

448.

Q. A. 38

n. 3

H. 69.

1520.

MÉMOIRES
DE
L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG, VII^E SÉRIE.
TOME XXXI, N° 14.

UNTERSUCHUNGEN
ÜBER
DAS ZWEITE SPECTRUM DES WASSERSTOFFS

VON
Dr. B. Hasselberg.

Zweite Abhandlung.

Avec 2 planches.

(Lu le 10 mai 1883.)

ST.-PÉTERSBOURG, 1883.

Commissionnaires de l'Académie Impériale des sciences:

à St.-Petersbourg:
MM. Eggers et C^{ie} et J. Glasounof;

à Riga:
M. N. Kymmel;

à Leipzig:
Voss' Sortiment (G. Haessel).

Prix: 50 Kop. 1 Mark. 70 Pf.

H. 69

MÉMOIRES
DE
L'ACADÉMIE IMPÉRIALE DES SCIENCES DE ST.-PÉTERSBOURG, VII^E SÉRIE.
TOME XXXI, N° 14.

UNTERSUCHUNGEN
ÜBER
DAS ZWEITE SPECTRUM DES WASSERSTOFFS

VON
Dr. B. Hasselberg.

—
Zweite Abhandlung.

—
Avec 2 planches.

—
(Lu le 10 mai 1883.)

—
ST.-PÉTERSBOURG, 1883.

Commissionnaires de l'Académie Impériale des sciences:

à St.-Petersbourg:
MM. Eggérs et C^{ie} et J. Glasounof;

à Riga:
M. N. Kymmel;

à Leipzig:
Voss' Sortiment (G. Haessel).

Prix: 50 Kop. 1 Mark. 70 Pf.

Novembre, 1883.

Imprimé par ordre de l'Académie Impériale des sciences.

C. Vessélofsky, Secrétaire perpétuel

Imprimerie de l'Académie Impériale des sciences.
(Vass.-Ostr., 9 ligne, № 12.)

Mit den Untersuchungen über das zweite Spectrum des Wasserstoffs, welche ich vor Kurzem der Akademie vorzulegen die Ehre hatte¹⁾, war es ursprünglich meine Absicht, meine Studien über die Spectralverhältnisse dieses Gases als wenigstens vorläufig abgeschlossen zu betrachten. Diese Untersuchungen nebst anderen, früher von mir in den Schriften der Akademie publicirten²⁾, berühren nämlich fast sämtliche bis jetzt zweifelhafte Punkte der Spectroskopie des Gases und enthalten Alles, was mit den mir damals zur Disposition stehenden Mitteln der Beobachtung zugänglich gemacht werden konnte. In derselben Zeit aber, in welcher die obenerwähnten Untersuchungen abgeschlossen wurden, gelangte das hiesige astrophysikalische Laboratorium in Besitz eines sehr kräftigen Spectralapparats von Prazmowski in Paris, dem für die Beobachtung der brechbareren Spectraltheile, welche durch die bedeutende Masse gelblichen Flintglases des Apparates sehr stark geschwächt werden, zwei mit Schwefelkohlenstoff zu füllende Hohlprismen beigegeben sind. — Einige vorläufige Versuche zeigten nun bald, dass den vorzüglichen Eigenschaften des Apparats in optischer Beziehung die Ausführung einzelner mechanischer Theile nicht ganz befriedigend entsprach, indem der Spalt und die Mikrometerschraube zuerst eine genaue Revision erheischten, um mit dem Instrument das erlangen zu können, was es bei seiner optischen Kraft zu leisten bestimmt war, und da diese Verbesserungen bisjetzt vom Künstler nicht ausgeführt sind, so wurden unterdessen die Hohlprismen in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit einer genauen Prüfung unterzogen. Das Resultat dieser Prüfung war ein überraschend gutes. Die Prismen sind in der That von so vorzüglicher Vollkommenheit und liefern bei sehr grosser Dispersion Spectra von so ausnehmender Reinheit, Schönheit und Detailreichthum, dass sie vielfach die Bewunderung derer erweckt haben, welche die Leistungen derselben kennen zu lernen Gelegenheit gehabt haben. Es war nun natürlich, dass unter den vielen Spectra, welche versuchsweise mit diesen Prismen erzeugt wurden, vor Allem

1) Mém. de l'Acad., T. XXX., № 7.

Mémoires de l'Acad. Imp. des sciences, VII^{me} Série.

2) Bull. de l'Acad., T. XXVII, p. 97 und 405.

dasjenige, mit dem ich mich kurz vorher beschäftigt hatte, nämlich das zweite Spectrum des Wasserstoffs angesehen wurde, und da dasselbe dabei in einer Vollkommenheit und mit einem Reichthum an Einzelheiten auftrat, der meine frühere Zeichnung nur als eine Skizze erscheinen liess, so entschloss ich mich bald eine neue Durchmusterung desselben vorzunehmen, um so mehr, als einige gleichzeitig angestellte Messungen an engen und in gewöhnlichen Apparaten schwierigen Gruppen des Sonnenspectrums mich von der Erreichbarkeit einer beträchtlichen Genauigkeit der relativen Wellenlängenbestimmungen überzeugt hatten. Diese Genauigkeit, wenn auch für Spectra künstlicher Lichtquellen nicht völlig so gross wie für das Sonnenspectrum, ist jedoch, insofern sie nur von den Mikrometermessungen abhängt, um ein Namhaftes grösser als diejenige, welche selbst den absoluten Bestimmungen Ångström's zugeschrieben werden kann; natürlich nur relativ genommen, da die absoluten Wellenlängen offenbar keine grössere Sicherheit erreichen können, als diejenige der zu Grunde gelegten Linien des Sonnenspectrums. Wenn demnach wohl behauptet werden darf, dass von allen bis jetzt gemessenen Spectra künstlicher Lichtquellen dasjenige des Wasserstoffs durch diese Messungen am genauesten bekannt ist, so dürfte die Bekanntmachung der in der That sehr reichhaltigen Resultate wohl auf das Interesse der Spectroskopisten rechnen können.

Um indessen zu diesen Resultaten zu gelangen, ist es nothwendig geworden, sowohl die Beobachtungen als deren Reduction in etwas anderer Weise auszuführen, als es bei weniger kräftigen Apparaten gewöhnlich geschieht, bei denen von so weit getriebener Genauigkeit abgesehen werden muss. Was ein derartiges verändertes Verfahren in erster Linie unumgänglich macht, ist die überaus grosse Empfindlichkeit des Schwefelkohlenstoffs selbst gegen die kleinsten Aenderungen der Temperatur, eine Empfindlichkeit, die in der That die Anwendung der Prismen für feinere Messungen mir anfangs unmöglich erscheinen liess. Ich machte in dieser Beziehung allerdings keine neue Erfahrung; — schon vor Jahren hat Gassiot¹⁾ dasselbe gefunden und es ist ohne Zweifel darin der Grund zu suchen, wesshalb die sonstigen guten Eigenschaften solcher Prismen in der messenden Spectroskopie bis jetzt keine Verwerthung gefunden haben. Indessen lässt sich diese Schwierigkeit bei geeigneter Behandlung des Apparats befriedigend überwinden; Bedingung ist nur eine möglichst constante, oder wenigstens stetig innerhalb enger Grenzen sich ändernde Temperatur des Beobachtungszimmers, sowie absolute Ruhe des Apparats. Die kleinste Erschütterung ist nämlich genügend, um auf die Reinheit des Spectrums einen ebenso nachtheiligen, wenn auch nicht so lange andauernden Einfluss auszuüben, wie eine plötzliche Veränderung der Temperatur. Nur bei fester Aufstellung lässt sich demnach ein aus solchen Prismen gebauter Spectralapparat benutzen; — auf Objecte des Himmels kann derselbe nur in Verbindung mit einem

1) Rep. of the Brit. Assoc. 1864. (Bath). Notices a. Abstracts p. 11. Rutherford. Sill. Journal, Vol. XXXIX, p. 129. Die dort erwähnte Lagerung des Schwefelkohlen-

stoffs in Schichten von verschiedener Dichtigkeit ist bei meinen Prismen nie vorgekommen. Die Spectrallinien haben niemals auch die kleinste Krümmung gezeigt. —

horizontal aufgestellten und mit einem Siderostaten verbundenen Refractor Anwendung finden.

In meinem Spectralzimmer habe ich nun nach Möglichkeit die Herstellung der oben genannten Bedingungen angestrebt. Die mittlere Temperatur desselben ist ziemlich constant, etwa 17° bis 18° C. gewesen, und da dieselbe Temperatur auch im Winter, ohne directe Heizung von den umliegenden Zimmern aus unterhalten wird, so finden die Temperaturänderungen nur sehr allmählich statt. Dasselbe gilt von den im Sommer wegen Bestrahlung des verschlossenen Fensterladens durch die Sonne entstehenden Aenderungen der Temperatur. Darauf glaube ich die Berechtigung der weiter unten beschriebenen Art den Einfluss der Temperatur auf die Messungen zu berücksichtigen begründen zu können, um so mehr als in dieser Weise eine vorzügliche Uebereinstimmung der Beobachtungen unter einander wirklich erzielt worden ist.

1. Beschreibung der Apparate.

Die Construction der Hohlprismen ist die gewöhnliche Rutherford'sche; sie bestehen also aus einem mittleren rechtwinkligen Prisma mit einer ovalen etwa 45^{mm} hohen und 25^{mm} breiten Durchbohrung, die als Hohlraum für die Aufnahme des Schwefelkohlenstoffs dient und deren seitlicher Verschluss von zwei umgekehrt gestellten, spitzen Crownglasprismen gebildet wird. Da der brechende Winkel dieser Prismen etwa 40° beträgt, so erhält der ganze Körper des zusammengesetzten Prismas dadurch eine beinahe parallelepipedische Gestalt. Die Länge der Hypothenuse des mittleren Prismas beträgt beiläufig 80^{mm} und die Höhe derselben 45^{mm} . Diese Construction bietet den nicht unwesentlichen Vortheil einer beinahe senkrechten Stellung der einfallenden und austretenden Strahlen zu den resp. Prismenflächen, wodurch der Lichtverlust durch Reflexion auf ein Minimum reducirt wird. Die grosse Helligkeit, die sogar die blauen und violetten Theile des Spectrums auszeichnet, und welche, trotz der bedeutenden, in dieser Gegend wohl derjenigen von 8 gewöhnlichen Flintglasprismen gleichkommenden Dispersion, die Messungen bis nahe an die *H*-Linien auszudehnen gestattet, wird zum Theil darin seinen Grund haben. Hauptsächlich wird aber diese Helligkeit jedoch der grossen Diaphanität des Crownlasses und des Schwefelkohlenstoffs zugeschrieben werden müssen. Den besten Beweis für die ausserordentliche Durchsichtigkeit der Prismen liefern indessen die hier zu beschreibenden Beobachtungen selbst. Jedem, der mit den spectroscopischen Erscheinungen des Wasserstoffs vertraut ist, ist die relative Schwäche des zweiten Spectrums desselben wohl bekannt, aber nichts destoweniger ist es mir nie erforderlich gewesen, für die Beobachtung auch der lichtärmsten Theile des Gasspectrums, eine weitere Spaltöffnung zu benutzen, als für diejenige des Sonnenspectrums, in welchem dabei die meisten der im Vogel'schen Atlas aufgenommenen Linien deutlich

gesehen werden konnten. Der Contrast mit dem Hauptapparat in dieser Beziehung ist enorm; beim letzteren beginnt die Schwächung durch Absorption schon bei F bemerkbar zu werden und macht jede Beobachtung jenseits G unmöglich.

Ein Umstand, über den vielfach geklagt worden ist, und welcher manche Beobachter auf die Anwendung der Schwefelkohlenstoffprismen überhaupt Verzicht zu leisten bewogen hat, ist die angebliche Schwierigkeit ein Verkittungsmittel zu finden, welches einen absoluten Verschluss der Prismen gewährt. Von dieser Schwierigkeit habe ich nichts verspürt, indem ich nach der Vorschrift des Herrn Prazmowski die Seitenprismen einfach mit dicker Lösung von Gummi arabicum in Wasser an den mittleren Block ankittete. Bei sorgfältigem Operiren lässt sich damit ein vollkommen befriedigender Verschluss erzielen, der in der That bei meinen Prismen so gut ausgefallen ist, dass nach mehr als halbjährigem Gebrauch keine Vergrößerung der im Hohlraume nach dem Füllen übriggebliebenen kleinen Luftblase zu bemerken ist. Nothwendig ist dabei nur ein gleichmässiges Auftragen der Gummilösung, so dass in der Schicht nach Aufsetzen der Seitenprismen keine Luftkanäle zurückbleiben. Ebenso wenig ist irgend eine Trübung der inneren Flächen durch etwa aus dem Schwefelkohlenstoffe ausgeschiedene Stoffe bemerkbar. Dieser Uebelstand, der anderen Beobachtern begegnet sein soll, wird wahrscheinlich entweder in der Anwendung eines nicht vollkommen reinen Schwefelkohlenstoffs, oder eines Kittes, auf den die Flüssigkeit lösend wirkt, seinen Grund gehabt haben.

Das Spectroskop, welches ich aus diesen Prismen aufgebaut habe, ist aus disponiblen Theilen verschiedener anderer Apparate zusammengestellt. Von dem kleinen Steinheil'schen Spectroskop, welches zu meinen früheren Beobachtungen diente, wurde Alles bis auf den Collimator abgenommen und auf dem Kreise desselben eine mattgeschliffene, ebene Glas-scheibe durch ein Paar Klemmschrauben befestigt. Auf diese Scheibe wurden die Prismen gestellt und, nachdem die der kleinsten Deviation der mittleren Strahlen im Spectrum entsprechende Stellung gefunden war, in dieser Lage mit Gummilösung festgestellt. Eine derartige Befestigung in einer gewissen Stellung erwies sich als vollkommen zulässig, da auch diejenigen Spectraltheile, welche am meisten von der Lage der kleinsten Deviation abweichen, in keiner Weise merkbar dadurch an Schärfe und Reinheit eingebüsst haben. Man hat dadurch ausserdem den nicht zu unterschätzenden Vortheil, dass die Dispersionscurve ein Continuum für das ganze Spectrum bildet und dass es folglich möglich ist, die Reductions-factoren auf Wellenlängen durch ein einziges Coefficientensystem darzustellen.

Das Beobachtungsfernrohr von Merz, Utzschneider und Fraunhofer hatte bei einer Oeffnung von 65^{mm} eine Brennweite von 81,1 Centimeter und gab mit den beiden Ocularen des Mikrometers die beiden Vergrößerungen 34 und 61. — Dasselbe wurde auf einem besonders zu diesem Zweck aus Holz construirten, soliden tischähnlichen Stativ derart aufgestellt, dass die optische Axe möglichst nahe in derselben Ebene zu liegen kam, wie die Mittelpunkte der Prismen. Die Platte des Tisches hat die Form eines der Dispersion der Prismen entsprechenden Sectors, auf welchem ein, wie eine Alhidade beweglicher Holz-

leisten sich befindet, der seinerseits in zwei soliden Fassungen das Fernrohr trägt. Das Stativ ist so neben den übrigen Theilen des Apparats auf dem Arbeitstisch aufgestellt, dass der Drehungspunkt des Fernrohrs etwa unter die Mitte des zweiten Prismas fällt, wodurch jeder beliebige Theil des Spectrums ins Gesichtsfeld gebracht werden kann. Durch eine Klemmschraube kann der Holzleisten, und mit ihm das Fernrohr, an der oberen Platte des Stativs festgeklemmt werden, und da ausserdem die untere Platte durch schwere Gewichte beladen ist, so lässt sich eine sogar für die Mikrometermessungen vollkommen genügende Stabilität des Ganzen erzielen.

Der Mikrometerapparat ist derselbe, welcher in Verbindung mit dem kleinen Steinheil'schen Spectroskope zu meinen früheren Messungen benutzt wurde. Derselbe besitzt zwei Stahlspitzen, von denen die eine fest ist und zur Controle der unveränderten Lage des Fernrohrs während der Messung dient, während die zweite mittelst der Schraube zum Einstellen auf die Linien des Spectrums benutzt wird. Die Steighöhe der Schraube beträgt 0.30^{mm} und demzufolge der Winkelwerth einer Umdrehung: $77''$.

Bei meinen früheren Messungen des Spectrums hatte ich wegen der kleinen damals benutzten Dispersion keine Veranlassung, die Fehler der Schraube zu berücksichtigen; im gegenwärtigen Falle war dies ohne Weiteres nicht zulässig. Da hier häufig Abstände von mehreren Umdrehungen gemessen wurden, so waren dabei vor Allem die fortschreitenden Fehler näher ins Auge zu fassen, die, wenn in grösserem Maasse vorhanden, die zu bestimmenden Wellenlängen leicht um Grössen hätten beeinflussen können, welche die sonst erreichbare Genauigkeit erheblich herabgesetzt hätten. — Eine hierauf bezügliche Untersuchung der Schraube hat indessen gezeigt, dass diese Fehler ganz verschwindend sind und keiner Berücksichtigung bedürfen. — Ebenso wenig ist es nöthig gewesen, die periodischen Fehler näher zu ermitteln und zwar aus dem Grunde, dass dieselben bei der Beobachtung dadurch eliminirt werden, dass der Ausgangspunkt bei den einzelnen Messungen durch die immer stattfindenden auf Temperaturvariationen der Prismen beruhenden Verschiebungen des Spectrums, einer stetigen Ortsveränderung unterworfen ist.

Die einfache, man würde beinahe sagen können, primitive Einrichtung dieses Spectralapparats, würde vielleicht Manchem die Meinung einflössen können, dass derselbe zu feineren Messungen wenig geeignet sein dürfte. Dass dem nicht so ist, werden die in dieser Abhandlung weiter unten zu gebenden Messungen zur Genüge darthun; um aber schon hier einer derartigen Vorstellung entgegenzutreten und zugleich um von der auflösenden Kraft der Prismen eine Idee zu geben, mögen als Beispiel die Resultate der Messungen von zwei Gruppen des Sonnenspectrums aufgeführt werden, nebst den entsprechenden Werthen nach Ångström und Vogel.

A. Gruppe im Gelben.

$$\text{Hauptlinien: } \begin{cases} \lambda = 5585,55 \\ \quad = 5601,70 \end{cases}$$

H	$\text{\AA}$	$H - \text{\AA}$
5586,60	5586,65	—0,05
87,64	87,62	+0,02
89,02	89,03	—0,01
91,10	91,18	—0,08
92,81	92,62	+0,19
93,57	93,42	+0,15
97,32	97,17	+0,15
98,95	98,92	+0,03
5600,24	5600,21	+0,03

B. Gruppe im Blauen.

$$\text{Hauptlinien: } \begin{cases} \lambda = 4977,80 \\ \quad = 4988,32 \end{cases}$$

H	$\text{\AA}$	V	$H - \text{\AA}$	$H - V$
4779,45	4779,62	4779,61	—0,17	—0,16
81,05	82,03	81,08	+0,02	—0,03
81,78}	81,82	{ 81,83	+0,12	—0,05
82,11}		{ 82,10		+0,01
82,59	82,59	82,57	0,00	+0,02
83,19}	83,31	83,17	—0,02	+0,12
83,39}				
83,97	—	83,80		+0,17
84,57}	84,70	{ 84,44	+0,01	+0,13
84,85}		{ 84,76		+0,09
85,51	—	85,37		+0,14
4786,18	—	4786,01		+0,17

Bei diesen Messungen ist die stärkere Vergrößerung angewandt worden. Für die Beobachtung anderer Spectra als des Sonnenspectrums hat sich indessen die schwächere als vortheilhafter erwiesen und ist die stärkere nur gelegentlich, um z. B. eine vermuthete Duplicität zu entscheiden, benutzt worden. Aus den angeführten Zahlen geht nun die Erreichbarkeit einer erheblichen Schärfe der Messungen deutlich hervor, sowie auch, dass die auflösende Kraft des Apparats kaum was zu wünschen übrig lässt.

Die zur Herstellung des Wasserstoffspectrums benutzten Spectralröhren hatten alle die in meiner früheren Abhandlung p. 15 beschriebene Form, indem an das eine Ende der Ca-

pillare ein zu derselben senkrechter weiter Cylinder angeschmolzen war, während eine von dem zweiten, an das andere Ende angebrachten Cylinder seitwärts ausgehende Röhre die Verbindung mit der Luftpumpe vermittelt. Den Hahn, welcher früher zum Verschliessen dieser Seitenröhre nach beendigtem Füllen benutzt wurde, habe ich bei diesen Versuchen meistens weggelassen und statt dessen die Röhre einfach durch Abschmelzen von der Pumpe getrennt. — Wie gut nämlich solche Hähne auch gearbeitet sein mögen, für länger andauernde Beobachtungsreihen kann man sich jedoch nie völlig auf sie verlassen und im gegenwärtigen Falle ist das Eindringen auch nur der mindesten Spur von Luft genügend, um die feineren Details des Spectrums zu verwischen. Wie verschwindend klein die hierzu nöthige Luftmenge ist, habe ich an einer Röhre beobachten können, welche nach wochenlangem Gebrauche durch die Hitze der Entladung plötzlich einen beinahe mikroskopischen Riss bekam. Das Spectrum änderte augenblicklich sein Aussehen und zwar dermaassen, dass jede weitere Benutzung der Röhre unmöglich wurde, wobei indessen der Riss so klein war, dass nach mehr als einer Woche der Widerstand der Röhre noch kleiner war, als derjenige einer 10^{mm} langen Luftstrecke von gewöhnlichem Druck. Aber auch das Abschmelzen der Röhre ist häufig mit erheblicher Schwierigkeit verbunden, indem bei der hohen Verdünnung des Gases von 1 bis 2 Mm., welche zur Erzielung einer möglichst grossen Helligkeit des Spectrums nöthig ist, die äussere Luft dabei sehr leicht in die Röhre eindringt und dieselbe unbrauchbar macht. Ich habe auch demnach neuerdings die Verbindung der Röhre mit der Luftpumpe derart eingerichtet, dass das Abschmelzen vermieden werden konnte, indem die beinahe absolute Luftdichtigkeit aller Hähne und Verkittungen das Spectrum unverändert während der mehrere Stunden dauernden Beobachtungen liess. Die Röhre wurde dabei am Morgen jedes Beobachtungstages neu gefüllt.

Die Luft ist aber nicht die einzige Verunreinigung mit der man zu kämpfen hat; ein ebenso lästiger Uebelstand ist häufig die Unmöglichkeit, die bei hoher Verdünnung auftretenden Banden des Kohlenoxyds zu beseitigen. Gewöhnlich nimmt man an, dass diese Banden durch die Dichtung der Luftpumpenhähne mit Fett oder Kautschuk entstehen; — durch eine lange Reihe von Versuchen habe ich jedoch die Ueberzeugung gewonnen, dass dies nur in den seltensten Fällen zutrifft und dass vielmehr die besondere Beschaffenheit des zu den Röhren angewandten Glases hierbei das bestimmende Moment ist. Es ist mir nämlich mehrmals vorgekommen, dass von zwei Röhren, welche unmittelbar nach einander, mit demselben Gase und ohne irgend welche Veränderung an der Pumpe, gefüllt wurden, die eine ein von Kohlenoxydbanden absolut freies Spectrum gab, während in der andern diese Banden weder durch wiederholte Füllung noch durch gleichzeitige Erhitzung des Rohrs bis zur Rothgluth entfernt werden konnten. Dies, nebst dem Umstande, dass die fraglichen Streifen mit der Erhitzung des Rohrs durch die anhaltenden Entladungen an Intensität gewöhnlich zunehmen, zeigt, dass dieselben höchst wahrscheinlich aus dem Glase frei werdender Kohlensäure oder Kohlenoxyd ihren Ursprung verdanken. Der sonst häufig gelungene Versuch das Kohlenoxydspectrum aus einer Spectralröhre durch anhaltendes successives Spülen der-

selben mit chemisch reiner Schwefelsäure und destillirtem Wasser zu beseitigen, wodurch nur mechanisch an das Glas haftende organische Stoffe weggeschafft werden, kann in Fällen wie dem obigen, natürlich keinen Erfolg haben. Da nun die hellste dieser Banden gerade in denjenigen Theil des Wasserstoffspectrums fällt, welcher wegen seiner Lichtschwäche für die Beobachtung am schwierigsten ist, nämlich in's Grüne, und wegen der grossen auflösenden Kraft des Spectroskops in seine einfachen elementaren Linien zerfällt, so sieht man, dass die Untersuchung dieser Abtheilung nur mit Röhren möglich ist, die von jeder Spur solcher Verunreinigung frei sind, da an eine Elimination der in grosser Zahl auftretenden fremden Linien nicht zu denken ist¹⁾.

Die angegebene Form der Röhren, welche, wie man sieht, eine Variante der von Monckhoven zuerst vorgeschlagenen Gestalt bildet, bietet zwei für die Beobachtung der Gasspectra unter grosser Dispersion sehr wichtige Vorthelle. Erstens ist die dadurch ermöglichte longitudinale Aufstellung der Röhren vor dem Spalt ein vortreffliches Mittel um grössere Helligkeit zu erzielen und zweitens ist die Reinheit des Spectrums durch Vermeidung der dicken, stark gekrümmten und häufig unhomogenen Glaswandung der Capillare eine bedeutend grössere. Da ferner die Capillare stets wie eine Cylinderlinse wirkt, und bei Vergleichung der Spectrallinien mit denjenigen des Sonnenspectrums die Röhre abwechselnd vorgeschoben und weggestellt werden muss, so ist bei transversaler Aufstellung eine Verschiebung der Linien schwer zu vermeiden und jedenfalls nie zu controlliren. Bei Anwendung longitudinal aufgestellter Röhren ist man dieses Uebelstandes überhoben. —

Um die ganze von der Röhre gelieferte Lichtmenge möglichst vollständig auszunutzen, muss erstere so aufgestellt werden, dass ihre Axe genau in die Verlängerung der optischen Axe des Collimators fällt und in diese Lage leicht und sicher wieder zurückgebracht werden kann, nachdem dieselbe zum Zweck des Einlassens des Sonnenlichtes in den Apparat vom Spalt entfernt gewesen ist. Um dies zu erreichen, habe ich die Röhre an einem messingenen Arm befestigt, welcher um eine verticale, auf einem mit Stellschrauben versehenen Stativ angebrachte Axe drehbar ist. Dadurch ist die Möglichkeit vorhanden, die Röhre genau zu nivelliren und nachdem die richtige Stellung gefunden ist, durch Drehung des Arms um dessen Axe von dem Spalte zu entfernen und wieder zurückzubringen, ohne dass eine merkbare Aenderung ihrer Lage zum Collimator entsteht.

Zur definitiven Füllung der Röhren wurde gewöhnlich electrolytisch hergestellter Wasserstoff benutzt, wobei alle die völlige Reinheit des Gases bedingenden Vorsichtsmaassregeln streng

1) Nachdem ich vergeblich eine grosse Anzahl aus Petersburg bezogener Röhren von den CO-Banden zu befreien versucht, habe ich schliesslich von Herrn A. Geissler in Berlin Röhren erhalten, in denen diese Streifen sogar bei Verdünnungen von weniger als 0,5^{mm} nur als verschwindende Spuren erscheinen und die infolge dessen die Untersuchung des Wasserstoffspectrums

erheblich erleichtert haben. Das Auftreten der CO-Streifen ist nämlich nicht nur für die Beobachtung gerade derjenigen Spectraltheile hinderlich, wo sie selbst liegen, sondern beeinträchtigt auch die Helligkeit des ganzen Spectrums, indem dabei der Strom grösstentheils durch das Kohlenoxyd und nur in geringem Maasse durch den Wasserstoff übergeführt wird.

beobachtet worden sind. Es ist indessen, soweit meine Erfahrung reicht, gleichgültig, in welcher Weise das Gas hergestellt wird, das Spectrum bleibt stets unverändert und ich bin dadurch noch weiter in der schon früher ausgesprochenen Meinung bestärkt worden, dass dasselbe wirklich dem Wasserstoff gehört.

Die Erregung der Röhren wurde stets mit Hilfe einer grossen Inductionsrolle bewirkt, deren primärer Strom durch 6 grosse Bunsencellen geliefert wurde. Der Glanz der Röhre longitudinal gesehen, war dabei blendend und bei frisch gefüllter Batterie häufig kaum zu ertragen. —

2. Beobachtungs- und Reductionsmethode.

Bei meinen früheren Untersuchungen über das vorliegende Spectrum wurden die Wellenlängen der Linien durch mikrometrische Verbindung derselben mit passend ausgewählten Metalllinien abgeleitet, deren Wellenlängen Thalén's Tafeln entnommen wurden. Unter den damaligen Verhältnissen hatte diese Methode volle Berechtigung, da eine Einregistrierung der Gaslinien in das Sonnenspectrum dabei mit bedeutenden Schwierigkeiten verbunden gewesen wäre, weniger mit Rücksicht auf die bei so kleiner Dispersion unsichere Identification der Sonnenlinien, als wegen des Umstandes, dass für die jedesmalige Beobachtung des Sonnenspectrums der Spalt stets namhaft hätte verengert werden müssen. Da der Spalt sich nur einseitig öffnet, so wären dabei erhebliche nicht zu ermittelnde Fehler zu befürchten gewesen, die aber durch Anwendung eines Vergleichspectrums von derselben Ordnung der Helligkeit und dadurch bedingte Unveränderlichkeit der Spaltbreite als ausgeschlossen angesehen werden dürfen. — Die Fehler, welche die Anwendung der Metallspectra als Normalskala wahrscheinlicherweise herbeiführt, sind bei passender Wahl der Linien mit Berücksichtigung der Güte der Thalén'schen Wellenlängen-Werthe gewiss nicht so gross, wie diejenigen, welche eine ständige Veränderung der Spaltbreite mit sich führen würde, und werden ohne Zweifel geringer sein, als die wahrscheinlichen Fehler der mit dem damaligen Apparate gemachten Messungen selbst. Im gegenwärtigen Falle sind die Verhältnisse andere; die grosse Dispersion des Apparats, in Verbindung mit der ungewöhnlichen Durchsichtigkeit der Prismen, hat jede Aenderung der Spaltbreite beim Uebergang vom Sonnenspectrum zum Gasspectrum und umgekehrt überflüssig gemacht, trotzdem dass der Spalt fein genug ist um vom ersteren Spectrum ein Bild zu geben, das in Bezug auf Reichtum an Einzelheiten den Vogel'schen Tafeln wenig nachsteht. — Die Benutzung des Sonnenspectrums als Vergleichsskala war hierdurch von selbst angezeigt und wurde mit Rücksicht auf die mit dem Apparate erreichbare Schärfe der Messungen im Uebrigen zur Nothwendigkeit, da der wahrscheinliche Fehler der Thalén'schen Wellenlängen der Metalllinien im Allgemeinen wohl nicht weniger als auf ± 0.4 bis $0.5 \text{ \AA. E.}^1$) veranschlagt werden

1) Die Wellenlängen werden hier stets in Einheiten der 7. Stelle oder in Zehnmilliontheilen des Millimeters ausgedrückt, welche Einheit ich der Kürze wegen mit dem Namen Ångström'sche Einheit ($\text{\AA. E.}$) bezeichne.

kann, eine Grösse, die den aus den vorliegenden Messungen folgenden wahrscheinlichen Fehler einer Wellenlängendifferenz beträchtlich übertrifft. —

Bei dem ausserordentlichen Linienreichthum des Spectrums wäre es aber eine ebenso unnöthige, als namentlich in unserm Klima zeitraubende Arbeit gewesen, jede einzelne Gaslinie direct mit dem Sonnenspectrum zu vergleichen. Ich habe statt dessen zunächst im Spectrum des Gases eine Reihe möglichst gleichmässig vertheilter, leicht erkennbarer Linien ausgewählt und deren Wellenlängen mit der grösstmöglichen Schärfe durch directe Vergleichung mit dem Sonnenspectrum abgeleitet. — Auf diese Fundamentallinien wurden darauf die zwischenliegenden Linien des Spectrums durch mikrometrische Messung bezogen. Daraus erwuchs mir weiter der Vorthail, dass die Messung dieser letzteren Linien bei jeder Gelegenheit auch an trüben Tagen erfolgen konnte. Die Fundamentallinien wurden stets durch 6 Einzelmessungen mit den zum Vergleich gewählten Sonnenlinien verbunden, während für die übrigen Linien die Abstände von den Fundamentallinien durch 3 unabhängige Messungen bestimmt wurden. — Gewöhnlich wurde dabei für jede einzelne zu messende Linie nach jeder Einstellung auf die Hauptlinie zurückgegangen, nur wenn einige Linien zu einer dichten Gruppe zusammengedrängt lagen, habe ich die einzelnen Einstellungen unmittelbar nach einander folgen lassen. Diese Beobachtungsart ist durch die weiter unten näher zu besprechende Veränderlichkeit der Brechung der Prismen durch Temperaturvariationen nothwendig geworden. —

Um die durch mikrometrische Messung gefundenen Abstände der Linien von den Fundamentallinien, sowie diejenigen der letzteren von den Sonnenlinien auf Wellenlängendifferenzen zu reduciren, war es weiter nöthig, für jeden einzelnen Punkt des Spectrums den Werth eines Trommeltheils in Wellenlängen auszudrücken. Diese Reductionscoefficienten wurden durch Beobachtung einer grösseren Anzahl möglichst gleichmässig über das ganze Spectrum vertheilter Linienpaare des Sonnenspectrums erhalten, indem die Ångström's Tafeln entnommenen Wellenlängendifferenzen mit den entsprechenden in Trommeltheilen der Schraube ausgedrückten Abständen verglichen wurden. — Die so gewonnenen Zahlen wurden dann als für das arithmetische Mittel der Wellenlängen der jedesmal benutzten Sonnenlinien geltend angesehen. Um die kleinen noch übrigen Ungleichförmigkeiten im Gange derselben möglichst auszugleichen, wurden sie darauf durch Ausdrücke von der Form

$$f = a + b\lambda + c\lambda^2$$

dargestellt und die Coefficienten a , b , c nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Dadurch gewinnt man noch den Vorthail, die Sicherheit der gefundenen Wellenlängen in ihrer Abhängigkeit von diesen Factoren näher beurtheilen zu können. — Der ersten in dieser Weise geführten Rechnung lagen die unmittelbar durch Beobachtung gefundenen f zu Grunde und mit den daraus abgeleiteten ausgeglichenen Factoren wurde eine grössere, bereits gemessene Partie des Spectrums reducirt. — Es ist nun klar, dass, wenn die Factoren die Dispersionsverhältnisse des Apparats genau darstellen, die Wellenlänge einer Hauptlinie,

die man mit Hülfe derselben aus derjenigen einer benachbarten Fundamentallinie berechnet, bis auf eine der Unsicherheit der Factoren und der Messungen entsprechende Grösse, mit demjenigen Wellenlängenwerth stimmen muss, welcher aus der direkten Vergleichung mit dem Sonnenspectrum sich ergibt. Bei näherer Untersuchung der erwähnten Partie des Spectrums in dieser Beziehung zeigte sich nun, dass dies nicht der Fall war; die Wellenlängen der Hauptlinien, aus einander abgeleitet, wichen von den direct gemessenen immer systematisch ab und zwar derart, dass angenommen werden musste, dass sämtliche Factoren zu klein waren. Nach vielem Umherschauen liess sich schliesslich dieser Umstand auf die, zwischen den einzelnen Einstellungen der zur Bestimmung der f benutzten Sonnenlinien, durch Steigen der Temperatur bewirkte Verschiebung des Spectrums zurückführen und es wurde nöthig, den direct beobachteten Werthen eine hierauf bezügliche Correction hinzuzufügen. Die Ableitung dieser Correction wird weiter unten Gegenstand näherer Erörterung werden. — Nach Anbringung derselben, wurde die Berechnung der Coefficienten a, b, c nach der Methode der kleinsten Quadrate nochmals wiederholt und daraus neue ausgeglichene Factoren berechnet. Wie wir später sehen werden, stimmen die mit diesen neuen Factoren aus einander berechneten Wellenlängen der Hauptlinien mit den direkten Bestimmungen innerhalb so enger Grenzen überein, dass darin nicht nur für die Richtigkeit der Factoren selbst, sondern auch für diejenige der Wellenlängen der zwischen den Hauptlinien liegenden Linien des Spectrums, ein vollgültiger Beweis erhalten wird. —

Da, wie schon oben angeführt wurde, die Prismen keinerlei Aenderung ihrer Stellung während der ganzen Beobachtungsreihe erlitten haben und die Dispersioncurve infolge dessen als ein Continuum angesehen werden kann, so wäre es völlig zulässig gewesen, die Reductionsfactoren durch ein einziges Coefficientensystem für das ganze Spectrum darzustellen. Indessen habe ich es vorgezogen, das Spectrum in drei beiläufig gleiche Theile einzutheilen und die Factoren jedes einzelnen derselben für sich zu behandeln. Diese Theile haben die folgende Ausdehnung:

Theil I.	Von	C	bis $\lambda = 569,0$
» II.	»	$\lambda = 569,0$	» F
» III.	»	F	» G

und die denselben entsprechenden definitiven Ausdrücke der f sind:

$$\begin{array}{ll}
 f_1 = - 0,1417 + 0,02303 \lambda + 0,00219 \lambda^2 & \text{I.} \\
 f_{11} = + 0,1137 - 0,06268 \lambda + 0,00938 \lambda^2 & \text{II.} \\
 f_{111} = + 0,0643 - 0,04487 \lambda + 0,00780 \lambda^2 & \text{III.}
 \end{array}$$

wo λ in Einheiten der 4. Stelle ausgedrückt ist. Daraus sind die folgenden Reductionstafeln berechnet:

Tafel I. $C - \lambda = 569$.

λ	f	λ	f	λ	f
656	0,1036	624	0,0873	592	0,0713
654	1027	622	0862	590	0704
652	1016	620	0853	588	0695
650	1005	618	0842	586	0685
648	0995	616	0833	584	0675
646	0985	614	0824	582	0665
644	0975	612	0814	580	0654
642	0964	610	0803	578	0645
640	0954	608	0793	576	0635
638	0943	606	0782	574	0626
636	0934	604	0773	572	0616
634	0923	602	0763	570	0608
632	0913	600	0753	568	0597
630	0903	598	0743	566	0588
628	0893	596	0734		
626	0883	594	0722		

Tafel II. $\lambda = 569 - F$.

λ	f	λ	f	λ	f
568	0,0603	540	0,0487	512	0,0386
566	0594	538	0479	510	0379
564	0585	536	0472	508	0373
562	0577	534	0464	506	0366
560	0568	532	0457	504	0360
558	0560	530	0449	502	0354
556	0552	528	0442	500	0348
554	0544	526	0435	498	0342
552	0536	524	0427	496	0335
550	0528	522	0421	494	0330
548	0519	520	0414	492	0324
546	0511	518	0407	490	0317
544	0503	516	0400	488	0311
542	0495	514	0394	486	0305

Tafel III. $F - G$.

λ	f	λ	f	λ	f
486	0,0303	466	0,0245	446	0,0193
484	0297	464	0240	444	0187
482	0291	462	0234	442	0183
480	0285	460	0229	440	0179
478	0279	458	0224	438	0175
476	0273	456	0219	436	0170
474	0268	454	0213	434	0165
472	0262	452	0207	432	0160
470	0256	450	0203	430	0155
468	0250	448	0198		

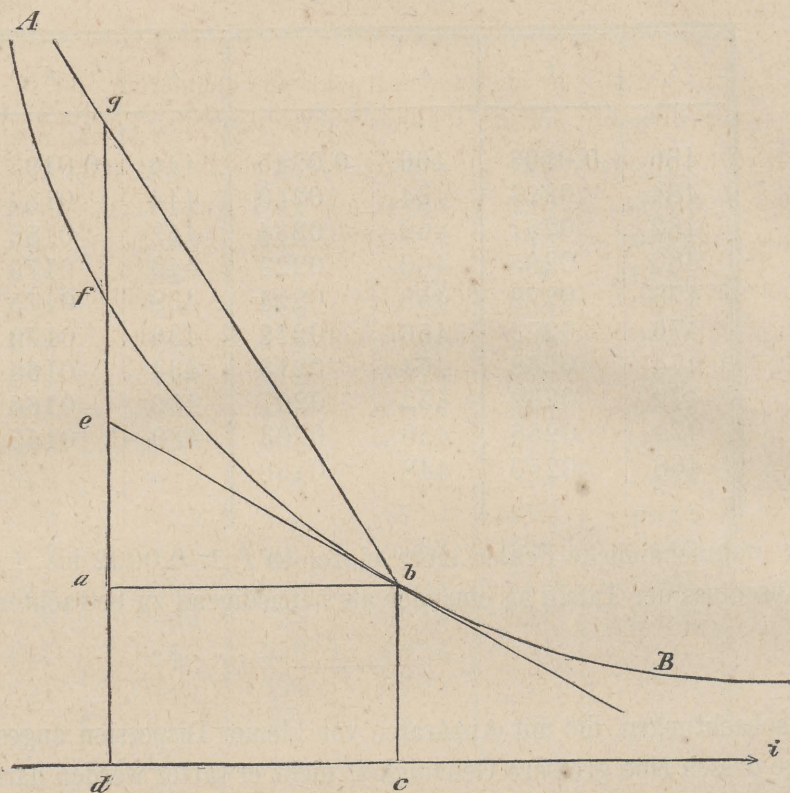
Da der wahrscheinliche Fehler eines einzelnen $f \pm 0,0002$ bis $\pm 0,0003$ beträgt, so ist der Anschluss der Tafeln an einander als befriedigend zu betrachten.

Aus Beobachtungen, die mit Apparaten von kleiner Dispersion angestellt sind und bei denen infolge dessen eine grössere Genauigkeit nicht erwartet werden darf, kann man ohne erheblich zu fehlen, die Wellenlängendifferenzen einfach derart ableiten, dass das mikrometrisch gemessene Intervall mit dem für die Wellenlänge der zu bestimmenden Linie geltenden Factor multiplicirt wird. Die dadurch erhaltene Wellenlängendifferenz ist jedoch stets um eine gewisse Grösse fehlerhaft, zu gross oder zu klein, je nachdem die zu bestimmende Linie weniger oder mehr brechbar ist, als diejenige Hauptlinie, auf welche sie bezogen wird. — So lange nun die Beobachtungsfehler von derselben Ordnung oder gar grösser sind als der Einfluss dieser Fehlerquelle, so liegt für die Berücksichtigung derselben keine Veranlassung vor, wenigstens wenn der Abstand der Linien nicht allzugross ist; — im gegenwärtigen Falle aber, wo der wahrscheinliche Fehler kaum $\pm 0.1 \text{ \AA. E.}$ beträgt, muss für die Reduction der Beobachtungen ein anderer Weg von grösserer Schärfe eingeschlagen werden. Dies lässt sich folgendermaassen erreichen.

Es sei in der Fig. AB ein Stück der Dispersionscurve, deren Abscissen die Mikrometerablesungen, die Ordinaten die Wellenlängen darstellen. Es sei ferner bc die Wellenlänge einer Hauptlinie $= \lambda_0$ und df diejenige der zu bestimmenden Linie $= \lambda_1$ so dass

$$af = \lambda_1 - \lambda_0 = \Delta\lambda$$

und ausserdem $f_0 f_1$ die Reductionsfactoren in den Punkten b und f . Da diese Factoren nichts Anderes sind, als die trigonometrischen Tangenten der Winkel, welche die Tangenten der



Curve in diesen Punkten mit der i -Axe bilden, so ist, wenn bg parallel der Tangente im Punkte f gezogen wird:

$$(1) \quad \begin{cases} ef = \Delta\lambda - f_0\Delta i = \varepsilon \\ gf = f_1\Delta i - \Delta\lambda = \varepsilon_1 \end{cases}$$

woraus:

$$(2) \quad \Delta\lambda = \frac{f_0 + f_1}{2} \Delta i + \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{2}$$

erhalten wird. Nun ist aber:

$$f_0 = a + b\lambda_0 + c\lambda_0^2$$

$$f_1 = a + b\lambda_1 + c\lambda_1^2$$

und

$$f_{0,1} = a + b \frac{\lambda_0 + \lambda_1}{2} + c \cdot \left(\frac{\lambda_0 + \lambda_1}{2} \right)^2$$

wo mit $f_{0,1}$ der dem arithmetischen Mittel der Wellenlängen der beiden Linien entsprechende Factor bezeichnet wird. Man erhält hierdurch:

$$f_{0,1} = \frac{f_0 + f_1}{2} - c \cdot \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{2} \right)^2$$

und:

$$\Delta\lambda = f_{0,1} \cdot \Delta i + c \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{2} \right)^2 \Delta i + \frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{2} \quad (3)$$

Die beiden letzten Glieder dieses Ausdrucks sind sehr klein und es lässt sich zeigen, dass dieselben mit Rücksicht auf die aus dem wahrscheinlichen Fehler der Reductionsfactoren entspringende Unsicherheit der Wellenlängendifferenzen, vernachlässigt werden können. Da im Allgemeinen die grössten in Frage kommenden Werthe dieser Letztern nur 60 bis 70 Å. E. betragen, so wird z. B. in der Abtheilung I des Spectrums der Coefficient $c \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_0}{2} \right)^2$ höchstens den Werth 0,000002 und in der Abtheilung II 0,000011 erreichen, welche Grössen ohne weiteres zu vernachlässigen sind. — Etwas grösser sind die Werthe des dritten Gliedes, aber immerhin doch nur von der Ordnung der wahrscheinlichen Fehler der Beobachtungen. Setzt man nämlich ganz allgemein:

$$\lambda = \alpha + \beta i + \gamma i^2 + \dots \quad (4)$$

so wird für die Hauptlinie

$$\lambda_0 = \alpha + \beta i_0 + \gamma i_0^2$$

oder wenn die i von dieser Linie gerechnet werden:

$$\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda = \beta \Delta i + \gamma \Delta i^2$$

$$\alpha = \lambda_0$$

Nach (1) ist aber

$$\Delta\lambda = f_0 \Delta i + \varepsilon$$

und folglich auch:

$$\beta = f_0$$

$$\varepsilon = \gamma \cdot \Delta i^2$$

wo Δi in Trommeltheilen und ε in Einheiten der 7. Stelle auszudrücken sind. Da nach (1) weiter

$$\varepsilon + \varepsilon_1 = (f_1 - f_0) \Delta i$$

so folgt:

$$\varepsilon - \varepsilon_1 = 2\gamma \cdot \Delta i^2 - (f_1 - f_0) \Delta i \quad (5)$$

und man hat nur den Coefficienten γ numerisch zu bestimmen, um zur Kenntniss der Grösse $\varepsilon - \varepsilon_1$ zu gelangen. Mit Hülfe der Coefficienten a, b, c in den Ausdrücken für f lässt sich dies erreichen. Wir haben nämlich:

$$\frac{d\lambda}{di} = \beta + 2\gamma i + \dots$$

und

$$\frac{d\lambda}{di} = f = a + b\lambda + c\lambda^2$$

Wenn man in dieser Gleichung λ nach (4) einführt und berücksichtigt, dass die Coefficienten a, b, c unter der Voraussetzung berechnet sind, dass λ in Einheiten der 4. Stelle ausgedrückt wird, während hier γ so bestimmt werden soll, dass ε in Einheiten der 7. Stelle erhalten wird, so gelangt man zur Identität:

$$\beta + 2\gamma i + \dots = a + \frac{b}{10^3} (\alpha + \beta i + \gamma i^2 \dots) + \frac{c}{10^6} (\alpha + \beta i + \gamma i^2 \dots)^2$$

woraus weiter folgt:

$$\beta = a + \frac{b\alpha}{10^3} + \frac{c\alpha^2}{10^6} = f_0$$

$$2\gamma = \frac{b\beta}{10^3} + \frac{2c\alpha\beta}{10^6}$$

oder:

$$2\gamma = \frac{f_0}{10^3} \left\{ b + \frac{2c \cdot \lambda_0}{10^3} \right\}$$

wo λ_0 in Einheiten der 7. Stelle auszudrücken ist. Die Gleichung (5) giebt nun:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{2} = \frac{f_0}{2 \cdot 10^3} \left\{ b + \frac{2c\lambda_0}{10^3} \right\} \cdot \Delta i^2 - \frac{1}{2} (f_1 - f_0) \Delta i$$

in welchem Ausdrucke Alles numerisch bekannt ist.

Als Beispiel wähle ich aus meinen Beobachtungen zwei Fundamentallinien, deren Wellenlängen aus dem Sonnenspectrum abgeleitet

$$\lambda_0 = 5812,00, \quad \lambda_1 = 5883,52$$

sind. Der Abstand derselben in Trommeltheilen der Schraube gemessen, betrug:

$$\Delta i = 1054,8$$

und da nach der Tafel:

$$f_0 = 0,0661$$

$$f_1 = 0,0696$$

und ausserdem:

$$b = + 0,02303$$

$$c = + 0,00219$$

so folgt:

$$\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{2} = - 0,06 \text{ } \overset{\circ}{\text{A}}.E.$$

eine Grösse, die von derselben Ordnung ist, wie der aus den Beobachtungen selbst folgende wahrscheinliche Fehler der Wellenlängendifferenz. Da indessen der wahrscheinliche Fehler eines f nach dem Obigen $\pm 0,0002$ beträgt, so ist die daraus folgende Unsicherheit von $\Delta\lambda$ bei einem Abstand der Linien von 1055 Trommeltheilen $= \pm 0,21 \text{ } \overset{\circ}{\text{A}}.E.$ oder dreimal so gross, wie das Glied $\frac{\varepsilon - \varepsilon_1}{2}$ und dies kann desshalb ohne Weiteres vernachlässigt werden. Für

die Reduction der Beobachtungen lässt sich demnach der in der Gleichung (2) gegebene strenge Ausdruck durch den folgenden ersetzen:

$$\Delta\lambda = f_{0,1} \cdot \Delta i.$$

3. Einfluss der Temperatur auf die Beobachtungen.

Der kleine Betrag der Veränderungen, welche die Refraction und Dispersion fester Körper durch Temperaturvariationen erleiden¹⁾, macht bei spectrokopischen Differentialbeobachtungen, die an Apparaten mit Glasprismen angestellt werden, bekanntlich jede hierauf bezügliche Correction vollständig überflüssig, indem eine solche Correction an Grösse stets weit hinter den direkten Beobachtungsfehlern zurückbleiben muss. Trotz der ausserordentlich viel grösseren Empfindlichkeit des Schwefelkohlenstoffs in dieser Hinsicht, glaubte ich anfangs auch bei der Reduction der vorliegenden Beobachtungen, dieselbe Annahme machen zu können, da in den wenigen Secunden, welche zwischen den Einstellungen auf zwei mit einander zu verbindende Linien vergehen, eine merkliche Aenderung der Brechung des Prismensystems mir höchst unwahrscheinlich erschien. Das unzutreffende dieser Annahme stellte sich indessen, wie schon oben angedeutet wurde, in so auffallender Weise heraus, dass mit Rücksicht auf die sonstige Schärfe der Beobachtungen, eine Vernachlässigung der hierauf bezüglichen Correction durchaus unstatthaft war. Es bleibt uns desshalb, ehe zu den Beobachtungen selbst übergegangen wird, noch übrig die Ermittlung dieser Correctionen näher zu besprechen.

Bekanntlich äussert sich der Einfluss der Temperaturvariationen der Flüssigkeiten auf ihre Brechungsverhältnisse dadurch, dass eine Steigerung der Temperatur eine Verminderung der Brechung und der Dispersion bewirkt. Beim Schwefelkohlenstoff ist diese Abnahme, namentlich was die Brechung betrifft, eine sehr beträchtliche, und das Spectrum muss infolge dessen bei steigender Temperatur sich nach der weniger brechbaren Seite hin bewegen. Diese Erscheinung trat mir auch bei meinen ersten Beobachtungen im Sonnenspectrum mit dem neuen Apparat stets entgegen und es gehörte nur eine ganz unbedeutende Temperaturänderung dazu, um das Spectrum um eine sehr bedeutende Strecke zu verschieben. So z. B. wurde einmal die Linie $\lambda = 5316$ eingestellt; nach etwa anderthalb Stunden befand sich aber die Mikrometerspitze mit der Linie $\lambda = 5303$ in Coincidenz, während gleichzeitig ein neben den Prismen aufgestelltes Thermometer, eine Temperatur-

1) Nach den Untersuchungen von Stefan (Wien. Sitz.-Ber. 1871, Bd. LXIII. 2, p. 223) sind Steinsalz und Sylvin diejenigen Körper, welche von Allen in Bezug auf ihre Brechungsverhältnisse am meisten durch Temperaturveränderungen beeinflusst werden, und zwar betragen die Aenderungen des Brechungsindex für D und

100° C. resp. $dn = -0,00373$ und $-0,00345$. Dies ist aber nur noch ein Zwanzigstel der entsprechenden Aenderung des Brechungsindex des Schwefelkohlenstoffs für dieselbe Linie und dieselbe Temperaturdifferenz. Für Glas ist nach denselben Bestimmungen dn noch kleiner oder $= +0,00023$ für $\Delta t = 100^\circ \text{C}$.

erhöhung von $0^{\circ}3$ C. zeigte. Unter der Annahme, dass die Temperatur des Schwefelkohlenstoffs um dieselbe Grösse höher geworden wäre, würde demnach jedem Zehntel-Grade in dieser Gegend des Spectrums eine Verschiebung von nicht weniger als $4 \text{ \AA} . E.$ entsprechen. Wenn nun auch diese grosse Ortsveränderung des Spectrums im gegenwärtigen Falle allerdings erst in etwa einer halben Stunde erfolgte, so ist dadurch in keiner Weise irgend welche Garantie dafür gegeben, dass nicht ähnliche Ortsveränderungen unter Umständen viel rascher stattfinden können, und da übrigens der wahrscheinliche Fehler einer Wellenlängendifferenz, aus den Messungen allein abgeleitet, nur etwa $\pm 0,05 \text{ \AA} . E.$ beträgt, so kann die einer Verschiebung vom zehnfachen Betrage entsprechende Temperatursteigerung von $0^{\circ}01$ C. in viel kürzerer Zeit erfolgen als derjenigen, welche für eine einzelne Messung des Abstandes zweier Linien erforderlich ist. — Diesen Thatsachen gegenüber leuchtet es ohne Weiteres ein, dass jeder Versuch die Temperaturcorrection direct aus etwa beobachteten Temperaturen der Flüssigkeit und den optischen Constanten der Prismen mit der nöthigen Sicherheit zu ermitteln, scheitern muss, da diese Temperaturen nicht mit der erforderlichen Genauigkeit erhalten werden können. Das einzige was übrig bleibt, ist desshalb, nach möglichster Beseitigung aller, auf die Temperaturzustände des Apparats störend einwirkenden Umstände, die noch übrig bleibenden Fehler womöglich aus den Beobachtungen selbst zu ermitteln.

Vor Allem kommt es also darauf an, denjenigen Ursachen nachzuspüren, welche die Temperaturänderungen herbeiführen. Da das Beobachtungszimmer nicht geheizt wird, sondern in der kälteren Jahreszeit seine Erwärmung von den benachbarten warmen Zimmern erhält und um schnelle Temperaturänderungen auszuschliessen, an den Beobachtungstagen stets abgeschlossen ist, so lassen sich nur drei Ursachen anführen, welche eine Steigerung der Temperatur bewirken können, nämlich: 1) die mit den Sonnenstrahlen durch den Spalt in den Apparat gelangende dunkle Wärme, 2) die durch die Anwesenheit des Beobachters bedingte Erwärmung und 3) diejenige, welche die Luft des Zimmers durch die Bestrahlung des dunklen, nach Süden liegenden Fensterladens durch die Sonne erfährt. — Was die erste betrifft, war es schon von vornherein wahrscheinlich, dass ihr Einfluss verschwindend sein musste und es hat sich dies auch dadurch bestätigt, dass, wenn die Sonnenstrahlen vor dem Eintritt in's Instrument durch eine mit Alaunlösung gefüllte Cello geföhrt, und dadurch von ihrer dunklen Wärme befreit wurden, keine Verminderung der Ortsveränderung des Spectrums sich constatiren liess. Dasselbe gilt von der Anwesenheit des Beobachters. Als ich nämlich nach Einstellung einer Linie mich vom Apparat und vom Zimmer entfernte und nach einiger Zeit das Spectrum wieder beobachtete, so fand ich die Verschiebung nicht anders als bei fortdauerndem Aufenthalt neben dem Apparat. Es bleibt also nur übrig, den Grund zu der beobachteten stetigen Verschiebung des Spectrums nach der weniger brechbaren Seite hin, in der allmählichen Erhöhung der Zimmertemperatur durch die Bestrahlung des Fensterladens zu suchen. Wenn dem so ist, so müssen auch die schnellsten Aenderungen in der Lage des Spectrums den grössten Temperaturänderungen des Zimmers durch die Sonnenstrahlung der Zeit nach entsprechen, also in den Vormittagsstunden stattfinden und dies ist

es gerade, was die Beobachtungen zeigen. Eine Linie, welche vom Morgen an mit dem Mikrometer verfolgt wird, bewegt sich nämlich mit einer anfangs erheblichen, dann aber allmählich abnehmenden Geschwindigkeit nach dem Roth hin, bis sie etwa um 1 Uhr stationär wird und im Laufe des Nachmittags und der Nacht zur ursprünglichen Lage zurückkehrt. Im Laufe von 24 Stunden oscillirt demnach das Spectrum regelmässig einmal um eine der mittleren Tagestemperatur des Zimmers entsprechende Lage.

Ist nun die Bestrahlung des Fensterladens der einzige, oder wenigstens der hauptsächlichste Grund der beobachteten Verschiebung des Spectrums, so steht es zu erwarten, dass nur diejenigen Beobachtungen, bei denen das Sonnenlicht zur Anwendung kommt, also diejenigen, auf welche die Ableitung der Reductionsfactoren und der Wellenlängen der Fundamentallinien beruhen, davon beeinflusst werden. Dies ist auch der Fall. Denn betrachtet man die successiven, bei diesen Beobachtungen an der Trommel des Mikrometers gemachten Ablesungen, so findet man ein stetiges Weiterrücken derselben, wie es auch sein muss, wenn das Spectrum sich nach dem Roth hin bewegt, und die Einstellungen, wie bei meinen Beobachtungen, in demselben Sinne erfolgen. — Bei den an trüben Tagen angestellten Beobachtungen des Gasspectrums dagegen, ist ein derartiges Fortrücken der abgelesenen Zahlen im Allgemeinen nicht vorhanden, — die Verschiedenheit der Einstellungen ist dann durchweg derart, dass sie nur auf unvermeidliche Beobachtungsfehler zurückzuführen ist. Aus diesem Grunde sind auch nur an die Beobachtungen zur Bestimmung der Reductionsfactoren und der Wellenlängen der Fundamentallinien Temperaturcorrectionen angebracht worden.

In Bezug auf diese Correctionen hat man nun zweierlei zu berücksichtigen, erstens die Aenderungen der Dispersion des Prismensystems und zweitens diejenigen der Refraction. Ohne weiteres leuchtet es ein, dass die ersteren den letzteren gegenüber als Grössen höherer Ordnung angesehen werden dürfen; — es ist demnach wahrscheinlich, dass bei kleinen Temperaturvariationen die daraus etwa folgenden Correctionen der Beobachtungen vollkommen zu vernachlässigen sein werden und dass dem wirklich so ist, lässt sich leicht zeigen. Um diesen Beweis zu führen, wollen wir die bis jetzt über die Brechungsverhältnisse des Schwefelkohlenstoffs in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur angestellten numerischen Bestimmungen etwas näher betrachten. — Die ältesten, einigermaassen ausführlichen Untersuchungen in dieser Beziehung, über die wir verfügen, sind, mit Uebergang der wenigen Versuche von Baden Powell¹⁾, diejenigen von Dale und Gladstone²⁾. Dieselben geben von 5° zu 5° zwischen 0° und 42,5° die Brechungsindices der Linien *A*, *D*, und *H* des Sonnenspectrums, aus deren Vergleichung unter einander die folgenden Aenderungen für 1° C. im Mittel hervorgehen:

$$\begin{array}{lcl} \text{Bei } A \dots \frac{\Delta n}{\Delta t} & = & - 0,00074 \\ D \dots & = & - 0,00084 \\ H \dots & = & - 0,00096 \end{array}$$

1) The undulatory Theory, as applied to the dispersion of Light.

2) Phil. Trans. Vol. CXLVIII, p. 887, 1858.

Der von Dale und Gladstone für das benutzte Präparat angegebene Siedepunkt: $\pm 43^\circ$ C. weicht indessen recht erheblich von dem im Allgemeinen sonst gefundenen Werth $\pm 46^\circ$ bis $\pm 47^\circ$ ab, wonach die chemische Reinheit desselben wohl zweifelhaft erscheinen könnte. Da Lösungen von Schwefel und Phosphor in Schwefelkohlenstoff grössere Brechungsvermögen und Dispersion zeigen¹⁾ als das reine Präparat und auch in etwas anderer Weise durch Temperaturänderungen beeinflusst werden, so dürften aus diesem Grunde die obigen Zahlen wohl für bestätigungsbedürftig angesehen werden müssen. Soviel scheint jedoch aus den Untersuchungen von Dale und Gladstone hervorzugehen, dass die Aenderungen der Brechungsindices mit der Temperatur vom absoluten Betrag der letzteren unabhängig sind und dies wird auch durch die Versuche von Wüllner²⁾ bestätigt. Aus seinen mit grosser Sorgfalt angestellten, und über ein Temperaturintervall von $\pm 7^\circ$ bis $\pm 23^\circ$ C. sich erstreckenden Beobachtungen, leitet nämlich Wüllner die folgenden Ausdrücke für die Brechungsindices der drei Linien des ersten Wasserstoffspectrums ab:

$$\begin{aligned} \text{Für } H_\alpha \dots n &= 1,634066 - 0,000780 t \\ H_\beta \dots &= 1,669076 - 0,000820 t \\ H_\gamma \dots &= 1,692149 - 0,000850 t \end{aligned}$$

durch welche, wie die Wüllner'sche Tafel zeigt, die Beobachtungen sehr gut dargestellt werden. Mit den Zahlen von Dale und Gladstone verglichen, zeigen die obigen in Bezug auf die Aenderungen der Brechungsverhältnisse mit der Temperatur eine recht befriedigende Uebereinstimmung, dagegen ist dies bei den Indices selbst nicht der Fall. Um diese mit einander in Harmonie zu bringen, würde man, wie Wüllner zeigt, die von Dale und Gladstone für H_α und H_β und $\pm 15^\circ$ C. z. B. gegebenen Werthe auf die resp. Temperaturen $\pm 16,87$ und $\pm 16,67$ beziehen müssen. Darauf scheint auch der niedrige Siedepunkt des von ihnen angewandten Schwefelkohlenstoffs hinzudeuten.

Für unseren gegenwärtigen Zweck, um den Einfluss der Aenderung der Dispersion auf die Beobachtungen zu beurtheilen, würden die Wüllner'schen Daten wohl so ziemlich ausreichen; — da sie indessen nur für drei Punkte des Spectrums gelten und ein solcher Einfluss viel besser sich übersehen lässt, wenn das Spectrum in mehrere kleinere Parteen getheilt wird, so eignet sich dazu die von Van der Willigen³⁾ angestellte Beobachtungsreihe erheblich besser. Diese Beobachtungen beziehen sich nämlich auf sämtliche Linien, für welche Van der Willigen in seinen Untersuchungen über das Sonnenspectrum die absoluten Wellenlängen bestimmt hat, und deren Anzahl auf etwa 60 steigt. Aus denselben gehen für die Brechungsverhältnisse des Schwefelkohlenstoffs bei $\pm 18,75$ und für die Aenderung derselben für 1° C. die folgenden Ausdrücke hervor:

1) Vergl. C. R., T. LXIV p. 1030.

2) Pogg. Ann. Bd. CXXXIII, p. 17.

3) Archives du Musée Teyler III, p. 55.

$$n = 1,583671 + 1483490 \cdot \lambda^{-2} + 766867 \cdot 10^6 \cdot \lambda^{-4} + 79422900 \cdot 10^{12} \lambda^{-6}$$

$$\frac{\Delta n}{\Delta t} = -0,000859 + 1666 \cdot \lambda^{-2} - 6063 \cdot 10^6 \lambda^{-4} - 854434 \cdot 10^{12} \lambda^{-6}$$

wo die Wellenlängen λ in Einheiten der 7. Stelle ausgedrückt sind. Daraus habe ich die folgende Tafel berechnet:

λ	n	U	$\frac{\Delta n}{\Delta t}$	$\Delta \frac{\Delta n}{\Delta t}$
660,0	1,61909		-0,00083,4	
		0,00372		-0,1
630,0	62281		83,5	
		436		0,1
600,0	62717		83,6	
		520		0,3
570,0	63237		83,9	
		627		0,4
540,0	63864		84,3	
		771		0,9
510,0	64635		85,2	
		964		1,6
480,0	65599		86,8	
		1238		2,7
450,0	66837		89,5	
		1633		4,5
420,0	68470		94,0	
		2240		7,9
390,0	70710		101,9	

Das Verhältniss der Zahlen der fünften und der dritten Columne zu einander, giebt nun, wie man findet, diejenige Grösse δ , um welche sich die Dispersion des betreffenden Spectraltheils für eine Temperatursteigerung von 1° C. vermindert, ausgedrückt in Theilen desselben Gebiets. Ist nun ein Reductionsfactor $f = \Delta\lambda/\Delta i$ bei einer gewissen Temperatur bestimmt worden, so würde derselbe bei einer um 1° höheren Temperatur den Werth

$$f' = \frac{\Delta\lambda}{\Delta i(1 + \delta)} = f - f \cdot \delta$$

erhalten, oder die Fehler, denen Beobachtungen unterliegen, die bei einer um 1° höheren Temperatur angestellt sind, als die den Factoren entsprechenden, werden in den verschiedenen Spectraltheilen einem Fehler des entsprechenden Factors von dem folgenden Betrage proportional sein:

Zwischen $\lambda = 660$ und $\lambda = 630$	—	$f\delta = + 0,000025$
» 630 » 600	=	000020
» 600 » 570	=	000037
» 570 » 540	=	000035
» 540 » 510	=	000052
» 510 » 480	=	000058
» 480 » 450	=	000057
» 450 » 420	=	000048

Da aber der wahrscheinliche Fehler eines f im Allgemeinen $\pm 0,0002$ bis $\pm 0,0003$ beträgt, so findet man, dass die von der Aenderung der Dispersion herrührenden Fehler der Factoren erst bei Temperaturvariationen von 6° bis 7° eine Grösse erreichen, welche der den Factoren ohnehin anhaftenden Unsicherheit gleichkommt, und da solche Aenderungen der Temperatur im Beobachtungszimmer nie vorkommen, so ist der Einfluss der Dispersionsvariationen auf die Reductionsfactoren als verschwindend zu betrachten.

Dasselbe gilt auch in Bezug auf die Messungen der Spectrallinien des Gases. Denn angenommen, man hätte den Abstand einer Linie von der nächsten Fundamentallinie zu 10^r der Schraube gemessen — eine Grösse, die nur selten vorkommt — und zwar bei einer um 1° höheren Temperatur als diejenige, bei welcher die Factoren bestimmt wurden, so würde man denselben um die folgende, in Trommeltheilen ausgedrückte Grösse zu klein bekommen haben:

Im Roth	$d(\Delta i) = 1000 \cdot \delta = - 0,3$
» Grün	= = - 1,2
» Violett	= = - 3,5

Die entsprechenden Fehler der Wellenlängendifferenzen sind aber resp.: — 0,03, — 0,05, — 0,07 $\text{\AA. E.}$; Alles Grössen von derselben Ordnung, wie die wahrscheinlichen Fehler der Mikromettermessungen und erheblich kleiner als die aus denjenigen der Factoren folgende Unsicherheit, die bei einem Abstand von 10^r eine Grösse von $\pm 0,2$ bis $\pm 0,3 \text{\AA. E.}$ erreicht. Es ist somit auch für die Messungen der Linien des Gasspectrums der Einfluss der Aenderung der Dispersion zu vernachlässigen.

Ganz anders gestalten sich aber die Verhältnisse, wenn wir den Einfluss der Aenderungen der Refraction auf die zu bestimmende Wellenlängendifferenz betrachten. Wenn nämlich in der Zeit, welche zwischen den Einstellungen auf zwei mit einander zu verbindende Linien verfliesst, eine Temperaturänderung des Schwefelkohlenstoffs eintritt, die genügend ist, um eine merkliche Aenderung der Brechung hervorzurufen, so muss die gemessene Distanz fehlerhaft ausfallen, und zwar zu gross oder zu klein, je nachdem die Einstellungen von der brechbareren zur weniger brechbaren Seite des Spectrums oder umgekehrt erfolgen. Bei den vorliegenden Messungen ist das erstere der Fall, und man ersieht daraus, dass einerseits die aus Messungen im Sonnenspectrum abgeleiteten Reductions-

factoren zu klein, andererseits die Wellenlängendifferenzen zwischen den Fundamentallinien und den benutzten Sonnenlinien zu gross erhalten werden müssen. — Da nun die hierauf bezüglichen Correctionen der Beobachtungen wegen der Unmöglichkeit zu einer genauen Kenntniss der Temperatur des Schwefelkohlenstoffs zu gelangen, sich direkt in befriedigender Schärfe nicht bestimmen lassen, so habe ich zu ihrer Ermittlung ein Verfahren angewandt, welches allerdings auf einer Hypothese beruht, aber wegen der dadurch erreichten Uebereinstimmung der Beobachtungen unter einander als in Ermangelung jeder direkten Methode berechtigt angesehen werden dürfte. Dies Verfahren beruht auf der folgenden Ueberlegung. Bei den nur sehr allmählich stattfindenden Aenderungen der Temperatur der Prismen, darf es als sehr wahrscheinlich angesehen werden, dass in der kurzen Zeit, welche nöthig ist, um nach Einstellung einer Linie A zu der zweiten B überzugehen, die Verschiebung des Spectrums annähernd dieselbe ist, wie diejenige, welche während des Zurückgehens auf A und abermaliger Einstellung derselben stattfindet. Ist nun diese zweite Einstellung der Linie A um a Trommeltheile grösser als vorher, so wird sehr nahe $\frac{1}{2} a$ diejenige Grösse sein, um welche das Spectrum sich während der Messung des Abstandes AB verschoben hat, oder um welche dieser Abstand zu gross beobachtet worden ist. Bei der zweiten Messung wird man in ebensolcher Weise die fragliche Distanz um $\frac{1}{2} a'$, wo $a' \text{ nahe } = a$ ist, zu gross messen u. s. w. und wenn n Messungen vorliegen, an das Mittel derselben die Correction

$$- \frac{1}{n-1} \sum \frac{a}{2}$$

anzubringen haben. Um dies zu erläutern, führe ich aus meinen Beobachtungen die Bestimmung des Reductionsfactors für $\lambda = 509,9$ hier auf. Die benutzten Sonnenlinien waren:

$$\begin{aligned} \lambda &= 5090,31 \\ \lambda_1 &= 5107,02 \end{aligned}$$

für welche die folgenden Einstellungen erhalten wurden:

Linie λ	Linie λ_1	Diff.	Corr.
$\overset{r}{0,130}$	$\overset{r}{4,574}$	$\overset{r}{4,444}$	— 0,025
180	589	409	025
230	620	390	005
240	640	400	037
314	718	404	018
350	749	399	—
		4,408	— 0,022

woraus:

$$f = \frac{16,71}{438,6} = 0,0381$$

folgt. Um eine entsprechende Correction der letzten Messung zu erhalten, hätte die Linie λ nochmals allein eingestellt werden müssen. Die Correction beträgt in diesem speciellen Falle nur zwei Einheiten der letzten Stelle des Factors und ist demnach von unwesentlicher Bedeutung; bei geringerem Betrage der gemessenen Distanz, erhält dieselbe indessen bisweilen einen viel grösseren Werth. So z. B. im folgenden Fall:

$$\lambda = 6264,09$$

$$\lambda_1 = 6279,56$$

Linie λ r	Linie λ_1 r	Diff. r	Corr.
0,000	1,780	1,780	— 0,034
069	837	768	030
130	914	784	032
195	930	735	030
235	2,010	775	018
270	040	740	—
		1,764	— 0,029

woraus $f = 0,0890$ hervorgeht, während der uncorrigirte Werth 0,0877 beträgt. Bei einer in dieser Spectralgegend gemessenen Distanz von 10^r würde die Nichtberücksichtigung der Temperatur, wie man sieht, einen Fehler von nicht weniger als — 1,3 *A.E.* mit sich führen, eine Ungenauigkeit, welche bei den vorliegenden Beobachtungen durchaus unzulässig ist.

In dieser Weise sind alle Beobachtungen zur Ableitung der Reductionsfactoren und der Wellenlängen der Hauptlinien corrigirt worden. Bei den an trüben Tagen angestellten Messungen der übrigen Linien des Spectrums hat sich, wie schon oben erwähnt wurde, im Allgemeinen kein Bedürfniss herausgestellt, entsprechende Correctionen anzubringen, da dann die störende Ursache, nämlich die Erwärmung der Zimmerluft durch Bestrahlung des Fensterladens, nicht vorhanden war.

Dem Vorwurfe auf einer Hypothese zu beruhen, welcher dieser Art den Einfluss der Temperatur auf die Beobachtungen zu berücksichtigen, wohl mit einer gewissen Berechtigung gemacht werden könnte, lässt sich nicht besser begegnen, als durch Hinweis auf die gute Uebereinstimmung, welche zwischen den direkt aus dem Sonnenspectrum bestimmten Wellenlängen der Fundamentallinien und denjenigen stattfindet, die für jede derselben durch Verbindung mit der vorhergehenden Hauptlinie, unter Anwendung der corrigirten Factoren erhalten wird, während falls die Beobachtungen mit Hülfe der uncorrigirten Factoren reducirt werden, ganz unstatthafte Differenzen zu Tage treten. Um dies zu zeigen, habe ich in der Columnne *A* der folgenden Tafel die Wellenlängenbestimmungen einiger Hauptlinien zusammengestellt, wie sie direkt durch Vergleichung mit dem Sonnenspectrum erhalten wurden,

während die Columnen *B* und *C* die Werthe geben, welche für jede derselben aus demjenigen jeder vorhergehenden Linie unter Anwendung der corrigirten und uncorrigirten Factoren resp. berechnet worden sind.

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>A — B</i>	<i>A — C</i>
5812,00	—	—	—	—
5883,52	5883,25	5881,84	+0,27	+1,68
5930,76	5930,77	5929,27	—0,01	+1,49
5974,87	5974,81	5973,40	+0,06	+1,47
6017,46	6017,72	6016,59	—0,26	+0,87
6080,00	6080,26	6078,76	—0,26	+1,24
6120,98	6121,31	6120,27	—0,33	+0,71
6134,45	6134,48	6134,18	—0,03	+0,27
6182,19	6182,60	6181,56	—0,41	+0,63

Wie man sieht, ist die Uebereinstimmung der Werthe unter *A* und *B* eine genügend befriedigende, während diejenigen der dritten Columnne um so beträchtliche Grössen zu klein sind, dass sie in keiner Weise als brauchbar angesehen werden können. Dasselbe gilt denn auch in Bezug auf die Wellenlängen der zwischen den einzelnen Hauptlinien liegenden übrigen Linien des Spectrums, falls sie mit Hülfe der uncorrigirten Reductionsfactoren berechnet werden und zwar ist dann der Fehler dem jedesmaligen Abstände der einzelnen Linien von der als Ausgangspunkt gewählten Hauptlinie proportional. Dagegen zeigt der kleine Betrag der Differenzen *A — B*, dass die oben für die Reductionsfactoren gegebenen definitiven Ausdrücke in sehr befriedigender Weise die Dispersionsverhältnisse des Apparats darstellen, da die Abweichungen vollkommen innerhalb der Grenzen der wahrscheinlichen Fehler der Factoren eingeschlossen sind. Diese letzteren können nämlich bei Linienabständen von dem Betrage der Obigen ohne Weiteres eine Unsicherheit der Wellenlängen von $\pm 0,2$ bis $\pm 0,3 \text{ \AA.E.}$ hervorbringen.

Erheblich kleiner als der Einfluss der Temperatur auf die Reductionsfactoren ist die Einwirkung derselben auf die Wellenlängen der Fundamentallinien. Denn da die anzubringende Correction gewöhnlich nur $— 0,02$ bis $0,03$ beträgt, so kann dadurch die Wellenlängendifferenz nur um höchstens etwa $— 0,3 \text{ \AA.E.}$ im rothen Theil des Spectrums verändert werden, während in den brechbareren Theilen die Correction kaum $— 0,1 \text{ \AA.E.}$ beträgt. Trotzdem ist dieselbe jedoch dabei nicht zu vernachlässigen, denn die Unsicherheit der Factoren, welche bei grossen Linienabständen einen Fehler von $\pm 0,3 \text{ \AA.E.}$ wohl herbeiführen kann, hat in Bezug auf die Wellenlängenbestimmung der Fundamentallinien einen ganz verschwindenden Einfluss, weil diese Linien stets mit sehr nahe liegenden Sonnenlinien verbunden werden. Die Wellenlängen der Hauptlinien besitzen demnach eine ganz erhebliche Genauigkeit, die relativ genommen, gewiss grösser ist, als die absolute Genauigkeit der Wellenlängen der Sonnenlinien.

4. Resultate der Beobachtungen.

Die nach der im Obigen erörterten Methode erhaltenen Wellenlängenbestimmungen sind in der folgenden Tafel zusammengestellt. Mit Rücksicht auf die Genauigkeit der Beobachtungen, habe ich es dabei nicht für unmotiviert erachtet, auch die zweite Decimale mit aufzuführen, da bei den helleren Linien und vollends bei den Fundamentallinien dieser Stelle, meiner Meinung nach, ein reeller Werth wohl kaum abgesprochen werden kann. Bei den schwächeren Linien mag dies vielleicht nicht immer zutreffen, aber selbst wenn in solchen Fällen die relative Genauigkeit der Wellenlängendifferenzen nicht grösser als $\pm 0,1 \text{ \AA. E.}$ angenommen wird, so habe ich jedoch daraus nicht Anlass genommen, für diese Linien die Wellenlängen abzurunden. — Die Fundamentallinien sind in der zweiten Columnne durch die Buchstaben $a, b, c \dots a' b' c' \dots$ der Reihe nach bezeichnet und können nach dieser Nomenclatur auf den Zeichnungen des Spectrums sofort wiedergefunden werden. — Einzelne Bemerkungen, wie in Bezug auf Duplicität (dpl.) oder Verschwommenheit (v) der Linien, haben auch in dieser Columnne Platz gefunden. In der dritten Columnne schliesslich sind die nach den Zahlen 1 . . . 6 geschätzten Intensitäten der Linien angegeben, welche Zahlen bei der Anfertigung der Zeichnungen als Richtschnur gedient haben. — Es braucht wohl kaum besonders bemerkt zu werden, dass diese Schätzungen einen nur beiläufigen und in jedem Falle nur in Bezug auf die nächste Nachbarschaft gültigen Werth haben können; — als kurze Bezeichnungen für schwache, mittelstarke und sehr intensive Linien, mögen sie indessen für die Charakteristik des Spectrums von einer gewissen Bedeutung sein.

Wellenlängen der Linien des zweiten Wasserstoffspectrums.

λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J
6422,67		1,2	6200,76		1,2	6150,74		1,2
6394,32		1,2	6198,67		4	45,70		1,2
58,54		1	96,14		3	43,33		1,2
37,60		1,2	82,19	c	4	40,68		1
23,87	a	4	75,57		2	38,80		1
00,75		1,2	73,57		3,4	34,45	d	6
6296,90		3,4	69,46		2,8	26,61	$v.$	4
83,39		3	67,07		1	20,98	e	6
73,00		1	63,95		2	18,42		1,2
69,63		1	61,22		3,4	12,04		1
37,26		3,4	58,68		1,2	07,53		1
32,09		1	54,94		2	6097,66		2
23,96	b	4	52,65		1,2	95,20		4

λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J
6093,00		1	5935,36		1	5795,17		1
90,00		3,4	30,77	i	5	93,33		2
83,85	v. dpl.	1	27,48		1	90,52		2
80,00	f	5	24,17		4	86,32		1
78,41		1	20,09		4	84,49		4
73,82		3	15,60		4	78,12		3
69,56		5	11,32		1	73,85		4
66,82	dpl.	3	09,02		2,3	72,02		1
62,88		3	04,66		1	65,42		2,3
55,67		1,2	03,06		1,2	61,94		1
52,06	v.	4	5899,97		1,2	59,35	m	3,4
47,24		2,3	97,50		1	56,42		3,4
44,44		1,2	95,41		1	39,55		1
42,30		1,2	93,36		1,2	37,90		1
40,23		1,2	91,15		1	34,77		4
31,07		6	87,87	k	6	33,30		1,2
27,21		4	83,52		6	29,85		4
22,87		3,4	78,08		4	26,56		4
20,43		4	75,45		1	21,63		1
17,46	g	6	71,38		4	14,17		1,2
11,02	dpl.	1	68,76		4	11,83		2
06,40		1	63,91		2	08,14		1
04,24		1	61,01		1,2	02,25		3
02,25		3,4	59,32		1	5699,34		1,2
5997,38		1	56,67		1	96,09		1,2
93,74		3	50,96		2	92,97		1,2
91,95		3	48,61		2	88,10	n	4
89,91		3	46,84		1	83,09		3,4
88,42		3	35,45		4	81,64		3,4
82,17		4	32,34		2,3	75,36		1
74,87	h	5	30,53		2,3	73,62		1
69,15		3	24,00		1	71,88		2
66,57		3,4	22,00		3,4	69,70		2
62,62		3	18,82		3	66,37		2
59,00		3,4	16,10		1	62,46		1
55,47		1	14,48		3	60,80		2,3
49,15		4	12,00	l	6	58,57		2
46,80		3,4	04,50		1,2	56,66		2
42,86		1	03,10		1	54,61		3
41,15		1	5799,92		1,2	51,50		1,2
37,91		5	97,80		1	46,41		1

λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J
5645,17		1	5464,30		1	5265,78	x	3
41,54		3	59,90	s Hg.		63,65		3
33,43	o	3	56,18		1	60,94		2
30,97		1	53,96		1	56,23		2
29,30		2,3	51,45		1,2	37,36		2
25,80		2,3	45,85		1	30,30		1
22,89		1	38,98		1	28,05		2
21,24		1	33,83		3,4	25,43		2
19,05		1,2	29,96		1	21,66		2
15,33		1	27,84		1	19,73		1
10,80		4	25,00		3,4	13,67		2
07,84		1	19,03	t	4	04,39		1
02,46		2	17,36		1,2	01,93		1
5598,55		3	09,26		1	5198,93		2
95,65	p	3,4	08,18		1	95,90	y	3,4
90,25		1,2	06,26		1	90,09		1
78,33		1,2	04,50		1	87,55		1
73,11		1,2	00,48		2	80,14		2
71,25		1,2	5398,56		2	74,26		2
63,51		1	97,59		1	70,88		1
60,85		1	94,15		1	68,09		1
54,04		1,2	91,67		1	64,59		1
51,45		2,3	90,51		1	56,25		1
46,67		1	87,53	u	4	53,86		2
42,26		2,3	86,05		2	46,48	z	2,3
36,40	q	4	72,59		2	42,84		2,3
32,84		1	65,00		2,3	36,65		1
29,04		1	55,78		1	33,66		1
25,98		1,2	43,17		1	31,54		1
23,04		1	55,87		2,3	27,29		1
20,52		1	31,04		1	22,56		1,2
17,24		2,3	21,36		1	20,61		1
14,32		1	19,60		1	13,29	a'	3
06,78		1	17,28		2	08,45		1,2
04,50	r	4	13,18		1	06,46		1,2
5498,45		4	08,38		2	02,78		2,3
94,79		3	02,64	w	4	5099,06		1
93,07		1	5290,78		3	95,58		1
80,04		4	83,64		2,3	94,20		1
73,81		1,2	77,78		1	89,54		1
70,64		1	72,00		3	84,56	b'	3,4

λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J
5081,00		3	4933,54	} f'	5	4742,53		1,2
79,83		3	31,50		2	41,86		1,2
74,90		2	27,95		5	40,31		1
71,82		1,2	24,84		1,2	22,33		3
69,53		1,2	23,58		1	20,43		1
67,46		3,4	18,42		2	18,33	m'	4
63,32		3,4	08,16		2	13,14		2
61,22		2	05,50		2	10,33		1
54,22	c'	4,5	01,00		1	08,72		2,3
48,73		2	00,24		1	01,63	dpl.	1
47,11		2	4895,65		2	4691,22		1,2
40,91		3	90,46		2	89,39		2
38,94		3	87,68		1	85,97		1,2
29,60		3	85,45		1,2	85,47		1,2
19,80		1	83,14		1,2	83,67		1
15,87		3	77,16		1	83,00	n'	3
14,13		4	75,23	g'	3	81,66		2
12,21	d'	4,5	72,40		3	79,60		2
10,76		1,2	68,78		1	78,30		1,2
07,54		3	66,34		1	74,58		2
02,70		3,4	60,60	$h' H_\beta$		74,02		2
4997,26		2	55,77		2	72,51		1
95,80		2	48,57		3	70,76		2
89,53		1,2	42,67		1,2	67,00		1
88,64		1	41,45		1,2	64,90		2
82,54		1	37,31	i'	2,3	62,25		2,3
79,62		3	22,20		2	60,74		2
78,16		1	12,93		2	59,58		1,2
77,24		1	4796,81	k'	3	52,26		2,3
75,60		1	96,08		2	44,40		1
72,51	e'	4	92,97		2	33,60		1
68,44		2,3	89,93		1,2	33,10	o'	4,5
66,13		3	88,41		1,2	30,68		4
60,42		1	85,00		1,2	26,86		3,4
56,02		3	83,74		1,2	24,34		2,3
54,92		3	81,68		1	19,94		1
52,03		1	79,77		2	17,54		3
44,21		1	76,36		2	16,79		3
41,67		1	72,92		1	06,64		1,2
38,82		2	69,56		1	4582,03		3
35,80		1	62,53	l'	2,3	80,83		1

λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J	λ	Bemerkungen.	J
4579,44	p'	4	4537,05		1,2	4473,72		3
77,12		2	33,72	q'	3	66,64		2,3
74,80		2,3	32,06		1,2	60,62	s'	3
71,74	v.	4	28,07		2	58,47		1
67,21		4	23,02		2	56,36		2
64,38		1	22,27		1	55,28		1
62,86		2	20,40	Zwischen	1	52,60		1
61,41		2	14,83	diesen beiden	1	50,32		1
57,85	v.	2	09,85	Paaren feine	1	49,18		1
56,47	v.	2	04,88	Linien.	1	47,24	t'	3
53,33		3	01,03		1	44,72		3
50,23		2	4497,53	r' v.	4	43,63		1
48,97		1	92,84		1	17,04		2
47,09		1	89,75		3	12,00	u'	
42,87		1,2	85,20		2			
38,39		1,2	76,64		1			

Der Darstellung des Spectrums, welche diese Tafeln im Verein mit der Zeichnung gewähren, glaube ich wohl ohne Uebertreibung eine erhebliche Vollständigkeit beimessen zu können. Eine Vermehrung der Anzahl der Linien durch Anwendung noch grösserer Dispersion und Intensitätssteigerung des erregenden Inductionstromes wird nur in beschränkterem Umfange möglich sein und jedenfalls nur auf sehr schwache Linien Bezug haben können. Uebrigens ist die Forcierung des Stromes nur bis auf eine gewisse, von der Beschaffenheit der Spectralröhren abhängige Grenze möglich und ich glaube bei den von mir angewandten Röhren, mich dieser Grenze nach Möglichkeit genähert zu haben.

Die Vergleichung der Zeichnung mit der früher von mir publicirten lässt die Uebereinstimmung der Hauptlinien in beiden Fällen so befriedigend hervortreten, wie es in Anbetracht des beschränkteren Leistungsvermögens des kleineren Spectralapparates nur erwartet werden kann. Bei den vielfachen Modificationen, welche während dieser Untersuchungen in Bezug auf die Präparation des Gases und die angewandten Spectralröhren stattgefunden haben, liegt, meiner Meinung nach, darin nicht nur für die Beständigkeit des Spectrums, sondern auch für die schon früher von mir geäußerte Ansicht, über die wirkliche Zugehörigkeit desselben zum Wasserstoffe, ein sehr bindender Beweis. Sollte es unter den vielen schwachen Linien des Spectrums mir nicht vollständig gelungen sein, alle fremden Linien zu eliminiren, so hege ich doch die Hoffnung, dass dies nur selten der Fall sein wird, und jedenfalls nicht in solchen Fällen, die für die Charakteristik des Spectrums von irgend welcher Bedeutung wären.

