I. *Untersuchungen über die thermischen Wirkungen des Sonnenspectrums; von Dr. J. Müller in Freiburg.*

Einleitung.

Nachdem man durch Fluorescenz und Photographie die ultraviolette Ausdehnung des Sonnenspectrums genauer kennen gelernt hatte, gewann auch die jenseitige Ausdehnung des Spectrums, d. h. die über das Roth des sichtbaren Spectrums hinausgehende Verlängerung, welche nur durch ihre erwärmenden Eigenschaften merklich wird, ein neues Interesse.

Eine Zusammenstellung aller bis jetzt über die Wärmestrahlen im Sonnenspectrum ausgeführten Untersuchungen hat erst vor Kurzem R. Franz in einem Aufsatz gegeben, welcher in Pogg. Ann. Bd. CI, S. 59 abgedruckt ist; es würde deshalb sehr überflüssig seyn, wenn ich hier die Literatur über diesen Gegenstand nochmals aufführen wollte.

Durch die Untersuchungen Melloni's ist für die Lehre von der strahlenden Wärme eine neue Periode eröffnet worden. So zahlreich aber auch die Entdeckungen sind, welche in Folge der Einführung der Thermosäule und des Multiplicators als Thermoskop nach anderen Seiten hin gemacht wurden, so wurde doch die Kenntniss von den Wärmeverhältnissen des Sonnenspectrums nicht viel weiter gebracht, obgleich Melloni in dem Steinsalz einen Körper gefunden hatte, welcher alle Wärmestrahlen gleich gut durchläßt.

Melloni's Versuche über die Wärme des Sonnenspectrums beschränken sich fast nur darauf, die Lage des thermischen Maximums zu ermitteln. Mit einem Steinsalzprisma experimentirend fand er das Maximum der Erwärmung an einer Stelle, welche ebensoweit jenseits der rothen Gränze des Spectrums liegt, als die Stelle des Uebergangs von Grün in Blau vom rothen Ende absteht, (Pogg. Ann. Bd. XXXV, S. 307). Aber weder in dieser, noch in einer folgenden Abhandlung giebt Melloni numerische Data an: man erfährt weder, welche Ausschläge er bei diesen Versuchen an seinem Thermomultiplicator erhalten hat, noch wie breit die Spectra waren, mit denen er experimentirte; kurz es finden sich in Melloni's Abhandlungen durchaus keine Anhaltspunkte, um daraus die Intensitätscurve der Wärme im Sonnenspectrum abzuleiten.

Während früher Melloni Licht- und Wärmestrahlen als wesentlich verschieden angesehen hatte, sprach er sich später ganz entschieden für die vollkommene Identität derselben aus.

Diese letztere Ansicht, dafs Licht- und Wärmestrahlen gleicher Brechbarkeit absolut identisch seyen, vertreten auch Masson und Jamin (*Compt. rend. tom. 31 p. 14*), welche gefunden haben wollen, dafs von Steinsalz, Bergkrystall, Alaun, Glas, Wasser u. s. w. alle innerhalb des sichtbaren Spectrums liegenden Wärmestrahlen gleich gut durchgelassen werden, dafs also die ungleiche Diathermanität dieser Substanzen nur darin ihren Grund hat, dafs sie für die dunklen, noch weniger als Roth brechbaren Wärmestrahlen eine ungleiche Absorptionsfähigkeit haben. An der Richtigkeit dieses Resultates ist wohl nicht zu zweifeln; die genannten Physiker hätten aber doch die Versuche, durch welche sie sich zu diesem Schlusse berechtigt glauben, nicht zurückhalten sollen; denn ohne experimentelle Begründung hat die blofse Aussage des gefundenen Resultates nur einen geringen Werth für die Wissenschaft. Hätten Masson und Jamin die Beobachtungen publicirt, durch welche sie zu dem oben ausgesprochenen Resultate gelangten, so wür-

den dieselben ohne Zweifel hinlänglich Material bieten, um die thermische Intensitätscurve wenigstens innerhalb des sichtbaren Spectrums zu construiren.

Das Verdienst, zum erstenmale Gröfseangaben über die Wärme an verschiedenen Stellen des Spectrums mitgetheilt zu haben, welche mit Hülfe der Thermosäule und des Multiplicators erhalten worden waren, hat sich R. Franz durch seinen Aufsatz: „*Untersuchungen über die Diathermansie einiger gefärbten Flüssigkeiten*“ (Pogg. Ann. Bd. CI, S. 46) erworben.

Durch Franz erfahren wir zuerst (was gewifs jeder Physiker, welcher die thermischen Wirkungen des Sonnenspectrums zum Gegenstand von Experimentaluntersuchungen gemacht hat, beobachten mußte, was bis dahin aber noch keiner ausgesprochen hat), dafs in einem Spectrum, welches rein genug ist, um die Fraunhofer'schen Linien zu zeigen, die thermischen Effecte so gering sind, dafs an brauchbare Messungen derselben nicht zu denken ist.

Das Prisma, mit welchem Franz experimentirte, war ein Flintglasprisma. Durch einen 4^{mm} breiten Spalt drangen die vom einem Metallspiegel reflectirten Sonnenstrahlen in das dunkle Zimmer ein; 32 Millim. hinter diesem ersten Spalt befand sich ein zweiter, 2 Millim. breiter, und dicht hinter diesem zweiten Spalte war das Prisma aufgestellt.

In einem Abstand von 17 Centim. vom Prisma betrug die Breite des sichtbaren Spectrums ungefähr 18 Millim. Denken wir uns den an das rothe Ende des Spectrums angrenzenden Raum in Abtheilungen von 3^{mm} Breite getheilt, so nennt Franz die 1., 2., 3. u. s. w. dieser Abtheilungen die 1., 2., 3. u. s. w. dunkle Zone und fand für die Wärmeeffecte in den einzelnen Abtheilungen des sichtbaren Spectrums und in diesen dunklen Zonen folgende Werthe;

Fünfte dunkle Zone	0,83
Vierte " "	3,01
Dritte " "	6,11
Zweite " "	8,77
Erste " "	11,87

Roth	15,11
Gelb	10,78
Grün	6,39
Blau	3,61
Indigo	1,95
Violett	0,85

Die Zahlen sind nun aber nicht etwa unmittelbar die Werthe der beobachteten Ausschläge des Multiplicators, sondern sie sind aus den Mittelzahlen der besten Beobachtungen durch Multiplication mit einem constanten Factor erhalten, dessen Zahlenwerth aber nicht angegeben ist. Es wäre sehr zu wünschen gewesen, daß Franz wenigstens theilweise unmittelbar die beobachteten Ausschläge mitgetheilt hätte, weil man nur dadurch einen Maafsstab für den Grad der Genauigkeit der Resultate erhält.

Da das Glas eine bedeutende Menge dunkler Wärmestrahlen absorbirt, so stellt die nach obigen Zahlen construirte thermische Intensitätscurve keineswegs die Wärmevertheilung in einem vollständigen Wärmespectrum dar; ein solches läßt sich nur mit Hülfe eines Steinsalzprismas erhalten.

Dies war im Wesentlichen der Stand der Sache, als ich meine Versuche über die thermischen Wirkungen des Sonnenspectrums begann, welche den Gegenstand der folgenden Blätter bilden werden.

Die zu Versuchen über das Wärmespectrum gebrauchten Apparate und ihre Aufstellung.

Bevor ich zu den einzelnen Versuchsreihen übergehe, wird es nöthig seyn, die bei denselben gebrauchten Instrumente und ihre Aufstellung zu besprechen.

Die Thermosäule war in einer, zu Versuchen mit Sonnenstrahlen eingerichteten dunklen Kammer aufgestellt.

Unter den verschiedenen mir zu Gebote stehenden Multiplicatoren gab, mit einer Thermosäule von 40 Wismuth-Antimonpaaren combinirt, derjenige weitaus die bedeutendsten Ausschläge, welchen ich vor einigen Jahren selbst con-

struirt hatte, um Du Bois-Reymond's Versuche über den Muskelstrom zu wiederholen.

Dieser Multiplikator besteht aus 3700 Windungen, welche aber in vier Abtheilungen aufgewickelt sind, von denen jede in zwei Schraubenklemmen endigt, so dafs man die einzelnen Abtheilungen nach Belieben hintereinander oder nebeneinander combiniren kann. Bei letzterer Combination waren bei gleicher Bestrahlung der Thermosäule die Ausschläge mehr als doppelt so grofs als bei der ersteren, weshalb bei den folgenden Versuchen stets die letztere Combination angewandt wurde, welche eigentlich 925 Windungen von dem 4fachen Querschnitt des einzelnen Drahtes (0,3^{mm} Durchm.) repräsentirt.

Dieser Multiplikator ist an dem Fenster eines benachbarten Zimmers auf einem an der Wand befestigten Consol ein für allemal aufgestellt. Der Hauptheil der Leitung zwischen der Thermosäule und dem Multiplikator war durch zwei 1^{'''} dicke und mit Wolle überspinnene Kupferdrähte hergestellt.

Bevor ich zu den einzelnen Versuchsreihen übergang, habe ich den besprochenen Multiplikator nach Melloni's Methode graduirt. Bezeichnen wir mit I die Stromstärke, welche eine Ablenkung von 1° an unserem Instrumente hervorbringt, so ergab sich, dafs bis zu 20° hin die Ablenkung der Stromstärke proportional blieb, darüber hinaus aber ergaben sich folgende zusammengehörige Werthe der Ablenkungen und der Stromstärke:

Ablenkung	Stromstärke	Differenz der Stromstärke	
		für 5°	für 1°
25	26	6	1,2
30	32	8	1,6
35	40	12	2,4
40	52	17	3,4
45	69	23	4,6
50	92	30	6,0
55	122	40	8,0
60	162	61	12
65	223	100	20
70	323	187	37
75	510		

Zu den Versuchen über die Wärmestrahlen, welche durch farbige Flüssigkeiten hindurchgelassen werden, benutzte ich die schon erwähnte Thermosäule von 40 Wismuth-Antimonpaaren, welche schon seit längerer Zeit im Besitze unseres Kabinetts ist und deren Ursprung ich nicht angeben kann. Zu den Versuchen über die Vertheilung der Wärme im Spectrum selbst benutzte ich eine lineare Thermosäule von 15 Paaren, welche ich zu diesem Zwecke anschafte. Ich habe dieselbe von Lerebours et Secretan in Paris bezogen, in deren Katalog sie unter Nr. 765 auf Seite 93 angeführt ist. Einer ebenso construirten Thermosäule bedienten sich Masson und Jamin zu ihren Versuchen über die Wärme des Sonnenspectrums.

Damit der Leser die Leistungsfähigkeit meiner Apparate mit andern vergleichen könne, führe ich hier einige zu diesem Zwecke angestellte Versuche an.

Die 3 Zoll hohe Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners brachte in 3 Decim. Entfernung auf die quadratische Thermosäule (ohne Reflectionstrichter) strahlend 32° , auf die lineare Thermosäule strahlend 11° Ablenkung an dem oben besprochenen Multiplicator hervor.

Das durch eine Weingeistlampe erhitze geschwärtzte Kupferblech, welches ich in der 5. Auflage meines Lehrbuchs der Physik (Bd. II, S. 644) abgebildet habe, brachte aus 2,5 Decim. Entfernung auf die quadratische Thermosäule strahlend 43° , auf die lineare Thermosäule strahlend 14° Ablenkung an denselben Multiplicator hervor.

Die Sonnenstrahlen, mit welchen ich experimentirte, wurden durch den Metallspiegel eines Silbermann'schen *Heliostaten*, welcher vor dem Fenster der dunklen Kammer aufgestellt war, in horizontaler Richtung durch die entsprechenden Oeffnungen im Laden dieses Fensters in den verdunkelten Raum reflectirt.

In Betreff der Genauigkeit der nachfolgenden Versuche habe ich noch einige Bemerkungen zu machen.

Der Multiplicatorkreis ist nur von 5 zu 5 Grad getheilt, die Ablesungen sind deshalb auch höchstens bis auf $\frac{1}{2}$ Grad

genau. Eine grössere Genauigkeit in der Ablesung würde übrigens vollkommen illusorisch gewesen seyn, da einerseits die Einstellung der Multiplicatornadel, nachdem man die Thermosäule der Strahlung entzogen hatte, doch nie eine sehr präzise war und Schwankungen machte, deren Amplitude gegen $\frac{1}{2}$ Grad betrug; andererseits aber die Einstellung der linearen Thermosäule, da das Spectrum nicht rein genug war, um Fraunhofer'sche Linien zu zeigen, bei weitem noch nicht auf einen der Ablesung des Multiplicators entsprechenden Grad von Genauigkeit Anspruch machen kann.

An die Nachweisung wärmeloser Streifen im Spectrum, welche den Fraunhofer'schen dunklen Linien entsprechen, scheint vor der Hand noch nicht gedacht werden zu können, wie denn überhaupt die thermische Untersuchung des Spectrums noch weit von dem Grade der Genauigkeit entfernt ist, den man in der optischen Untersuchung des Spectrums erreicht hat.

In den folgenden Blättern ist das Beobachtungsmaterial soweit mitgetheilt worden, dafs der Leser sich ein Urtheil über die Gränzen der Beobachtungsfehler bilden kann. Ich habe es durchaus vermieden, den Resultaten einen Schein von Genauigkeit zu geben, den sie nicht haben und vor der Hand auch nicht wohl haben können.

Versuche über die Wärmestrahlen, welche von farbigen Flüssigkeiten durchgelassen werden.

Als ich mich entschlofs, Versuche über die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum aufzustellen, war ich noch nicht im Besitz einer linearen Thermosäule; ich dachte deshalb ohne eine solche dadurch zum Ziele zu kommen, dafs ich die Wirkung der Wärmestrahlen zu bestimmen suchte, welche durch farbige Flüssigkeiten gegangen waren. Ermittelt man alsdann welcher Theil des sichtbaren Spectrums von den fraglichen Flüssigkeiten durchgelassen wurde, so hoffte ich auf diese Weise die diesem Theil entsprechende Wärmewirkung bestimmen zu können, wobei aber natür-

lich die Identität der Licht- und Wärmestrahlen in dem Sinne, wie Masson und Jamin sie behauptet haben, als vollständig erwiesen angenommen werden mußte.

Die optische Untersuchung der farbigen Flüssigkeiten, mit welchen ich zu experimentiren beabsichtigte, wurde in der Weise ausgeführt, daß ich mittelst eines Flintglasprismas ein vollständiges Sonnenspectrum auf einem Papierschirm erzeugte, sodann die zu untersuchende, zwischen zwei 15^{mm} von einander abstehenden Glasplatten enthaltene Flüssigkeit dicht vor den Spalt setzte, welcher die Sonnenstrahlen einlief, und endlich beobachtete, welcher Theil des Spectrums unausgelöscht blieb.

Auf diese Weise ergaben sich folgende Resultate:

1. *Cochenillelösung* liefs alle rothen Strahlen bis zum Beginn des Orange vollkommen gut durch, so daß das Roth des Spectrums durch die Cochenillelösung nicht geschwächt wurde; dagegen waren aber alle übrigen Farben des Spectrums vollkommen ausgelöscht.

2. *Lösung von saurem chromsaurem Kali* liefs fast ohne alle Absorption Roth, Orange und Gelb, sodann noch eine Spur Grün durch, während der ganze Rest des Spectrums vollständig absorbirt wurde.

3. *Lösung von Chlorkupfer* absorbirt das ganze Spectrum bis auf das Grün, aber selbst das Grün des Spectrums hatte merklich an Lichtstärke verloren.

4. *Lösung von schwefelsaurem Kupferoxydammoniak* absorbirte vollständig den weniger brechbaren Theil des Spectrums, während Blau, Indigo und Violett ohne merkliche Schwächung durchgelassen wurden.

Um die Absorptionsfähigkeit dieser Flüssigkeiten für Wärmestrahlen zu bestimmen, liefs ich zunächst die vom Metallspiegel reflectirten Sonnenstrahlen durch eine runde Oeffnung von 1 Zoll Durchmesser in den dunklen Raum eintreten. Ungefähr 2½ Meter von der Oeffnung wurde die quadratische Thermosäule so aufgestellt, daß sie gerade in die Mitte des einfallenden Strahlenbündels zu stehen kam. Nachdem die entsprechende Ablenkung am Multiplicator ab-

gelesen war, wurde ein Gefäß von der in Fig. 585 meines Lehrbuchs (5. Aufl. Bd. I S. 506) abgebildeten Einrichtung, dessen Glaswände 15^{mm} von einander abstanden, einmal mit Wasser, dann der Reihe nach mit den oben genannten Flüssigkeiten gefüllt vor die Oeffnung gebracht und jedesmal die am Multiplicator bewirkte Ablenkung beobachtet.

Nun aber ergab sich, daß wenn die Thermosäule durch den Multiplicator geschlossen wurde, immer ein bald größerer bald kleinerer Ausschlag blieb, selbst wenn man möglichst alle Strahlung von der Thermosäule abhielt. Man mußte deshalb außer der Ablenkung, welche der Multiplicator bei farbiger Bestrahlung der Thermosäule zeigte, auch noch die Ablenkung beobachten, welche vorher und nachher stattfand, während alle Strahlung von der Thermosäule möglichst abgehalten war. Eine derartige Versuchsreihe wird dieß vollkommen verständlich machen.

	Ablenkung.	Ablenkende Kräfte.
Freie Strahlung	67°	
Ohne Strahlung	— 10	273
Reines Wasser	56	140
Ohne Strahlung	— 10	
Cochenillelösung	36	52
Ohne Strahlung	— 10	
Lösung von saurem chroms. Kali	48	91
Ohne Strahlung	— 8	
Lös. v. schwefels. Kupferoxyd-Amm.	6	13
Ohne Strahlung	— 5	

Die in der letzten Columne angeführten »ablenkenden Kräfte« sind aus den Angaben der vorhergehenden Zahlenreihe leicht zu berechnen. Als die Sonnenstrahlen, bevor sie die Thermosäule trafen, durch reines Wasser gehen mußten, war die Ablenkung 56°. Dieser Ablenkung entspricht nach der Tabelle auf Seite 341 die Stromstärke 130. Zu dieser Stromstärke ist aber noch 10 zu addiren.

Nach diesen, den Gang der Versuche hinlänglich erläuternden Bemerkungen wird es genügen, die Resultate der

drei besten Versuchsreihen dieser Art in der Weise zusammenzustellen, daß der Wärmeeffect der durch farbloses Wasser gegangenen Strahlen mit 100 bezeichnet wird.

	I.	II.	III.	
Farbloses Wasser	100	100	100	100
Rothe Lösung	37	35	38	40
Gelbe Lösung	65	64	70	74
Grüne Lösung	9	—	—	13
Blaue Lösung	9	9	9	13

Daß die Summen der Wärmemengen, welche durch die gelbe, die grüne und die blaue Lösung, (also $70 + 9 + 9 = 88$) nicht gleich ist der durch farbloses Wasser gehenden Wärmemenge 100, liegt offenbar nur daran, daß jede der farbigen Lösungen auch einige Absorption auf Strahlen ihrer Farbe ausübt, wie wir ja von der grünen Lösung wissen, daß sie nicht alle grünen Strahlen des Spectrums durchläßt. Vertheilen wir die Differenz $100 - 88 = 12$ in der Weise, daß 2 auf Roth, 2 auf Orange und Gelb, 4 auf Grün, 4 auf Blau, Indigo und Violett kommt, so ergeben sich für die wärmende Kraft der einzelnen Abtheilungen des Spectrums die in der letzten Verticalreihe obiger Tabelle angegebenen Werthe.

Demnach wäre also die erwärmende Kraft	
aller violetten, indigofarbenen und blauen Strahlen des Spectrums	13
aller grünen Strahlen des Spectrums	13
aller gelben und orangefarbenen Strahlen des Spectrums (74 — 40)	34

Was aber die wärmende Kraft aller rothen Strahlen des Spectrums anlangt, so können wir dafür nicht ohne Weiteres die der rothen Lösung entsprechende Zahl 40 nehmen, weil wir durch unsere Versuche nicht berechtigt sind anzunehmen, daß die rothe Lösung nur rothe und nicht aufser diesen noch eine gewisse Menge dunkler Wärmestrahlen durchlässe.

Eine rothe Flüssigkeit, welche nur rothe Strahlen mit Ausschluss der dunklen Wärmestrahlen durchläßt, wird aber

wohl eben so wenig gefunden werden, als es bis jetzt gelungen ist, eine gelbe Flüssigkeit zu finden, welche gelbe Strahlen mit Ausschluss des Rothen durchläßt.

Nach den Versuchen von Franz (Pogg. Ann. Bd. CI. S. 57 und 58) können wir annehmen, daß 43 bis 50 Proc. aller durch die rothe Lösung gehenden Strahlen dunkle Wärmestrahlen sind; es bliebe demnach für die wärmende Kraft aller rothen Strahlen des Sonnenspectrums noch der Werth 20 bis 30 übrig.

So ergibt sich denn aus diesen Versuchen, daß die wärmende Kraft der weniger brechbaren Strahlen des Sonnenspectrum, nämlich der rothen, orangefarbenen und gelben, viel bedeutender ist als die der grünen, blauen, indigofarbenen und violetten. Die oben mitgetheilten Zahlenwerthe würden auch, in Verbindung gebracht mit der Ausdehnung der einzelnen Farben im Spectrum, zur Construction einer Intensitätscurve der wärmenden Kraft des Sonnenspectrums führen. Wir wollen aber die Ausführung derselben unterlassen, da ihr Resultat jedenfalls weniger genau seyn würde, als man von einer directen Untersuchung des Sonnenspectrums in thermischer Beziehung erwarten kann.

Versuche über die Wärmevertheilung im Spectrum eines Gas- und eines Steinsalzprismas.

Nach Beendigung der im vorigen Abschnitt besprochenen Versuchsreihe, ging ich, da unterdessen die lineare Thermosäule angekommen war, zu directen Versuchen über die Vertheilung der Wärme im Sonnenspectrum über. Ein Sonnenspectrum ohne absorbirte Wärmestrahlen läßt sich bekanntlich nur durch ein Steinsalzprisma erhalten; bevor ich jedoch die Versuche mit einem solchen, welches ich von Hrn. J. V. Albert Sohn in Frankfurt a. M. bezogen hatte, anstellte, hielt ich es für zweckmäfsig, erst mit einem Glasprisma zu experimentiren, um die zweckmäfsigste Anordnung der Versuche ausfindig zu machen und die nöthige Uebung

in denselben zu erlangen, bevor ich das Steinsalzprisma aus dem Glasgehäuse nahm, in welchem es eingekittet war.

Nach einigen vorläufigen Versuchen wurde die Aufstellung der Apparate in folgender Weise ausgeführt:

Die von dem Metallspiegel des Heliostaten reflectirten Strahlen gelangten durch einen 3^{mm} breiten Spalt in das dunkle Zimmer. Ungefähr 3 Zoll von diesem Spalt war ein Crownglasprisma so aufgestellt, daß die durchgehenden Strahlen ungefähr das Minimum der Ablenkung erlitten. Auf die Vorderfläche dieses Prismas war ein Stanniolblatt aufgeklebt, aus welchem ein 3^{mm} breiter verticaler Streifen ausgeschnitten und dadurch eine zweite, ganz unmittelbar vor dem Prisma befindliche Spalte gebildet war. Es versteht sich von selbst, daß an der Stelle, wo die Stanniolbelegung weggenommen war, die Glasoberfläche gehörig von Leim gereinigt wurde.

Die lineare Thermosäule wurde in einem solchen Abstand von dem Prisma aufgestellt, daß das sichtbare Spectrum daselbst eine Breite von 18^{mm} hatte, wie bei den Versuchen von Franz. Sie war auf die Messingschiene des Melloni'schen Apparats aufgesetzt, welche rechtwinklig stand zu der Richtung des aus dem Prisma austretenden Strahlenbündels. Die Schiene, auf welcher die Thermosäule leicht verschoben und beliebig festgestellt werden konnte war in Pariser Linien getheilt.

In die Leitung, welche die Thermosäule mit dem Multiplicator verband, wurde ein Commutator eingeschaltet und für jede Stellung desselben eine Ablesung vor, während und nach der Bestrahlung der Thermosäule durch eine bestimmte aus dem Prisma austretende Strahlengattung vorgenommen.

Ein Beispiel mag diesen Gang der Beobachtung erläutern. Die Thermosäule wurde in das Roth des Spectrums eingestellt, sodann die durch den ersten Spalt eintretenden Sonnenstrahlen durch einen Schirm von Pappendeckel aufgefangen, also die Thermosäule der Strahlung entzogen.

Nachdem nun der Commutator geschlossen worden war, stellte sich die Nadel des Multiplicators auf

$$+ 3^{\circ},5$$

ein. Nun wurde der Schirm entfernt welcher die Strahlen von dem Prisma abhielt, so dafs die Thermosäule von rothen Strahlen getroffen wurde; die Nadel des Multiplicators stellte sich auf

$$- 7^{\circ}$$

ein. Nachdem die einfallenden Strahlen wieder aufgefangen worden, die Thermosäule also abermals der Strahlung entzogen worden war, ging die Nadel des Multiplicators wieder auf

$$+ 3^{\circ},5$$

zurück. Daraus folgt aber, dafs die Bestrahlung der Thermosäule durch die rothen Strahlen in diesem Falle eine Ablenkung von $10,5^{\circ}$ hervorbrachte.

Der Commutator wurde nun umgekehrt und die Beobachtung in gleicher Weise wiederholt und nun ergab sich für die Bestrahlung der Thermosäule durch die rothen Strahlen eine Ablenkung von $9^{\circ},5$. Im Mittel entspricht also der thermischen Wirkung, welche die rothen auf die Thermosäule fallenden Strahlen hervorbringen, eine Ablenkung der Multiplicatornadel von 10 Graden.

In der folgenden Tabelle sind nun die auf diesem Wege für die verschiedenen Stellen des Spectrums erhaltenen Mittelwerthe der thermischen Effecte zusammengestellt.

Gränze von Indigo und Violett	2°
Mitten im Blau	4
Mitten im Gelb	7
Mitten im Roth	10
1''' über die rothe Gränze hinaus	12
2''' " " " " "	11
4''' " " " " "	7
6''' " " " " "	2

Nach diesen Beobachtungen liegt also in dem Spectrum unseres Crownglasprismas das Maximum der Wärme noch über die rothe Gränze hinaus, während Franz das ther-

mische Maximum für sein Flintglasprisma im Roth selbst fand. Diese Abweichung läßt sich aber leicht erklären. Der Weg, den die Strahlen innerhalb des Franz'schen Prismas zurückzulegen hatten, betrug ungefähr 18 Millim., während ich die Spalte in der Stanniolbelegung so angebracht hatte, daß der Weg, welchen die Strahlen im Glas zu durchlaufen hatten, nur 10^{mm} betrug. Da nun aber das Glas auf die dunklen Wärmestrahlen absorbirend wirkt, so wird das thermische Maximum offenbar gegen das Roth hinverschoben, wenn die Dicke der zu durchwandernden Glasschicht zunimmt.

Nach den obigen Zahlenangaben ist nun die thermische Intensitätscurve *RabS* in Fig. 1 auf Taf. III. für das Spectrum eines Glasprismas construirt. Man übersieht aus derselben, daß die thermische Verlängerung des Spectrums über das Roth hinaus noch einen Raum einnimmt, welcher nahezu eben so lang ist als das ganze sichtbare Spectrum, welches in unserer Figur durch eine Klammer bezeichnet ist. Für diesen sichtbaren Theil des Spectrums ist auch, der bessern Orientirung wegen, die Lage der wichtigsten Fraunhofer'schen Linien bezeichnet.

Nach den Beobachtungen von Franz ist der dunkle Theil des Wärmespectrums ungefähr eben so groß, wie ich ihn gefunden habe, wie denn überhaupt jene Beobachtungen mit den meinigen wenn auch nicht ganz übereinstimmen, doch keine wesentlichen Abweichungen zeigen. Ich hielt es deshalb auch für unnöthig eine zweite Versuchsreihe mit dem Glasprisma anzustellen und ging alsbald zu den Versuchen mit dem Steinsalzprisma über.

Dieses Prisma war ein gleichseitiges; jede Seite war 36^{mm} lang, die Höhe des Prismas betrug 44^{mm}. Da man auf dieses Prisma nicht ein Stanniolblatt aufkleben konnte, ohne die Eintrittsfläche zu verderben, so wurde das Stanniolblatt durch eine Platte von Messingblech ersetzt, in welcher ein Spalt von 3^{mm} Breite angebracht war, und welcher dicht vor die Eintrittsfläche des Steinsalzprismas aufgestellt wurde.

In der folgenden Tabelle sind die Resultate zweier

Versuchsreihen zusammengestellt, von denen jede ganz in der Weise ausgeführt wurde, wie die oben besprochene Versuchsreihe mit dem Glasprisma

	I.	II.
Violettes Ende	0,5°	—
Im Blau	3,0	2,0°
Im Gelb	5,5	4,8
Im Roth	7,3	6,0
1''' i. D.	9,7	8,3
3''' i. D.	11,5	9,7
4''' i. D.	10,5	7,5
6''' i. D.	1,0	1,2

Nehmen wir aus den beiden nebeneinander stehenden Zahlen das Mittel, multipliciren wir dasselbe mit einem Factor, welcher für Roth das Product 10 giebt, so kommt

Im Blau	3,7
Im Gelb	7,9
Im Roth	10,0
1''' i. D.	13,2
3''' i. D.	15,9
4''' i. D.	13,2
6''' i. D.	1,7

Dafs die Ausschläge für den sichtbaren Theil des Spectrums bei den Versuchen mit dem Steinsalzprisma geringer ausfielen als bei denen mit dem Glasprisma, hat offenbar nur darin seinen Grund, dafs die Flächen des Steinsalzes doch nicht ganz so vollkommen geschliffen und polirt werden können als die des Glases, und ferner darin, dafs in einer Partie des Steinsalzprismas eine schwache Trübung vorhanden war.

Diese Zahlen stimmen nun freilich selbst innerhalb des sichtbaren Spectrums nicht ganz mit denen für Glas erhaltenen überein, allein die gewifs nur von Beobachtungsfehlern herrührenden Differenzen sind nicht der Art, dafs man wegen ihrer die Identität der thermischen Intensitätscurve für das Glas und Steinsalzprisma innerhalb des sichtbaren Theils des Spectrums in Zweifel ziehen dürfte. (Von einer

Berücksichtigung der Unterschiede der partiellen Dispersion von Glas und Steinsalz kann natürlich hier keine Rede seyn.) Ueber die rothe Gränze des sichtbaren Spectrums hinaus gehen aber die beiden Intensitätscurven bedeutend auseinander, wie man Fig. 1 Taf. III sieht, in welcher die Curve *RacS* dem Spectrum des Steinsalzprismas entspricht.

In diesem Spectrum liegt also das thermische Maximum noch weiter vom Roth ab, als beim Spectrum des Glasprismas und zwar ist der Abstand dieses Maximums von der Gränze des Roth übereinstimmend mit Melloni's Versuchen ungefähr ebenso groß wie der Abstand des Uebergangs von Grün in Blau von der rothen Gränze des Spectrums.

Die dunkle thermische Verlängerung des Spectrums ist diesen Versuchen zu Folge für Steinsalz nicht größer als für Glas.

Da nun das Steinsalz die Wärmestrahlen aller Art gleich gut durchläßt, so stellte uns die Curve *RacS* die wahre Vertheilung der Wärme in einem nicht durch partielle Absorption alterirten Brechungsspectrum dar.

Bestimmung des Brechungsexponenten und der Wellenlänge der äußersten dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums.

Durch die obigen Versuche ist dargethan, daß die dunklen Wärmestrahlen, welche im Sonnenspectrum enthalten sind, noch weit über die rothe Gränze des sichtbaren Spectrums hinausgehen, und zwar so, daß die Fraunhofer'sche Linie *B* (für ein Crownglasspectrum) ungefähr in der Mitte liegt zwischen dem violetten Ende des Spectrums und den äußersten dunklen Wärmestrahlen desselben (Fig. 1 Taf. III). Da nun für Crown Glas der Brechungsexponent für *H* ungefähr 1,546, für *B* ungefähr 1,526 ist, so ergibt sich, daß der Brechungsexponent der äußersten dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums ungefähr 1,506 ist.

Was nun die Bestimmung der Wellenlänge der dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums betrifft, so kann man

begreiflicherweise die Methoden nicht in Anwendung bringen, welche zur Bestimmung der Wellenlänge der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen angewandt worden sind, sondern man muß die Wellenlänge der verschiedenfarbigen Lichtstrahlen als bekannt voraussetzend, nach dem Zusammenhange zwischen Brechungsexponent und Wellenlänge aus dem Brechungsexponent der äußersten dunklen Wärmestrahlen auf ihre Wellenlänge schließen.

Mit Cauchy's Dispersionsformel, welche den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Brechungsexponent darstellen soll, scheinen die Resultate meiner Versuche in Widerspruch zu stehen. Ich behalte mir vor, diesen Gegenstand später ausführlicher zu erörtern.

Ich versuche nun den Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Brechungsexponent durch eine empirische Formel darzustellen. Bezeichnen wir die Wellenlänge mit w , den Brechungsexponenten mit e , so können wir setzen

$$w = a + be + ce^2 \quad . \quad . \quad . \quad 1)$$

Setzen wir in diese Gleichung der Reihe nach drei zusammengehörige Werthe von w und e , nämlich: der Fraunhofer'schen Linie B entsprechend,

$$w = 690 \quad e = 1,526$$

dann der Fraunhofer'schen Linie F entsprechend

$$w = 485 \quad e = 1,536$$

und endlich der Fraunhofer'schen Linie H entsprechend

$$w = 396 \quad e = 1,546$$

(indem man, um die vielen Decimalstellen zu vermeiden, die wahren Werthe von w mit 1000000 multiplicirt) so erhalten wir drei Gleichungen, aus denen sich folgende Werthe von a , b und c ergeben:

$$a = 1391460$$

$$b = -1796460$$

$$c = 580000.$$

Setzen wir diese Zahlenwerthe in Gleich. 1), so kommt

$$w = 1391460 - 1796460 e + 580000 e^2 \quad . \quad . \quad 2)$$

Aus dieser Gleichung ergibt sich endlich für die Wellenlänge der äußersten Wärmestrahlen des Sonnenspectrums,

wenn wir für e den Brechungsexponent derselben, nämlich $e = 1,506$ substituiren; man findet alsdann

$$w = 1770$$

oder vielmehr

$$w = 0,00177$$

wenn man den aus Gleichung (2) berechneten Werth mit 1000000 dividirt.

Leichter und übersichtlicher gelangt man zu demselben Resultat auf geometrisch-graphischem Wege. In Fig. 2 Taf. III repräsentirt die Linie RS das durch ein Crownglasprisma hervorgebrachte Sonnenspectrum und zwar in gleicher Ausdehnung wie in Fig. 1 Taf. III. In den Punkten H , G , F , D und B , welche den gleichnamigen an diese Stellen fallenden Fraunhofer'schen Linien entsprechen, sind Perpendikel errichtet und deren Länge der Wellenlänge proportional aufgetragen, und zwar auf die Weise, daß eine Höhendifferenz von 5 Millim. einem Unterschied der Wellenlänge von $0,0001^{\text{mm}}$ entspricht. Die über die Gipfelpunkte der Perpendikel in H , G , F , D und B gezogene Curve ab stellt nun das Gesetz dar, nach welchem die Wellenlänge vom Brechungsexponenten im Crownglase abhängt.

Die Curve ab ist aber nun über b hinaus in der Weise verlängert, daß der Verlauf der Verlängerung bc sich möglichst gut an den Verlauf des durch Beobachtungen bestimmten Curvenstücks ab anschließt oder mit anderen Worten das Gesetz, nach welchem Wellenlänge und Brechungsexponent innerhalb des sichtbaren Theils des Spectrums zusammenhängen, ist auf graphischem Wege auch auf die ultrarothern dunklen Wärmestrahlen übertragen worden.

Errichtet man nun in S , d. h. in dem Punkt, welcher den äußersten Gränzen der dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums entspricht, ein Perpendikel, so trifft dasselbe unsere Curve in einem Punkte c , dessen Höhe über der Abscissenlinie RS einer Wellenlänge $0,0019$ entspricht, d. h. die Wellenlänge der äußersten dunklen Wärmestrahlen des Sonnenspectrums ist

$$0,0019 \text{ Millim.}$$

Wir können diesen Werth natürlich nicht als einen genauen, sondern nur als einen angenäherten bezeichnen, da die Erweiterung eines jeden empirischen Gesetzes über die Gränzen der Beobachtungen hinaus, aus welchen es abgeleitet wurde, nie auf grofse Genauigkeit Anspruch machen kann, mag diese Erweiterung nun auf algebraischem, oder wie es hier geschehen ist, auf geometrisch-graphischem Wege ausgeführt worden seyn.

Als Mittel aus dem durch Rechnung gefundenen Werth 0,00177 und dem auf geometrisch-graphischem Wege ermittelten Werthe 0,0019 ergibt sich

$$w = 0,00183 \text{ Millim.}$$

als Wellenlänge der äufsersten dunklen Strahlen des Sonnenspectrums.

Die Wellenlänge der alleräufsersten fluorescirenden Strahlen, welche im Sonnenlicht enthalten sind, ist nach Esselbach's Untersuchungen 0,0003 Millim. (siehe mein Lehrbuch der Physik 5. Aufl. Bd. I S. 698; Pogg. Ann. XCVIII, S. 513). Der nächst niederen Octave dieser allerbrechbarsten Strahlen kommt die Wellenlänge 0,0006^{mm} zu, welche, wie man aus Fig. 2 Taf. III ersieht, nahezu dem Fraunhofer'schen Streifen *D* im Orange entspricht.

Die zweit niedere Octave der allerbrechbarsten Strahlen mit der Wellenlänge 0,0012^{mm} fällt bereits mitten in die dunklen Wärmestralen des Sonnenspectrums, die dritt niedere Octave mit der Wellenlänge 0,0024 fällt aber noch über die der geringsten Brechbarkeit entsprechende Gränze *S* des Sonnenspectrums hinaus. *Im Ganzen umfaßt also das Sonnenspectrum etwas über 2½ Octaven*, d. h. Strahlen von der Wellenlänge von 0,0003 bis zur Wellenlänge von 0,0018 Millim.

Vertheilung der Wärme im Diffractionsspectrum.

Es ist bekannt, dafs die Farben in einem Gitterspectrum ganz anders vertheilt sind als in einem prismatischen Spectrum; es läfst sich also voraus sehen, dafs die Intensitätscurve der Wärme für ein Gitterspectrum eine ganz andere

Gestalt haben wird, als die in Fig. 1 Taf. III verzeichnete, welche sich auf ein prismatisches Spectrum bezieht.

Die ersten Versuche über die Wärme im Diffractionsspectrum hat meines Wissens Draper angestellt (*Philosophical Magazine* 1857, Vol. XIII. pag. 153), welcher mit einem durch Reflexion erhaltenen Gitterspectrum experimentirte. Die Art, wie er seine Versuche anstellte, ist höchst unvollständig beschrieben und über die Gröfse der Effecte, welche er am Multiplicator erzielt hat, giebt er nicht die mindeste Auskunft; er behauptet nur, das Maximum der Erwärmung im Gelb gefunden zu haben. Wenn auch, wie er selbst sagt, seine Resultate „*imperfect and incomplete*“ waren, so wäre doch immerhin eine genauere Beschreibung der angewandten Apparate, der Anordnung des Versuchs und seiner Ergebnisse für den Physiker von Interesse gewesen.

Wenn ich es recht verstanden habe, so wendet Draper als Thermosäule ein einziges thermo-elektrisches Element an; es ist also auch nicht zu verwundern, wenn die thermischen Wirkungen, welche er beobachtete, wie er selbst zugiebt, sehr gering waren; ja ich kann nach meinen Erfahrungen kaum begreifen wie er mehr als Spuren jener Wirkungen beobachten konnte.

Im Besitz eines ausgezeichneten Ruscitters, dem ähnlich mit welchem Eisenlohr (Pogg. Ann. Bd. XCVIII S. 354) experimentirte, und welches ich gleichfalls der freundschaftlichen Güte des Hrn. Prof. Schwerd verdanke, stellte ich Versuche über die strahlende Wärme im Diffractionsspectrum an, fand aber, obgleich ich eine lineare Thermosäule von 15 Paaren anwandte, die thermischen Effecte so gering, dafs ich die Hoffnung aufgab auf diesem Wege einigermaßen brauchbare Resultate zu erzielen; denn merkliche Ausschläge des Multiplicators erfolgten erst, wenn ich die Thermosäule dem Gitter bis auf einen Abstand näherte, für welchen die Spectra so unrein waren, dafs das erste vollkommen in das zweite überging.

Die geringe Erwärmung im Diffractionsspectrum ist leicht

erklärlich. Bei Vermeidung einer Linse darf man höchstens einen 2^{mm} breiten Theil des Gitters in Anwendung bringen, wenn man noch einigermaßen reine Spectra erhalten will. Als ich nun die etwas über 2^{mm} breite lineare Thermosäule an die Stelle des Gitters setzte, war die Totalwirkung, welche das direct auf die Thermosäule fallende Strahlenbündel am Multiplicator hervorbrachte, eine Ablenkung von 30°. Wenn nun dieselbe Strahlenmenge auf einen 2^{mm} breiten Theil des Gitters fällt, so wird ungefähr die Hälfte aller Strahlen durch die undurchsichtigen Partien des Gitters aufgefangen, es bleibt also noch eine thermische Totalwirkung von 15° übrig. Diese Wärme vertheilt sich aber auf eine ganze Reihe von Spectren. Nehmen wir das Mittelbild mitgerechnet nur 7 an, so bleiben, wenn man von allen andern Verlüsten abstrahirt, für die thermische Gesamtwirkung eines einzelnen Beugungsspectrums kaum noch 2° übrig. Wenn aber die Gesamtwirkung eines solchen Spectrums nur 2° ist, so kann man in den einzelnen Theilen desselben unmöglich namhafte Wärmeeffecte erwarten.

Obgleich die experimentalen Hilfsmittel zu diesem Zweck bis jetzt noch nicht so weit vervollkommen sind, daß man den Verlauf der Wärmecurve im Diffractionsspectrum aus directen Versuchen ableiten kann, ist es doch möglich auf indirectem Wege dieses Ziel zu erreichen; es läßt sich nämlich der Verlauf der Wärmecurve im Diffractionsspectrum aus dem Verlauf der für das Brechungsspectrum ermittelten Wärmecurve Fig. 1 Taf. III und zwar am einfachsten auf folgende Weise ableiten.

Denken wir uns in Fig. 2 Taf. III von den Punkten, in welchen die horizontalen Linien die Curve *abc* treffen, Perpendikel auf die Linie *RS* gefällt, so wird durch diese Perpendikel die ganze Länge des Spectrums in 15 Abtheilungen getheilt, deren jede einer Differenz der Wellenlänge von 0,0001 Millim. entspricht, d. h. von der Linken zur Rechten fortschreitend entspricht jeder folgenden Verticalen eine um 0,0001 Millim. größere Wellenlänge. Fig. 3 Taf. III stellt

nun die Wärme-Intensitäts-Curve des Brechungsspectrums sammt diesen Verticalen dar.

Soll nun ein Diffractionsspectrum von gleicher Breite HS wie das Brechungsspectrum Fig. 3 Taf. III in 15 Theile getheilt werden, deren jeder einer Zunahme der Wellenlänge von 0,0001 Millim. entspricht, so ist die ganze Länge HS in 15 *gleiche* Theile zu theilen, wie dieß in Fig. 4 Taf. III geschehen ist. Die entsprechenden Abtheilungen des Brechungs- und Beugungsspectrums sind demnach von ungleicher Breite; dieselbe Strahlenmenge ist in dem einen auf eine grössere oder kleinere Strecke vertheilt als im andern, weshalb denn auch für entsprechende Stellen beider Spectra die Erwärmung ungleich ausfallen mufs.

Die Strecke vom Violett bis gegen die Gränze von Blau und Grün hin zwischen den Verticalen 0,0004 und 0,0005 nimmt im prismatischen Spectrum Fig. 3 Taf. III eine Breite von 22, im Gitterspectrum nur eine Breite von 6^{mm} ein. Im Gitterspectrum sind also die violetten, indigofarbenen und blauen Strahlen auf $\frac{1}{3}$ des Raumes zusammengedrängt, welchen sie im prismatischen Spectrum einnehmen; die Intensität der Erwärmung mufs also für die fragliche Stelle im Diffractionsspectrum auch $\frac{1}{3}$ mal grösser seyn als für das Refractionsspectrum Fig. 3 Taf. III, und deshalb ist die Ordinate in der Mitte zwischen den Verticalen 0,0004 und 0,0005 in Fig. 4 Taf. III auch $\frac{1}{3}$ mal grösser gemacht als die Höhe der Ordinate in der Mitte zwischen 0,0004 und 0,0005 in Fig. 3 Taf. III.

Die Abtheilung zwischen den Verticalen 0,0005 und 0,0006 (vorzugsweise Grün und Gelb enthaltend) ist in Fig. 3 12 Millim., in Fig. 4 6 Millim., also nur halb so breit. Da nun die Ordinate in der Mitte zwischen 0,0005 und 0,0006 für Fig. 3 16 Millim. hoch ist, so mufs man die entsprechende Ordinate in Fig. 4 doppelt so hoch, also 32 Millim. hoch machen, wenn sie der hier stattfindenden Erwärmung proportional seyn soll.

In derselben Weise fortfahrend sind nun Punkte bestimmt worden, über welche man die Intensitätscurve Fig. 4

gezogen hat, indem man nämlich die Mitte einer jeden Abtheilung in Fig. 4 um so vielmal höher oder niedriger machte als die entsprechende Ordinate in Fig. 3, als die Breite der Abtheilung in Fig. 4 kleiner oder gröfser ist als die Breite der entsprechenden Abtheilung in Fig. 3.

Wenn auch die Curve Fig. 4 auf grofse Genauigkeit keinen Anspruch machen kann, so stellt sie im Wesentlichen die Vertheilung der Wärme im Diffractionsspectrum doch richtig dar. Dadurch wird nun allerdings bestätigt, dafs im Diffractionsspectrum das Maximum der Erwärmung in das Gelb fällt, wie Draper behauptet hat, aber es folgt daraus durchaus nicht, *„that the distribution of heat corresponds to the distribution of light,“* wie Draper meint, welcher zu glauben scheint, dafs vom Gelb aus die Intensität der Wärme wie die des Lichtes in gleicher Weise gegen die violette und rothe Gränze des sichtbaren Spectrums hin abnimmt, und welcher somit den dunklen Theil des Wärmespectrums ganz ignorirt.

Da die Intensitätscurve des Lichtes im Brechungsspectrum so durchaus vom Verlauf der Wärmecurve abweicht, so können beide Curven für das Diffractionsspectrum nicht zusammenfallen, wenn auch die Intensitätsmaxima für Licht und Wärme im Diffractionsspectrum einander ungleich näher liegen als im Refractionsspectrum.

Aus Fig. 4 Taf. III erschen wir, dafs die dunklen Wärmestrahlen im Diffractionsspectrum einen Raum einnehmen, welcher ungefähr $3\frac{1}{2}$ mal so breit ist als das ganze sichtbare Spectrum. In dem durch ein Gitter gebildeten Diffractionsbilde (Vergl. mein Lehrbuch der Physik 5. Aufl. Bd. I S. 622 Fig. 699) reicht demnach der dunkle Theil des ersten Wärmespectrums auf jeder Seite bis zum Violett des dritten Lichtspectrums also von R bis V' . Es ist also fast das ganze zweite Lichtspectrum noch durch die dunklen Wärmestrahlen des ersten Spectrums überdeckt, ein Umstand, welcher es, ganz abgesehen von sonstigen Schwierigkeiten, unmöglich macht direct die Intensitätscurve eines einzelnen Diffractionsspectrums isolirt zu verfolgen.