

## II. Ueber leuchtende und dunkle Strahlung; von John Tyndall.

(Vom Hrn. Verf. übersandt.)

1. Sir William Herschel entdeckte die dunklen Strahlen der Sonne und zeigte, dafs in dem Sonnenspectrum das Maximum der Wärme jenseits des Rothens liegt <sup>1)</sup>. Vierzig Jahre später gelang es Sir John Herschel einen Thermographen des Wärmespectrums zu erhalten, und von dessen Erstreckung über das Roth hinaus schlagend sichtbare Beweise zu geben <sup>2)</sup>. Melloni zeigte, dafs ein un- gemein grofser Theil der Strahlung einer Oelflamme, einer Alkoholfamme und des durch eine Alkoholfamme glühend gemachten Platins dunkel ist <sup>3)</sup>. Aus der Armuth an leuchtenden, dem Auge sichtbaren Strahlen, sowie aus der durch die Versuche des Dr. Miller nachgewiesenen Armuth an extra-violetten Strahlen, schlofs Dr. Akin, dafs die Strahlung einer Wasserstofflamme hauptsächlich extra-roth seyn müsse; und er folgerte daraus, dafs das Glühen eines Platindrahts in der Wasserstofflamme, so wie die Helligkeit des Drummond'schen Lichts in der Sauerstoff-Wasserstofflamme durch eine Veränderung in der Vibrationsperiode bewirkt werde <sup>4)</sup>. Durch eine ähnliche Argumentation gelangte ich selbst zu demselben Schluß, den ich später veröffentlichte <sup>5)</sup>.

2. Ein directer experimenteller Beweis des Charakters der Strahlung aus der Wasserstofflamme fehlte jedoch, und diesem Mangel suchte ich abzuhelfen. Ich hatte durch Hrn. Becker eine vollständige Reihe Steinsalz (-Linsen) von hinreichender Gröfse verfertigen lassen, um sie statt der

1) *Philosoph. Transact. f.* 1800.

2) Ebendasselbst f 1840. Ich hoffe sehr bald im Stande zu seyn, den in Note III des Aufsatzes von Sir J. Herschel beschriebenen merkwürdigen Resultaten meine Aufmerksamkeit zuzuwenden.

3) *La Thermochrose p.* 304.

4) *Reports of the British Association, 1863.*

5) *Philosoph. Transact. f.* 1864 p. 327.

gewöhnlichen Glaslinsen in Duboscq's elektrischer Lampe gebrauchen zu können. Eine doppelte Quarzlinse, in der Kammer angebracht, machte die Strahlen parallel; die parallelen Strahlen gingen nun durch einen Schlitz, und eine zweite Quarzlinse, auferhalb der Klammer in geeignetem Abstände angebracht, machte ein Bild von diesem Schlitz. Hinter dieser Linse war ein Steinsalzprisma aufgestellt und seitwärts stand eine Thermosäule, um das vom Prisma gebildete Spectrum zu untersuchen. Innerhalb der Kammer der elektrischen Lampe befand sich ein Brenner mit einer einzigen Oeffnung, so dafs die von derselben ausgehenden Flamme die Stelle einnahm, welche gewöhnlich von den Kohleenspitzen eingenommen wird. Der Brenner war verbunden mit einem *T*-Stück, von dem zwei Kautschuckröhren fortführten die eine zu einem grofsen Behälter mit Wasserstoff, die andere zu der Gasröhre des Laboratoriums. So hatte ich beliebig die Flamme des Leuchtgases und die des Wasserstoffs in meiner Macht. Bei Anwendung der ersteren hatte ich ein sichtbares Spectrum, welches mich befähigte, die Thermosäule in geeigneter Stellung zu befestigen. Um die Wasserstoff-Flamme zu erhalten, war nur nöthig Wasserstoff zuzulassen, bis es die Gasflamme erreicht und sich entzündet hatte, dann das Leuchtgas abzusperrern und die Wasserstoffflamme brennen zu lassen. Auf diese Weise konnte in der That die eine Flamme durch die andere ersetzt werden, ohne die Kammer zu öffnen und ohne in der Stellung der Lichtquelle, der Linsen, des Prisma und der Säule irgend etwas zu verändern.

3. Die angewandte Thermosäule ist ein schönes, von Hrn. Ruhmkorff verfertigtes Instrument. Sie gehört meinem Freunde Gassiot und besteht aus einer einzigen Reihe von Elementen, zweckmäfsig gefafst und mit einem doppelten Messingschirm versehen. Sie hat vorn zwei versilberte Leisten, welche mittelst einer Schraube die Vorderseite der Säule so schmal wie wünschenswerth machen, auf die Dicke des feinsten Haares reduciren oder gänzlich abschliessen lassen. Mittelst einer kleinen Handhabe und

einer langen Schraube kann die Messingplatte und die an ihr befestigte Säule langsam hin und her bewegt werden, und so läßt sich der verticale Schlitz der Säule durch das ganze Spectrum hin oder nach beiden Seiten über dasselbe hinaus fortführen. Die Breite des Spectrums war jedesmal gleich der Länge der Vorderseite der Säule, welche mit einem äußerst empfindlichen Galvanometer verbunden war.

4. Ich begann mit der Flamme des Leuchtgases. Das Spectrum wurde auf einen Messingschirm geworfen (welcher zur besseren Unterscheidung der Farben mit Zinnfolie überzogen war) und die Säule langsam in Richtung von Blau zum Roth hewegt, bis die Ablenkung des Galvanometers ein Maximum war. Um dieses zu erreichen, mußte man durch das ganze Spectrum gehen und ein wenig über das Roth hinaus. Die beobachtete Ablenkung war

30°.

Als die Säule aus dieser Stellung in eine oder die andere Richtung verschoben ward, nahm die Ablenkung ab.

5. Jetzt ward die Wasserstoff-Flamme statt der Gasflamme genommen. Das sichtbare Spectrum verschwand und die Ablenkung fiel auf

12°.

In Bezug auf Strahlen von dieser Brechbarkeit war demnach die Strahlung der Leuchtgasflamme drittelhalb Mal so stark wie die des Wasserstoffgases.

6. Die Säule ward nun hin und her geschoben; in beiden Richtungen war die Verschiebung mit einer Abnahme der Ablenkung verknüpft. Zwölf Grade war daher das Maximum der Ablenkung für die Wasserstoff-Flamme; und die vorher mittelst der leuchtenden Flamme bestimmte Lage der Säule beweist, daß diese Ablenkung durch die extra-rothen Wellen bewirkt worden war. Ich schob die Säule ein wenig vorwärts, so daß die Ablenkung von 12° auf 4° verringert wurde, und um die Brechbarkeit der Strahlen, welche diese kleine Ablenkung hervorbrachten, zu ermitteln, zündete ich das Leuchtgas wieder an. Es fand sich daß die geradlinige Seite der Säule in das Roth einge-

drungen war. Als die Säule successiv auf die verschiedenen Farben des Spectrums und auf dessen extra-violette Strahlen eingestellt ward, bewirkte die Wasserstoff-Flamme keine meßbare Ablenkung.

7. Demnächst stellte ich die Säule in einigen Abstand von dem unsichtbaren Spectrum der Wasserstoff-Flamme und suchte das Spectrum durch Hin- und Herschieben der Säule auf. Nachdem ich es gefunden, konnte ich ohne Schwierigkeit die Stelle des Wärmemaximums ermitteln. Ohne sonst etwas zu ändern, ersetzte ich die nicht-leuchtende Flamme durch die leuchtende; die Lage der Säule ergab sich dadurch als jenseits des Rothen.

8. Somit ist bewiesen, daß die Strahlung der Wasserstoff-Flamme merklich eine extra-rothe ist. Die übrigen Bestandtheile der Strahlung sind so schwach, daß sie thermisch unmerklich sind. Wenn also ein Körper durch die Wasserstoff-Flamme zum Glühen gebracht wird, so müssen die Schwingungsperioden seiner Atome kürzer seyn als die, von welchen die Strahlung der Flamme selbst herrührt.

9. Das Sinken der Ablenkung von  $30^\circ$  auf  $12^\circ$ , wenn die Flamme des Leuchtgases durch die des Wasserstoffgases ersetzt wird, rührt ohne Zweifel von der Abwesenheit aller starren Substanz in letzterer her. Wir können jedoch eine solche Substanz in die Wasserstoff-Flamme einführen und dadurch ihre Ausstrahlung viel stärker machen als die der Leuchtgasflamme. Eine Spirale von Platindraht, in die erstere getaucht, gab ein Ablenkungs-Maximum von

$52^\circ$

während die Leuchtgasflamme nur eins lieferte von

$33^\circ$ .

10. Es ist hauptsächlich Fortführung (*convection*), durch welche die Wasserstoff-Flamme Wärme verbreitet. Obwohl ihre Temperatur höher ist, so sind doch ihre locker gestreuten Atome nicht im Stande in Strahlkraft mit der soliden Kohle der leuchtenden Flamme zu wetteifern. Dasselbe gilt von der Flamme des Bunsen'schen Brenners; so wie die Luft, (welche die soliden Kohlentheile zerstört) sich

mit der Leuchtgasflamme mischt, sinkt deren Strahlung bedeutend. Umgekehrt ist der Ausschluss der Luft, welche der Gasflamme die Leuchtkraft raubt, begleitet von einem Erguss von strahlender Wärme. Wenn man daher Platindraht in die Wasserstoff-Flamme oder Kohlentheilchen in die Bunsen'sche Flamme einführt, erhält man nicht nur Wellen von neuer Periode, sondern verwandelt auch einen grossen Theil der Fortführungs-Wärme in strahlende Wärme.

11. Die Wirkung war noch sehr merklich, als der Abstand der Säule von dem rothen Ende des Spectrums an der einen Seite eben so gross war als der von den violetten Strahlen an der anderen, wodurch sich das Wärmespectrum wenigstens als eben so lang wie das Lichtspectrum erwies.

12. Bunsen und Kirchhoff haben gezeigt, dafs bei glühenden Metalldämpfen die Vibrationsperiode innerhalb weiter Gränzen unabhängig ist von der Temperatur. Meine eignen Versuche mit Flammen von Wasserstoff und Kohlenoxyd als Wärmequellen und mit kaltem Wasserdampf und kalter Kohlensäure als absorbirende Media führen zu demselben Schlufs <sup>1)</sup>. Allein bei *soliden* Metallen führt erhöhte Temperatur Wellen von kürzerer Periode in die Strahlung ein. Man kann fragen: Was wird aus den langen dunklen Perioden, wenn man die Temperatur erhöht? Werden sie vernichtet oder in kürzere verwandelt oder halten sie sich neben den neuen Perioden? Die Frage ist einer experimentellen Beantwortung werth.

13. Eine Spirale von Platindraht wurde an der gewöhnlich von den Kohlenspitzen eingenommenen Stelle in der Kammer der elektrischen Lampe zweckmäfsig aufgehängt; sie wurde dann mit einer voltaschen Batterie verknüpft, und durch Veränderung des Widerstandes des Stroms allmählich aus dem Zustand der Dunkelheit in den einer intensiven Weifsgluth versetzt. Als sie zunächst bis zur Weifsgluth erhitzt und der Steinsalzapparat in die Bahn ihrer Strahlen eingeschaltet wurde, erhielt ich ein glänzendes Spectrum. Die

1) *Philosoph. Transact. f.* 1864 p. 327.

Thermosäule wurde nun in die Gegend der dunklen Strahlen jenseit des Roths geschoben. Nichts ändernd als die Stärke des Stroms, wurde die Spirale auf Dunkelheit gebracht und die Temperatur erniedrigt bis die Ablenkung des Galvanometers auf  $1^{\circ}$  sank. Unsere Frage ist: Was wird aus den Wellen, welche diese Ablenkung bewirken, wenn durch Erhöhung der Temperatur der Spirale neue eingeführt werden?

14. Als ich die Spirale aus diesem Zustand von Dunkelheit in verschiedene Grade des Glühens übergehen liefs, erhielt ich folgende Ablenkungen:

Tafel I.

Ansehen der Spirale	Ablenkung durch dunkle Strahlen
Dunkel	1°
Dunkel	6
Schwach roth	10,4
Dunkel roth	12,5
Roth	18,0
Volles Roth	27,0
Hellroth	44,4
Fast weifs	54,3
Volles Weifs	60,0

15. Die hier erhaltene Ablenkung von  $60^{\circ}$  ist gleichwerthig mit 122 der ersten Grade des Galvanometers. Folglich ist die Intensität der dunklen Strahlen bei voller Weifsgluth 122 mal so stark wie die der Strahlen von gleicher Brechbarkeit, welche die dunkle Spirale zuerst aussandte. Da nun die Intensität porportional ist dem Quadrat der Amplitude, so waren die Aetherwellen, welche die letzte Ablenkung erzeugten 11 Mal *höher* als die, welche die ersten hervorbrachten. Die *Wellenlänge* war natürlich immer dieselbe geblieben.

16. Die experimentelle Antwort auf die oben aufgeworfene Frage ist also; dafs die Amplitude der alten Wellen durch dieselbe Temperatur-Erhöhung vergrößert wird, welche die neuen Wellen hervorruft. Mit den dunklen Strah-

len verhält es sich in der That wie mit den leuchtenden (z. B. den rothen des Spectrums), welche mit verstärkter Intensität scheinen, so wie die Temperatur der strahlenden Quelle erhöht wird.

17. In meiner letzten Abhandlung <sup>1)</sup> bewies ich die wundervolle Transparenz des Iods für die extra-rothen Wellen. Eine vollkommen opake Lösung dieser Substanz wurde erhalten, als ich dieselbe in Schwefelkohlenstoff löste, und ich zeigte in der angeführten Abhandlung, dafs eine Quantität Iod, die das Licht unserer glänzendsten Flammen auslöscht, 99 Procent der Strahlung einer Wasserstoff-Flamme durchläfst.

18. Nach funfzig neueren Versuchen über die strahlende Wärme einer Wasserstoff-Flamme beträgt der Durchgang ihrer Strahlen durch eine Iodmenge, welche für Licht vollkommen opak ist,

100 Procent

Für die Strahlung der Wasserstoff-Flamme ist also, diesen Versuchen zufolge, das gelöste Iod *vollkommen transparent*.

19. Es ist auch nahezu transparent für die Strahlung starrer Körper, die nicht bis zum Glühen erhitzt sind.

20. Es ist auch nahezu transparent für die von leuchtenden Körpern ausgesandten dunklen Strahlen.

21. Für die gemischte Strahlung, welche von starren Körpern in sehr hoher Temperatur ausgeht, ist der reine Schwefelkohlenstoff auch ungemein transparent. Da nun der Schwefelkohlenstoff die von einer stark leuchtenden Quelle ausgehenden dunklen Strahlen wenig hemmt und die Iodlösung dieselben gar nicht zu hemmen scheint, so haben wir in dem Gemisch aus beiden Substanzen ein Mittel, die rein thermischen Strahlen fast gänzlich von den leuchtenden zu sondern.

22. Wenn Vibrationen von langer Periode, wie sie bei niedriger Temperatur des strahlenden Körpers entstehen, sich neben den neuen von höherer Temperatur erzeugten halten,

1) *Philosph. Transact. f.* 1864 p. 327.

wie im §. 14 gezeigt worden, so würde folgen, daß ein Körper, der für die Strahlung aus irgend einer Quelle durchdringlich ist, es immer für dieselbe bleiben muß. Wir können den Charakter der Strahlung nicht so ändern, daß ein Körper, der einmal in gewissen Grade durchdringlich für sie ist, ganz opak für dieselbe werde. Wir können durch Erhöhung der Temperatur den von dem Körper durchgelassenen Antheil der totalen Strahlung verringern; allein insofern die alten Vibrationen ihre Amplituden vergrößern durch den Temperaturzuwachs, welcher die neuen erzeugt, muß die von dem Körper durchgelassene gesammte Wärmemenge von einer gegebenen Brechbarkeit wachsen mit der Zunahme der Temperatur.

23. Dieser Schluß ward folgendermaßen experimentell erläutert. Eine Zelle mit parallelen Wänden von Steinsalz, wurde mit Iodlösung gefüllt und vor der Kammer aufgestellt, in welcher sich die Platinspirale befand. Hinter der Steinsalzzelle stand eine gewöhnliche Thermosäule zur Auffangung derjenigen Strahlen die durch die Lösung gegangen waren. Die Steinsalzlinsen befand sich vorn in der Kammer, allein es wurde von dem parallelen Bündel, das von der Lampe ausging, nur ein schmaler Streif angewandt. Mit sehr niederer dunkler Wärme anfangend, wurde die Temperatur allmählich bis zum vollen Glühen verstärkt. Die Resultate waren folgende:

Tafel II.

Ansehen der Spirale	Ablenkung
Dunkel	1 <sup>0</sup>
Dunkel, aber heißer	3
Dunkel, aber noch heißer	5
Dunkel, aber noch heißer	10
Schwach roth	19
Dunkel roth	25
Roth	35
Voll roth	45
Hell roth	53
Sehr hell roth	63
Nahe weiß	69
Weiß	75
Intensiv weiß	80.



24. Für die leuchtenden Strahlen der intensiv weissen Spirale war die Lösung vollkommen opak. Allein, obwohl durch den Zutritt solcher Strahlen der Durchgang, ausgedrückt in Theilen der gesammten Strahlung, verringert ward, hatte doch die absolut durchgelassene Menge ungeheuer zugenommen. Der Werth der letzten Ablenkung ist 440 mal so groß, wie der der ersten. Wenn man also die Platinspirale von der Dunkelheit bis zur Weifsgluth erhitzt, erhöht man die Intensität der dunklen Strahlen, welche sie aussendet, im Verhältnifs 1 : 440.

25. Vor der Kammer, welche eine bis zur blendenden Weifsgluth erhitzte Platinspirale enthielt, wurde eine mit *durchsichtigem* Schwefelkohlenstoff gefüllte Steinsalzzelle aufgestellt; dann wurde die durchsichtige Flüssigkeit ausgegossen und durch die Iodlösung ersetzt. Die in beiden Fällen beobachteten Ablenkungen waren:

**Strahlung des weifsglühenden Platins.**

durch durchsichtigen CS <sup>2</sup>	durch d. opake Lösung
73°,9	73°,0
73,8	72,9

*Alle* leuchtenden Strahlen gingen durch den transparenten Schwefelkohlenstoff, *keine* derselben durch die Iodlösung. Dennoch sehen wir, *welch* ein kleiner Unterschied durch ihre Vertauschung bewirkt ward. Das Verhältnifs der leuchtenden Wärme zur dunklen, aus obigen Beobachtungen berechnet, läßt sich so ausdrücken:

26. *Dividirt man die Strahlung der durch einen elektrischen Strom bis zur Weifsgluth erhitzten Platinspirale in vier und zwanzig gleiche Theile, so ist einer dieser Theile leuchtend, und drei und zwanzig sind dunkel.*

27. Statt der Platinspirale wurde eine helle Gasflamme genommen, ihr unterer und oberer Theil abgeblendet, und bloß der glänzendste als Strahlenquelle benutzt. Das Resultat von vierzig Versuchen mit dieser Quelle läßt sich so ausdrücken:

28. *Dividirt man die Strahlung des glänzendsten Theils einer Leuchtgasflamme in fünf und zwanzig gleiche Theile,*

so ist einer davon leuchtend und vier und zwanzig sind dunkel.

29. Demnächst untersuchte ich das Verhältniß der dunklen Strahlen zu den leuchtenden im elektrischen Licht. Es wurde eine Batterie von funfzig Zellen angewandt und eine Steinsalzlense benutzt, um die Strahlen der Kohlen spitzen parallel zu machen. Um zu verhüten, daß die Ablenkung eine unbequeme Gröfse erreiche, liefs man die Strahlen aus einer kreisrunden Oeffnung von 0,1 Zoll im Durchmesser austreten und sandte sie abwechselnd durch den transparenten Schwefelkohlenstoff und durch die opake Lösung. Es ist nicht leicht, das elektrische Licht vollkommen unveränderlich zu erhalten; allein drei sorgfältig ausgeführte Versuche gaben folgende Ablenkungen:

	Strahlung des elektrischen Lichts	
	durch transparenten CS.	durch opake Lösung.
Versuch I . . . . .	72° . . . . .	70°
„ II . . . . .	76,5 . . . . .	75
„ III . . . . .	77,5 . . . . .	76,5.

Berechnet man aus diesen Messungen das Verhältniß der leuchtenden zur dunklen Wärme, so stellt sich das Resultat so:

30. *Dividirt man die Strahlung des von Kohlen spitzen ausgesandten elektrischen Lichts einer Grove'schen Batterie von vierzig Zellen in zehn gleiche Theile, so ist einer derselben leuchtend und neun sind dunkel.*

31. Die Resultate lassen sich folgendermassen tabellarisch darstellen;

Tafel III. — Strahlung durch Iodlösung.

Quelle:	Absorption.	Transmission.
Dunkle Spirale	0	100
Lampenrufs bei 212° F.	0	100
Roth glühende Spirale	0	100
Wasserstoff-Flamme	0	100
Oelflamme	3	97
Leuchtgasflamme	4	96
Weißglühende Spirale	4,6	95,4
Elektrisches Licht	10,0	90,0.

Wiederholte Versuche mögen diese Resultate ein wenig abändern, allein sie kommen der Wahrheit außerordentlich nahe.

32. Nachdem somit in der Iodlösung ein Mittel gefunden worden, die dunklen Wärmestrahlen fast vollständig von den leuchtenden zu trennen, sind wir im Stande mit den ersteren nach Belieben zu operiren. Hier einige Erläuterungen. Die Steinsalzlinse ward in der Kammer so aufgestellt, dafs die Kohlenspitzen und deren Bild jenseits der Linse gleich weit von letzterer waren. Es wurde eine Batterie von vierzig Zellen angewandt; der von der Lampe ausgehende Strahlenkegel war deutlich in der Luft zu sehen und sein Scheitel liefs sich leicht festsetzen. Nun wurde die Zelle mit der opaken Lösung vor der Lampe aufgestellt. Der Lichtkegel war dadurch gänzlich aufgefangen; allein die unerträgliche Hitze, welche die in den Brennpunkt gebrachte Hand verspürte, zeigte dafs die Wärmestrahlen noch durchgelassen wurden. Dünne Zinn- und Zinkplatten, die successiv in den dunklen Brennpunkt gebracht wurden, schmolzen schnell; Zündhölzchen entflamten sich, Schiefsbaumwolle explodirte und braunes Papier fing Feuer. Als die Iodlösung nebst einer Batterie von sechszig Grove'schen Zellen angewandt wurde, waren alle diese Resultate mit den gewöhnlichen Glaslinsen der Dubosq'schen Lampe leicht zu erhalten. Sie werden, glaube ich, von Allen, welche diese Versuche wiederholen, mit Vergnügen beobachtet werden. Es ist ungemein interessant, mitten in der Luft in einem vollkommen dunklen Raum ein Stück schwarzes Papier plötzlich von den unsichtbaren Strahlen durchbohrt, und den brennenden Ring nach allen Seiten vom Brennpunkt ausgedehnt zu sehen.

33. Am 15ten dieses Monats machte ich einige Versuche mit Sonnenlicht. Der Himmel war weder wolkenfrei, noch die Londner Atmosphäre ohne Rauch, und höchstens erhielt ich einen Theil der Wirkung, die ein heiterer Tag gegeben haben würde. Ich besafs eine hohle Linse, die ich mit concentrirter Iodlösung füllte. In die Bahn der

Sonnenstrahlen gestellt, bildete sich hinter der Linse auf einem Stück weissen Papiers ein schwach rother Ring, welcher sich im Brennpunkt der Linse zu einem schwach rothen Fleck zusammenzog. Es ergab sich sogleich, dafs dieser Ring erzeugt war von dem Licht, welches die dünne Randzone der Linse durchgelassen hatte. Als diese Zone mit schwarzem Papier verklebt worden, war der Ring gänzlich verschwunden und keine sichtbare Spur von Sonnenlicht durchdrang die Linse. Im Brennpunkt würde jedwedes durchgegangene Licht neunhundert Mal verstärkt worden seyn; aber auch hier war kein Licht sichtbar.

34. Anders aber verhielt es sich mit den dunklen Sonnenstrahlen; der Brennpunkt war brennend heifs. Ein Stück schwarzes Papier ward daselbst augenblicklich durchbohrt und angezündet, und bei Verschiebung des Papiers bildete sich schnell ein Loch neben dem andern. Auch Schiefspulver explodirte. In der That hatte man im Brennpunkt der dunklen Sonnenstrahlen eine entschieden stärkere Hitze als in dem ebenso condensirten elektrischen Licht, und alle mit dem letzteren erhaltenen Effecte konnten im erhöhten Grade mit dem ersteren erhalten werden.

35. Ich brachte eine planconvexe Glaslinse, eine gröfsere als die eben erwähnte opake Linse, in die Bahn der Sonnenstrahlen. Der Brennpunkt hatte auf weifsem Papier einen blendenden Glanz, und in diesem Brennpunkt liessen sich alle oben beschriebenen Resultate erhalten. Ich setzte nun eine Zelle mit Alaunlösung vor den Brennpunkt. Die Intensität des *Lichts* wurde dadurch im Brennpunkt nicht merklich geändert; dennoch waren die fast unerträglich sichtbaren Strahlen, unterstützt durch eine bedeutende Menge unsichtbarer, die ebenfalls den Alaun durchdrungen hatten nicht im Stande, die Effecte hervorzubringen, die in dem vollkommen dunklen Brennpunkt der opaken Linse mit Leichtigkeit erhalten wurden.

36. In der Meinung, diese Schwächung möge herrühren von einer Wärme-Entziehung durch Reflexion an den Wänden der Glaszelle, stellte ich in dieselbe eine mit der

opaken Lösung gefüllte Steinsalzzelle. Hinter dieser Zelle äufserten die Strahlen die Kraft, welche sie im Brennpunkt der opaken Linse gezeigt hatten.

37. Metalle durch dunkle Strahlen glühend zu machen, ist bisher noch nicht geglückt. Diefs ist eine Aufgabe, mit welcher Dr. Akin sich seit einigen Jahren beschäftigt; ich will darüber aber nichts veröffentlichen bis die sehr versprechenden Vorrichtungen, welche er erdacht, einen genügenden Erfolg gehabt haben.

38. Melloni folgerte aus seinen Versuchen, dafs das Steinsalz dunkle und leuchtende Strahlen gleich gut durchlasse, und dafs eine Alaunlösung von mäfsiger Dicke die undurchsichtigen Strahlen gänzlich auffange, während es die leuchtenden sämmtlich durchlasse. Der Unterschied der Durchlässe von Steinsalz und Alaun mufs folglich die dunkle Strahlung geben. Auf diese Weise fand Melloni, dafs nur 10 Proc. der Strahlung einer Oelflamme aus leuchtenden Strahlen bestehen. Die oben angewandte Methode beweist, dafs bei einer Oelflamme das Verhältnifs der leuchtenden Wärme zur dunklen wahrscheinlich nicht mehr als ein Drittel von dem ist, was Melloni angiebt.

39. In der That erkannte dieser ausgezeichnete Mann deutlich die mögliche Unrichtigkeit des Schlusses, dafs der Alaun nur leuchtende Strahlen durchlasse, und die folgenden Versuche rechtfertigen die Beschränkung, welche er mit diesem Schlufs verband.

Durch Aufstellung der Iodlösung vor der elektrischen Lampe wurden die leuchtenden Strahlen aufgefangen. Hinter die Steinsalzzelle, welche diese Lösung enthielt, stellte man eine Glaszelle, anfangs leer. Die durch beide gehenden dunklen Strahlen bewirkten eine Ablenkung von

80°.

Nun wurde die Glaszelle mit einer concentrirten Alaunlösung gefüllt, und jetzt erzeugten die durch beide gehenden dunklen Strahlen eine Ablenkung von

50°.

Berechnet aus diesen Ablenkungen ergibt sich, *dafs von*

*der dunklen Wärme, die aus der Iodlösung und den Wänden der Glaszelle austrat, 20 Proc. von dem Alaun durchgelassen wurden.*

40. Hier drängt sich uns ein Punkt von sehr bedeutender Wichtigkeit auf, nämlich der große praktische Unterschied, welcher zwischen den beiden Ausdrücken »dunkle Strahlen« und »Strahlen aus dunkler Quelle« liegen kann. Viele Physiker scheinen diese Ausdrücke als gleichbedeutend anzusehen und werden dadurch zu groben Irrthümern geführt. Eine Schicht Alaunlösung von  $\frac{1}{23}$  Zoll Dicke ist nach Melloni gänzlich opak für die Strahlung aller nicht bis zum Glühen erhitzten Körper. In den vorhergehenden Versuchen war die Schicht Alaunlösung, welche die dunklen Strahlen unserer leuchtenden Quelle durchdrangen, dreißig Mal so dick als die Schicht, welche Melloni hinreichend fand, alle von dunklen Quellen ausgesandten Strahlen zu vernichten.

41. Es kann keinem Zweifel unterliegen, daß nicht die unsichtbaren Strahlen, welche sich fähig zeigten, eine solche Dicke der aller adiathermischen Flüssigkeit, die bis jetzt entdeckt ist, zu durchdringen, auch im Stande seyen durch die Flüssigkeiten des Auges zu gehen. Die sehr sorgfältigen und interessanten Versuche des Hrn. Janssen<sup>1)</sup> beweisen, daß die Flüssigkeiten des Auges genau ebenso viel strahlende Wärme als eine Schicht Wasser von gleicher Dicke absorbirt, und in unserer Lösung ist das Vermögen des Alauns dem des Wassers hinzugefügt. Directe Versuche mit der Glasflüssigkeit eines Ochsen führten mich zu dem Schluß, daß ein Fünftel der dunklen Strahlen, die von einem intensiven elektrischen Lichte ausgesandt werden, die Netzhaut erreicht. Und da in je zehn gleichen Theilen der Ausstrahlung einer elektrischen Lampe neun aus dunklen Strahlen bestehen, so folgt daß bei der elektrischen Lampe nahezu zwei Drittel der gesammten Strahlung, welche wirklich die Netzhaut erreicht, unfähig sind, Sehen zu erregen.

1) *Ann. de chim. et de phys. Sér. III, T. LX, p. 71.*

Mit einer weifsglühenden Platinspirale gab das Mittel von vier guten Versuchen einen Durchlaß von 11,7 Proc. ihrer dunklen Wärme durch eine 1,2 Zoll dicke Schicht von destillirtem Wasser. Ohne Zweifel erreicht ein größerer Antheil die Netzhaut <sup>1)</sup>.

42. Ich convergirte das Lichtbündel der elektrischen Lampe durch eine Glaslinse, brachte die opake Iodlösung vor mein offnes Auge und versetzte dieses nun in den Brennpunkt der dunklen Strahlen; die Hitze war sogleich unerträglich. Es schien mir indess als entspränge diese unangenehme Empfindung hauptsächlich aus der Wirkung der dunklen Strahlen auf die Augenlieder und andere opake Theile rund um das Auge. Ich schnitt daher in einer Karte eine Oeffnung aus, etwas größer als die Pupille, und liefs durch diese Oeffnung das concentrirte Wärmebündel auf mein Auge fallen. Die Wärme-Empfindung verschwand gänzlich. Die von der Netzhaut aufgefangenen Strahlen waren also nicht allein unfähig, Sehen hervorzubringen, sondern machten sich selbst als Wärme nicht dem optischen Nerven merkbar. Welche Folgen es gehabt haben würde, hätte ich das leuchtende Drittel des condensirten Bündels in mein Auge fallen lassen, vermag ich nicht zu sagen; auch möchte ich nicht gern den Versuch machen.

43. In einer mälsig heiteren Nacht ist eine Kerzenflamme noch leicht aus einer Entfernung von einer (engl.) Meile zu sehen. Das von mir angewandte elektrische Licht ist 650 mal intensiver als das Licht einer guten Kerze, und da die nicht-leuchtende Strahlung der Kohlenspitzen, welche die Netzhaut erreicht, das Doppelte der leuchtenden ist, so folgt, dafs, in dem gewöhnlichen Abstand eines Fusses, die Kraft der unsichtbaren Strahlen des elektrischen Lichts, welche den optischen Nerven erreichen, aber kein Sehen hervorzurufen vermögen, 1300 mal so groß ist wie die des Lichts einer Kerze. Allein in der Entfernung einer (engl.) Meile ist die Intensität des Kerzenlichts noch nicht

1) Hr. Franz hat gezeigt, dafs ein Theil der dunklen Sonnenstrahlen die Netzhaut erreicht.

ein Zwanzig-Milliontel von der in dem Abstände eines Fufses; folglich muß die Kraft, welche die Kerze aus einer Meile Entfernung deutlich sichtbar macht, mit  $1300 \times 20000000$  oder 26000 Millionen multiplicirt werden, um sie auf die Intensität jener machtlosen Strahlung zu bringen, welche das Auge in dem Abstände eines Fufses von dem elektrischen Lichte empfängt. Nichts, glaube ich, kann gewaltiger die specielle Verwandtschaft des optischen Nerven mit den Oscillationsperioden des leuchtenden Körpers darthun: Der Nerv entspricht, wie eine musikalische Saite, den Perioden, mit welchen er im Accord steht, während er von anderen, die nicht mit ihm im Einklang sind, ungeachtet ihrer ungeheuer viel größeren Stärke, nicht erregt wird.

44. Mittelst der opaken Iodlösung habe ich bereits gezeigt, daß die leuchtende Wärmemenge, welche von einer hell rothglühenden Platinspirale ausgesandt wird, unmeßbar klein ist<sup>1)</sup>. Hier einige Bestimmungen, die ich seitdem gemacht mit derselben Wärmequelle und mit einer Lösung von Iod in Iodaethyl, die vermöge ihrer Concentration und Dicke die leuchtenden Strahlen gänzlich auffing.

Strahlung der rothglühenden Platinspirale	
durch klare Flüssigkeit.	durch opake Lösung.
43 <sup>o</sup> ,7	43 <sup>o</sup> ,7
43,7	43,7.

Diese Versuche wurden mit außerordentlicher Sorgfalt angestellt, und alle Bedingungen waren günstig für die Entdeckung des kleinsten Unterschiedes in der zum Galvanometer gelangenden Wärmemenge. Dennoch fand sich die von der opaken Lösung durchgelassene Wärme als gleich der von der klaren durchgelassenen. Mit anderen Worten: die von der ersteren aufgefangene leuchtende Strahlung, obwohl fähig die Empfindung des Sehens leb-

1) *Philosoph. Transact.* (1864) *Vol. CLIV*, p. 327.



haft hervorzubringen, war, ausgedrückt in Theilen der wirklichen Kraft, absolut unmeßbar.

45. Und hier haben wir die Lösung verschiedener Schwierigkeiten, welche die Experimentatoren von Zeit zu Zeit in Bestürzung setzten. Wenn wir ein lebhaftes Licht unfähig sehen, auf unseren empfindlichsten thermoskopischen Apparat zu wirken, so stellt sich natürlich der Gedanke ein, dafs Licht und Wärme zwei ganz verschiedene Dinge seyn müssen. Das reine Licht, welches von einer Combination von Wasser und grünem Glas ausgesandt wird, hat, selbst durch Concentration intensiv gemacht, nach Melloni kein merkliches Wärmvermögen<sup>2)</sup>. Vom Mondlicht gilt dasselbe. Concentrirt durch eine Polyzonallinie von mehr als einer Elle im Durchmesser auf seine Säule fallen gelassen, bedurfte es den ganzen Scharfsinn eines Melloni, um die Wärmewirkung bis zu einer meßbaren Gröfse zu steigern. Solche Versuche beweisen indefs, nicht dafs die beiden Agentien verschieden sind, sondern dafs der Gesichtssinn durch eine fast unendlich kleine Kraft erregt werden kann.

46. Hier auch eine Bemerkung über die Anwendbarkeit der strahlenden Wärme zum Signalisiren in Nebeln. Der Vorschlag ist, abstract genommen, ein physikalischer. Wären unsere Nebel in physischem Charakter ähnlich der Lösung des Iods in Schwefelkohlenstoff oder dem Iod- oder Bromdampf, so würde es möglich seyn, kräftige Fluthen von strahlender Wärme durch sie hinzusenden, bis dahin, wo das Licht unserer Signallampen gänzlich erlöscht. Allein unsere Nebel haben nicht diesen Charakter. Sie sind unglücklicherweise so beschaffen, dafs sie sehr zerstörend auf die reinen Wärmestrahlen einwirken. Und diese Thatsache, vereint mit der wundervollen Empfindlichkeit unseres Auges, führt zu dem Schlufs, dafs, lange bevor das *Licht* unserer Signale aufhört sichtbar zu seyn, die strahlende Wärme unvermögend geworden ist, auf den

1) *Taylor's Scientific Memoirs Vol. I, p. 392.*

empfindlichsten thermoskopischen Apparat, den wir zu ihrer Entdeckung anwenden können, in einem irgend merklichen Grade einzuwirken.

*Royal Institution, October 1864.*

---

### III. *Ueber die Dispersion des Lichtes; von E. B. Christoffel in Zürich.*

---

In den *Comptes Rendus* vom 13. Juni 1864 S. 1111 hat Hr. Mascart neue Bestimmungen über die Länge der Lichtwellen und die Brechungsindices der entsprechenden ordentlichen Strahlen im Doppelspath veröffentlicht, welche sich in ungefähr gleicher Ausdehnung, wie die Beobachtungen Esselbach's (diese Ann. Bd. 98 S. 513) über das gewöhnlich sichtbare und das ultraviolette Spectrum verbreiten. Bei der großen Genauigkeit dieser Angaben schien es mir wünschenswerth, dieselben zu einer nochmaligen Prüfung der Dispersionsformel zu benutzen, welche ich aus Cauchy's Theorie abgeleitet habe (diese Ann. Bd. 117, S. 27).

Leider mußte auch bei dieser Gelegenheit auf die Vortheile verzichtet werden, welche sich darbieten, wenn man die Rechnung direct an die vollständigen Originalbeobachtungen anknüpfen kann. Denn wenn auch jedes Prüfungsverfahren zu einer Bestätigung der zu prüfenden Formel führen kann, sobald nur jede einzelne Abweichung von den Beobachtungen, welche es verlangt, klein genug ist, so ist doch nur die Ausgleichung der vollständigen Originalbeobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate im Stande, die Entscheidung über die Richtigkeit der Formel zu liefern, ohne sie von jeder einzelnen Abweichung, also von der zufälligen Vertheilung der Beobachtungsfehler, abhängig zu machen.