

Notiz über die Spektrallinien des Wasserstoffs.

Von Dr. J. J. Balmer.

Am 12. Februar 1880 legte Herr Helmholtz in der Sitzung der k. Akademie der Wissenschaften zu Berlin eine Mittheilung des Herrn Dr. H. W. Vogel vor, betreffend einige neue, im violetten und ultravioletten Theil des Spektrums von ihm beobachtete Wasserstofflinien, welche nach Huggins' photographischen Spektral-Aufnahmen auch im Spektrum weisser Sterne vorkommen.

Folgendes sind im Wesentlichen die Thatsachen der betreffenden Mittheilung des Herrn Dr. Vogel:

Nach bisher geltender Anschauung zeigte das Spektrum des Wasserstoffs vier Hauptlinien, deren Wellenlänge von Angström in seinem Werk über das Sonnenspektrum mit grosser Sorgfalt bestimmt worden ist. Diese Wellenlängen betragen, in Zehnmilliontel mm. ausgedrückt, für die Fraunhofer'sche C-Linie im Roth 6562,₁, für die F-Linie im Blaugrün 4860,₇₄, für die blaue Linie vor G 4340,₁ und für die violette h-Linie 4101,₂.

Bei den im Februar 1879 von Herrn Dr. Vogel publicirten photographischen Aufnahmen wasserstoffhaltiger Geissleröhren erhielt derselbe jedoch neben diesen bekannten Linien mehrere neue im Violett und

Ultraviolett, die den Hauptwasserstofflinien an Intensität und Schärfe nahe kamen, und deren Charakter und Wellenlänge er in den „Monatsberichten“ vom 3. Februar und 10. Juli 1879 beschrieb. Dass diese neuen Linien der grossen Mehrzahl nach wirklich Wasserstofflinien seien, schien sich später durch die sorgfältigsten Versuche an Geissleröhren zu bestätigen, welche mit chemisch reinem Wasserstoff gefüllt worden waren. Unter diesen neuen Linien fiel durch ihre ausserordentliche Intensität eine auf, welche mit der Frauenhofer'schen H_I-Linie fast genau zusammenfiel, und deren Wellenlänge früher zu 3968, später genauer und sicherer zu $3969 \frac{\text{mm.}}{10^7}$ bestimmt wurde.

Auch Huggins hatte im Spektrum der weissen Sterne Vega und Sirius das starke Hervortreten der ersten H-Linie Frauenhofers auffallend gefunden, während die sie sonst stets begleitende zweite H-Linie entweder gänzlich fehlt oder kaum bemerkbar ist. Diese beiden H_I- und H_{II}-Linien gehören sonst dem Spektrum des Calciums an, und Lockyer glaubte aus der zuletzt erwähnten Thatsache des Verschwindens der zweiten H-Linie den Schluss ziehen zu müssen, dass sich das Calcium in der hohen Temperatur der weissen Sterne in zwei verschiedene Körper trenne, von denen der eine die erste, der andere die zweite H-Linie erzeuge.

Herr Dr. Vogel dagegen deutet die Thatsache so, dass die im Spektrum der weissen Sterne auftretende Linie bei H_I nicht die eigentliche Calciumlinie sei, sondern eine mit ihr fast genau zusammenfallende fünfte Hauptlinie des Wasserstoffs. Er glaubt zu dieser Ansicht um so mehr berechtigt zu sein, als die Wasserstofflinien in den Spektren gedachter Sterne vorzüglich entwickelt sind und breiter und intensiver erscheinen, als die Was-

serstofflinien im Sonnenspektrum. Namentlich aber gewinnt seine Ansicht eine noch grössere Stütze durch die Anfangs 1880 erschienene Veröffentlichung Huggins' über seine Photographieen der Spektren weisser Sterne.

In derselben gibt Huggins die Lage und Wellenlänge der von ihm im Violett und Ultraviolett erhaltenen Linien an. Zwei derselben, eine blaue und eine violette, entsprechen den bekannten Wasserstofflinien $H\gamma$ vor G und $H\delta$ in h ; die vier folgenden aber stimmen so auffällig mit den von Herrn Dr. Vogel gefundenen und veröffentlichten Wasserstofflinien überein, dass sie zweifellos dem Wasserstoff zugerechnet werden müssen. Die Wellenlängen der vier neuen Wasserstofflinien Dr. Vogel's und der entsprechenden Sternlinien Huggins' sind in Zehnmilliontel mm.

	nach Dr. H. W. Vogel	nach Huggins
$H\epsilon$ (bei $H\tau$)	3969	3968
$H\zeta$	3887	3887,5
$H\eta$	3834	3834
$H\theta$	3795	3796.

Ausser diesen neuen Linien hat Huggins, dessen Quarzprismen ein noch weiter ins Ultraviolett hineinreichendes Spektrum ermöglichten, als die Glasprismen des Herrn Dr. Vogel, noch sechs weitere Sternlinien angegeben, von denen er die Vermuthung hegt, dass sie alle zusammengehören und wahrscheinlich ein- und demselben Stoffe ihren Ursprung verdanken. Auch Huggins anerkennt in einem Schreiben an Herrn Dr. Vogel des Letztern Schlussfolgerungen und meint, es sei kaum zu zweifeln, dass alle starken Linien im Spektrum der Vega dem Wasserstoff angehören.

Ausser den Hauptlinien, auf welche sich die vorstehenden Nachrichten vorzugsweise beziehen, zeigen

sich im Spektrum des Wasserstoffs der Geissleröhren noch eine Anzahl feiner und schwacher, auch zuweilen verwaschener, unscharfer Linien, die Herr Dr. Vogel glaubt dem Wasserstoff zuschreiben zu sollen; doch treten dieselben neben jenen Hauptlinien sehr zurück.

So weit das Thatsächliche, an das ich gerne einige Bemerkungen knüpfen möchte.

Der Wasserstoff, dessen Atomgewicht unter den Atomgewichten aller bis jetzt bekannten Stoffe das weitest kleinste ist und denselben als das einfachste chemische Element charakterisirt, jener Stoff, dessen durch die Brechung zerlegtes Licht im Sonnenspektrum unsichtbar Kunde giebt von den gewaltigen Bewegungen und Kräften, welche die Oberfläche unseres Centralkörpers aufregen, scheint mehr als irgend ein anderer Körper dazu berufen, der Forschung über das Wesen der Materie und über ihre Eigenschaften neue Bahnen zu eröffnen. Und da sind es besonders die numerischen Verhältnisse der Wellenlängen der vier ersten Wasserstofflinien, welche die Aufmerksamkeit reizen und fesseln. Die Verhältnisse dieser Wellenlängen lassen sich nämlich überraschend genau durch kleine Zahlen ausdrücken. So verhält sich die Wellenlänge der rothen zu derjenigen der violetten Wasserstofflinie wie 8 zu 5; die der rothen zu jener der blaugrünen wie 27 zu 20 und die der blaugrünen zu derjenigen der violetten wie 32 zu 27. Dieser Umstand musste nothwendig an analoge Verhältnisse in der Akustik erinnern, und man glaubte die Schwingungen der einzelnen Spektrallinien eines Stoffes gleichsam als Obertöne eines demselben eigenthümlichen Grundtones auffassen zu dürfen. Doch alle Versuche, einen solchen Grundton z. B. für den Wasserstoff aufzufinden, haben sich nicht als befriedi-

gend erwiesen. Man käme mit einer solchen Berechnung auf so grosse Zahlen, dass damit für eine klarere Einsicht nichts gewonnen wäre. Beispielsweise erhielte man für die 1^{ste}, 2^{te} und 4^{te} Wasserstofflinie schon einen Grundton, welcher die 27fache Länge der 2^{ten} Linie darstellt. Mit jeder neu hinzuzunehmenden Linie würde sich der gesuchte Grundton mit ganz bedeutend vergrösserter Wellenlänge darstellen. Dennoch lag der Gedanke nahe, es müsste eine einfache Formel geben, mit Hülfe deren die Wellenlängen der vier ausgezeichneten Wasserstofflinien sich darstellen liessen. In den Versuchen, welche ich vor einiger Zeit in dieser Richtung machte, als mir von Dr. Vogel's und Huggins' neu entdeckten Wasserstofflinien noch nichts bekannt war, wurde ich durch die Aufmunterung des Herrn Prof. E. Hagenbach er-muthigt. Die sehr genauen Messungen Angström's der vier Wasserstofflinien ermöglichten es, für deren Wellenlängen einen gemeinschaftlichen Faktor aufzu-suchen, der zu den Wellenlängen in möglichst einfachen Zahlenverhältnissen stand. So gelangte ich denn allmählig zu einer Formel, welche wenigstens für diese vier Li-nien als Ausdruck eines Gesetzes gelten kann, durch welches deren Wellenlängen mit einer überraschenden Genauigkeit dargestellt werden. Der gemeinschaftliche Faktor für diese Formel ist, wie er sich aus den Ang-ström'schen Bestimmungen ableitet:

$$\left(h = 3645,6 \frac{\text{mm.}}{10^7} \right)$$

Man könnte diese Zahl die Grundzahl des Was-serstoffs nennen; und wenn es gelingen sollte, auch für andere Elemente die entsprechenden Grundzahlen ihrer Spektrallinien zu finden, so wäre die Vermuthung ge-stattet, dass zwischen diesen Grundzahlen und den ent-

sprechenden Atomgewichten bestimmte, wieder durch irgend eine Funktion ausdrückbare Beziehungen stattfinden.

Die Wellenlängen der vier ersten Wasserstofflinien ergeben sich nun dadurch, dass die Grundzahl $h = 3645,6$ der Reihe nach mit den Coefficienten $\frac{9}{5}$; $\frac{4}{3}$; $\frac{25}{21}$ und $\frac{9}{8}$ multiplicirt wird. Scheinbar bilden diese vier Coefficienten keine gesetzmässige Reihe; sobald man aber den zweiten und den vierten durch 4 erweitert, stellt sich die Gesetzmässigkeit her, und die Coefficienten erhalten zum Zähler die Quadrate der Zahlen 3, 4, 5, 6, und zum Nenner eine je um 4 kleinere Zahl.

Es ist mir aus verschiedenen Gründen wahrscheinlich, dass die vier eben genannten Coefficienten zwei Reihen angehören, so dass die zweite Reihe die Glieder der ersten Reihe noch einmal aufnimmt; und so komme ich dazu, die Formel für die Coefficienten allgemeiner so darzustellen: $\left(\frac{m^2}{m^2 - n^2} \right)$ wobei m und n stets ganze Zahlen sind.

Für $n = 1$ erhält man die Reihe $\frac{4}{3}, \frac{9}{8}, \frac{16}{15}, \frac{25}{24}$ etc.,

für $n = 2$ die Reihe $\frac{9}{5}; \frac{16}{12}; \frac{25}{21}; \frac{36}{32}; \frac{49}{45}; \frac{64}{60}; \frac{81}{77}; \frac{100}{96}$ etc.

In dieser zweiten Reihe ist je das zweite Glied schon in der ersten Reihe, aber hier in gekürzter Form vorhanden.

Führt man mit diesen Coefficienten und der Grundzahl $3645,6$ die Berechnung der Wellenlängen aus, so erhält man folgende Zahlen in $\frac{\text{mm.}}{10^7}$ für dieselben.

Es wird nach der Formel	Angström hat	Differenz
$H\alpha$ (C-Linie) = $\frac{9}{5}h = 6562,08$	6562,10	+ 0,02
$H\beta$ (F-Linie) = $\frac{4}{3}h = 4860,8$	4860,74	— 0,06
$H\gamma$ (vor G) = $\frac{25}{21}h = 4340$	4340,1	+ 0,1
$H\delta$ (h-Linie) = $\frac{9}{8}h = 4101,3$	4101,2	— 0,1

Die Abweichung der Formel von der Angström'schen Beobachtung beträgt also im ungünstigsten Falle noch nicht $\frac{1}{40000}$ der Wellenlänge, eine Abweichung, welche ganz wohl noch innerhalb der Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler liegen dürfte und eher ein glänzendes Zeugniß für die grosse Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt ist, mit welcher Angström bei seinen Operationen zu Werke gegangen sein muss.

Nach der Formel erhielt man für eine fünfte Wasserstofflinie $\frac{49}{45} \cdot 3645,6 = 3969,65 \frac{\text{mm}}{10^7}$. Von einer solchen fünften Linie, die noch innerhalb des sichtbaren Theils des Spektrums, ganz nahe vor H_1 (welches nach Angström die Wellenlänge 3968,1 hat) liegen müsste, war mir nichts bekannt; und ich musste entweder annehmen, dass die Temperaturverhältnisse zur Entwicklung dieser Linie nicht günstig genug seien, oder dass dennoch die Formel keine allgemeine Geltung besitze.

Auf meine Erkundigung theilte mir Herr Prof. Hagenbach mit, es existirten noch eine grössere Anzahl, namentlich von den Herren Dr. Vogel und Huggins gemessener Wasserstofflinien im violetten und ultravioletten Theile des Wasserstoffspektrums und des Spektrums weisser Sterne; er war so freundlich, selbst eine

Vergleichung der betreffenden Wellenlängebestimmungen mit meiner Formel durchzuführen und mir das Ergebniss mitzutheilen.

Trotzdem die Formel im Allgemeinen etwas grössere Zahlen ergibt, als die Veröffentlichungen Dr. Vogel's und Huggins' sie enthalten, so ist der Unterschied zwischen den berechneten und den beobachteten Wellenlängen so klein, dass die Uebereinstimmung im höchsten Grade überraschen muss. Vergleichen der Wellenlängebestimmungen verschiedener Forscher zeigen im Allgemeinen keine vollkommen genaue Uebereinstimmung; doch lassen sich die Beobachtungen des einen auf die des andern durch eine kleine Reduktion in ganz befriedigender Weise zurückführen.

Auf nebenstehender Tabelle sind diese Messungen zusammengestellt und die Ergebnisse der Wellenlängen nach der Formel damit verglichen worden. Die Angaben von Dr. Vogel und Huggins fallen dabei immer noch etwas kleiner aus, als wenn man die Grundzahl für Wasserstoff auf $3645 \frac{\text{mm.}}{10^7}$ reducirt.

Tabelle der Wellenlänge für

Fraunhofers Bezeichnung :	$H\alpha = \frac{9}{5}h$ C	$H\beta = \frac{4}{3}h$ F	$H\gamma = \frac{25}{21}h$ vor G	$H\delta = \frac{9}{8}h$ h
Beobachter :				
Van d. Willigen *)	6565 _{,6}	4863 _{,94}	4342 _{,80}	4103 _{,8}
Angström	6562 _{,10}	4860 _{,74}	4340 _{,10}	4101 _{,2}
Mendenhall	6561 _{,62}	4860 _{,16}		
Mascart	6560 _{,7}	4859 _{,8}		
Ditscheiner	6559 _{,5}	4859 _{,74}	4338 _{,60}	4100 _{,0}
Huggins		für die ultravioletten Hlinien weisser		
Vogel				
Formel: $H = \frac{m^2}{m^2 - 2^2} h$	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = 6$
h = 3645 _{,6}	6562 _{,08}	4860 _{,8}	4340	4101 _{,3}
h = 3645	6561	4860	4339 _{,283}	4100 _{,625}

*) Wenn man diesen, durchschnittlich um $\frac{1}{1500}$ höher stehenden Werthen nur $\frac{1}{3}$ so viel Gewicht beilegt, wie den übrigen Beobachtungen, so erhält man als genauen Mittelwerth für h : 3645.

Aus diesen Vergleichen ergibt sich zunächst, dass die Formel auch für die fünfte, nahe vor der ersten Fraunhofer'schen H-Linie (welche dem Calcium zugehört) liegende Wasserstofflinie zutrifft. Ferner zeigt sich, dass die Vogel'schen Wasserstofflinien und die ihnen entsprechenden Huggins'schen Linien weisser

die Wasserstofflinien in $\frac{\text{mm}}{10^7}$.

$H\epsilon = \frac{49}{45} h$ nahe vor H_I	$H\zeta = \frac{16}{15} h$	$H\eta = \frac{81}{77} h$	$H\theta = \frac{25}{24} h$	$H\iota = \frac{121}{117} h$	Mittelwerthe der Grundzahl h.
	u l t r a v i o l e t t				
($H_I = 3971_{,3}$)					$h = 3647_{,821}$
($H_I = 3968_{,1}$)					$h = 3645_{,589}$
					$h = 3645_{,232}$
($H_I = 3967_{,2}$)					$h = 3644_{,842}$
($H_I = 3966_{,8}$)					$h = 3644_{,460}$
Sterne :	3887 _{,5}	3834	3796	3767 _{,5}	$h = 3644_{,528}$
3969	3887	3834	3795	3769	$h = 3644_{,379}$
$m = 7$	$m = 8$	$m = 9$	$m = 10$	$m = 11$	
3969 _{,65}	3888 _{,64}	3834 _{,98}	3797 _{,5}	3770 _{,2}	
3969	3888	3834 _{,35}	3796 _{,875}	3769 _{,615}	

Sterne durch die Formel sehr befriedigend dargestellt werden. Man dürfte fast als sicher voraussetzen, dass auch die nachfolgenden Linien weisser Sterne, welche Huggins noch weiter im ultravioletten Theile des Spektrums gefunden hat, mit durch die Formel ausgedrückt werden. Eine Kenntniss der betreffenden Wellen-

längebestimmungen fehlt mir. Nach der Formel ergeben sich mittelst der Grundzahl 3645,₆ folgende Bestimmungen für die 9^{te} und die folgenden bis zur 15^{ten} Wasserstofflinie:

$$\frac{121}{117} h = 3770,_{24}$$

$$\frac{36}{35} h = 3749,_{76}$$

$$\frac{169}{165} h = 3733,_{98}$$

$$\frac{49}{48} h = 3721,_{55}$$

$$\frac{225}{221} h = 3711,_{58}$$

$$\frac{64}{63} h = 3703,_{46}$$

$$\frac{289}{285} h = 3696,_{76}$$

Ob die Wasserstofflinien der weissen Sterne auch noch so weit der Formel Recht geben, oder ob allmählig andere Zahlenverhältnisse an ihre Stelle treten, kann nur durch die Thatsachen selbst entschieden werden.

Ich knüpfe an das Gesagte noch einige Fragen und Folgerungen.

Sollte die obige Formel bloß für das einzige chemische Element des Wasserstoffs Geltung haben und sich nicht auch in den Spektrallinien anderer einfacher Stoffe mit einer diesen Stoffen eigenthümlichen Grundzahl wieder finden? Wenn nicht, so dürfte man vielleicht annehmen, dass die dem Wasserstoff zukommende Formel ein besonderer Fall einer allgemeineren Formel sei, welche für gewisse Bedingungen eben in die Formel für die Wasserstofflinien übergehe.

Von Wasserstofflinien, welche der Formel für $n = 3, 4$ etc. entsprächen, und welche man als Linien 3^{ter}, 4^{ter} Ordnung u. s. w. bezeichnen könnte, finden sich in den bis jetzt bekannt gewordenen Spektren keine vor; sie müssten sich etwa unter ganz neuen Temperatur- und Druckverhältnissen entwickeln, um wahrnehmbar zu werden.

Ist die Formel für $n = 2$ für sämtliche Hauptlinien des Wasserstoffspektrums richtig, so ginge aus derselben hervor, dass diese Spektrallinien sich nach der ultravioletten Seite hin der Wellenlänge 3645,6 immer mehr und in immer dichter Folge nähern, aber diese Grenze nicht überschreiten können, während die C-Linie auch zugleich die äusserste mögliche Linie nach der rothen Seite hin darstellt. Nur wenn noch Linien höherer Ordnungen vorkämen, würden sich auch noch weitere Linien nach der infrarother Seite hin ergeben.

Mit dem aus sehr zahlreichen Linien bestehenden „Zweiten Wasserstoffspektrum“, welches Herr Dr. Has selberg in den „Mémoires de l'Académie des sciences de St-Pétersbourg“, Jahrgang 1882, veröffentlichte, steht die Formel in keinem irgendwie nachweisbaren Zusammenhang. Es möchte also der Wasserstoff unter gewissen Verhältnissen des Drucks und der Temperatur sich so verändern, dass das Gesetz der Bildung der Spektrallinien ein vollständig anderes würde.

Das Auffinden einer Grundzahl für andere chemische Elemente, Sauerstoff oder Kohlenstoff etc., vermittelt welcher sich aus der Formel deren Hauptspektrallinien ergäben, ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Nur die allergenauesten und zuverlässigsten Wellenlängebestimmungen der hervorragendsten Linien eines Stoffes könnten zur Feststellung eines gemein-

schaftlichen grössten Maasses dieser Wellenlängen führen und ohne ein solches Maass scheint alle Mühe des Probirens und Suchens umsonst. Vielleicht findet sich in einer andern graphischen Construction der Spektraltabeaus das Mittel, auf dem Wege solcher Untersuchungen weiter zu kommen.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft zu Basel](#)

Jahr/Year: 1885

Band/Volume: [7_1885](#)

Autor(en)/Author(s): Balmer Johann Jacob (J. J.)

Artikel/Article: [Notiz über die Spektrallinien des Wasserstoffs 548-560](#)