Metalle gibt ein Spectrum, das aus der Uebereinanderlegung der Spectra der Bestandtheile zusammengesetzt ist.

Verbrennt man ein erbsengrosses Stück Natrium zwischen dem Spalt *s* und der Linse *m*, so bildet sich Natriumdampf in reichlicher Fülle, durch welchen die Strahlen des elektrischen Lichtes hindurchgehen müssen. In dem Spectrum des elektrischen Lichtes sieht man jetzt an der Stelle, wo der glühende Natriumdampf allein eine gelbe Linie geben würde, jetzt einen Strich von intensiver Dunkelheit. Der Natriumdampf hat das gelbe Licht von der Brechbarkeit des Natriumlichtes aus dem weissen Lichte der glühenden Kohlenspitzen wenigstens theilweise absorbirt und ausgelöscht.

Auf diese Weise erhält man ein Absorptions- oder umgekehrtes Spectrum des Natriums.

Ginge das elektrische Licht durch Eisendampf, so würden auf dem färbigen Grunde des continuirlichen Spectrums ebensoviele dunkle Linien vorhanden sein, als der glühende Eisendampf selbst helle Linien liefert.

©Ver. zur Verbr.naturwiss. Kenntnisse, download unter www.biologiezentrum.at

Obwohl die Spectralanalyse erst seit dem Jahre 1859 in den Dienst der Chemie und Astronomie getreten ist, sind doch ihre Leistungen bereits gegenwärtig nach den verschiedensten Beziehungen hin wahrhaft erstaunenswerth.

Wir forschen mit Hilfe derselben nach neuen Elementen, wir zerlegen gegenwärtig das Licht der Sonne, der Planeten, der Fixsterne, der Kometen, der Nebelflecke mittelst des Prisma in seine Bestandtheile, und erhalten von diesen Lichtern die Spectra in ähnlicher Weise, wie wir das Spectrum irgend eines irdischen Stoffes darstellen.

Indem wir dann die Spectra der Sterne mit den Spectren der irdischen Stoffe vergleichen, gelangen wir aus der völligen Uebereinstimmung oder Abweichung derselben zu dem Resultate, dass diese Stoffe in jenen weit entfernten Himmelskörpern enthalten sind oder nicht.

Das ist in allgemeinen Zügen das Wesen und die Tragweite der Spectralanalyse.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien

Jahr/Year: 1877

Band/Volume: 17

Autor(en)/Author(s): Schenk Johann

Artikel/Article: Elemente der Spectralanalyse. 249-279