10. *Ueber die Wellenlängenscala des ultrarothern Flussspathspectrums; von F. Paschen.*

Im Folgenden finden sich einige neue Bestimmungen über die Dispersion des Fluorits im ultrarothern Spectralgebiete, welche ich mit dem für Hrn. Langley gefertigten und mir von Hrn. J. E. Keeler freundlichst geliehenen Rowland'schen Concavgitter in diesem Jahre in ganz ähnlicher Weise angestellt habe, wie in meiner vorjährigen Arbeit.¹⁾ Diese Neubestimmungen wurden hauptsächlich veranlasst durch eine von mir ausgeführte Untersuchung über die Spectra fester Körper, über die ich demnächst zu berichten gedenke. Gewisse Gesetzmässigkeiten, welche dort zum Vorschein kamen, zeigten eine nur angenäherte Gültigkeit. Ich wollte sicher sein, dass die gefundenen Abweichungen nicht auf eine Ungenauigkeit der zu Grunde gelegten Wellenlängennormalen meines Spectrums zurückzuführen seien. Ein zweiter Anlass entstand durch eine Bemerkung des Hrn. H. Rubens in seiner letzten Schrift²⁾, dass er nämlich in dem Gebiete bis $2,5\ \mu$ die Dispersionsbestimmungen von Rubens und Snow³⁾ für die genauesten halte. Nach diesen Bestimmungen würden in dem bezeichneten Spectralgebiete die Minimalablenkungen um etwa 0,3—0,5 Minuten bez. die Brechungsindices um 7—10 Einheiten der 5. Decimale grösser anzusetzen seien, als nach der meinigen; die zu einer Minimalablenkung gehörigen Wellenlängen würden dadurch etwas grösser. Die Uebereinstimmung zwischen Spectralmessungen, die Langley, Julius und Ångström mit dem Steinsalzprisma, und ich mit dem Fluoritprisma gemacht haben, würde dadurch in diesem Gebiete etwas verschlechtert, wenigstens, wenn man die in diesem Gebiete wohl immer noch genaueste Dispersionsbestimmung von Langley über das Steinsalzprisma den Messungen im Steinsalzspectrum zu Grunde legt. Die Bestimmung der ultrarothern Wellenlängen im Prismenspectrum ist eine Arbeit,

1) F. Paschen, Wied. Ann. **53**. p. 301. 1894.

2) H. Rubens, Wied. Ann. **54**. p. 476. 1895.

3) H. Rubens u. B. Snow, Wied. Ann. **46**. p. 529. 1892.

welche vorläufig den Grund für eine rationelle Spectroskopie im Ultraroth legen muss; denn die verdienstvollen Arbeiten von H. Becquerel, Abney und Lewis¹⁾ haben uns nur bis wenig über $1\ \mu$ hinaus genauere Standarts gegeben. Ins weitere Ultraroth sind sie nicht gelangt. Hier bleibt das geaichte Prismenspectrum vorläufig das einzige Hilfsmittel. Ich habe geglaubt, keine Mühe scheuen zu sollen, um hier die Normalen so genau es möglich ist, zu legen.

Die Art der Bestimmung war die nämliche, wie im vorigen Jahre. Nur wurde der Spalt der Gitteranordnung stets so schmal wie möglich gehalten. Da die Linien des Gitterspectrums infolge der Hohlspiegel eine geringe Krümmung besaßen, wurde der Prismenspalt oben und unten abgeblendet, sodass nur seine mittlere Partie soweit von der Linie bedeckt wurde, wie diese genügend gerade war. Es ist möglich, dass diese kleine Fehlerquelle, die ich im vorigen Jahre unterschätzt haben mag, die Ursache ist, dass meine neuen Bestimmungen bis $3,5\ \mu$ ein wenig von meinen vorjährigen abweichen. Bei längeren Wellen sind die Linien des Gitterspectrums bereits länger und geradliniger, sodass diese Fehlerquelle dort nicht mehr wirken konnte. Jenseits $3,5\ \mu$ erhielt ich auch durchaus meine früheren Werthe wieder.

Die in der Tab. I gegebenen Endwerthe der neuen Bestimmungen sind meistens Mittelwerthe von noch mehr Einzelmessungen als im vorigen Jahre. Diese Einzelmessungen stimmten meistens besser untereinander, wie man an den mit angeführten „wahrscheinlichen Fehlern“ der jetzigen und vorjährigen Tabelle sehen kann. Ich würde die vorliegenden Bestimmungen bis $3,5\ \mu$ für erheblich zuverlässiger halten, als die vorjährigen. Für längere Wellen dürften sie kein erheblich grösseres Gewicht beanspruchen können. Der umrandete Theil der Tab. I enthält die neuen Messungen. Die Spalten dort führen die Wellenlänge μ , das Verhältniss m/n der Gitteranordnungen, durch welche die ultraroth Linie, die im Prismenspectrum gemessen wird, gekennzeichnet ist. m ist die Ordnung desjenigen Spectrum, zu dem die auf den Prismenspalt projectirte Natriumlinie gehört, n die Ordnung desjenigen,

1) E. P. Lewis, The Astrophysical Journal June and August 1895.

dem die darüber liegende ultraroth Line entstammt. $m/n \times 0,58932$ ist dann ihre Wellenlänge. Wie aus meiner früheren Arbeit ersichtlich ist, erhält man dieselbe ultraroth Line durch Combination verschiedener m und n , z. B. $^{12}/_4$, $^6/_2$, $^3/_1$. Es ist in solchem Falle das kleinstzahlige m und n in der Tabelle angegeben. Es folgt in der Tabelle das Mittel aus den gefundenen Minimalablenkungen δ und der „wahrscheinliche Fehler“ von diesem Mittelwerthe, wobei zu bemerken ist, dass man das $^{3}/_{0,674}$ fache des wahrscheinlichen Fehlers als einen unwahrscheinlichen Fehlerbetrag ansehen darf. Die nächste Spalte enthält das Mittel aus den Temperaturablesungen, die während der Einzelmessungen in der Nähe des Prisma gemacht sind. Dann ist angegeben die Anzahl der Einzelmessungen, aus denen das Mittel gebildet ist. Schliesslich unter „ n beob.“ steht der Brechungsexponent, der sich aus δ und dem brechenden Winkel des Prisma berechnet. Der brechende Winkel betrug $59^\circ 59' 15''$. In meiner vorjährigen Arbeit steht infolge eines Druckfehlers der falsche Werth $59^\circ 59' 59''$.

Die neuen Brechungsexponenten sind bei $2\ \mu$ um rund 9 Einheiten der 5. Decimale kleiner, als die vorjährigen. Nach langen und nach kurzen Wellen hin wird diese Abweichung allmählich geringer. Bei $0,8840\ \mu$ beträgt sie noch ca. 7 Einheiten, bei $3,5\ \mu$ ist sie schon bis auf die Fehlergrenze herabgegangen und beträgt nur noch ca. 3 Einheiten. Im weiteren Verlaufe der langen Wellen ist keine Differenz mehr da.

Ketteler's fünfconstantige Dispersionsformeln lassen sich durch eine geringe Schiebung in den Zahlenwerthen der Constanten den jetzigen Bestimmungen und zugleich Sarasin's Bestimmungen im Ultraviolett ebenso gut anpassen, wie den früheren Messungen. Die Formel

$$(I) \quad n^2 = a^2 + \frac{M_2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} - \frac{M_1}{\lambda_1^2 - \lambda^2}$$

schliesst sich ziemlich gut an mit den Constanten

$$a^2 = 6,09651$$

$$M_1 = 5114,65$$

$$\lambda_1^2 = 1260,56$$

$$M_2 = 0,0061386$$

$$\lambda_2^2 = 0,008840.$$

Tabelle I.

μ	m/n	δ	Wahr- scheinl. Fehler von δ	Mittel Tem- pera- tur °C.	Zahl Mes- sungen	n beob.	n ber.	Δn
0,32525						1,44987	1,44979	+ 08
0,34015						1,44775	1,44776	- 01
0,34655						1,44697	1,44698	- 01
0,36009						1,44535	1,44547	- 12
0,39681						1,44214	1,44217	- 03
0,41012						1,44121	1,44119	+ 02
0,48607						1,43713	1,43712	+ 01
0,58932						1,43392	1,43388	+ 04
0,65618						1,43257	1,43253	+ 04
0,68671						1,43200	1,43203	- 03
0,71836						1,43157	1,43157	$\pm$ 00
0,76040						1,43101	1,43104	- 03
0,8840	$\frac{3}{2}$	31° 15' 44,4"	2,20"	16,2	13	1,42982	1,42982	$\pm$ 00
1,1786	$\frac{2}{1}$	6 10,2	3,28	16,8	15	1,42787	1,42789	- 02
1,3756	$\frac{7}{3}$	1 26,4	2,27	16,9	9	1,42690	1,42690	$\pm$ 00
1,4733	$\frac{5}{2}$	30 58 58,8	3,81	17,0	11	1,42641	1,42644	- 03
1,5715	$\frac{8}{3}$	56 48,0	3,65	18,0	8	1,42596	1,42598	- 02
1,7680	$\frac{3}{1}$	52 27,6	2,49	17,2	17	1,42507	1,42506	+ 01
1,9153	$\frac{13}{4}$	49 0,6	1,63	17,3	4	1,42437	1,42434	+ 03
1,9644	$\frac{10}{3}$	47 51,0	3,22	15,6	9	1,42413	1,42409	+ 04
2,0626	$\frac{7}{2}$	45 12,6	2,43	17,1	9	1,42359	1,42359	$\pm$ 00
2,1608	$\frac{11}{8}$	42 42,0	5,78	16,2	9	1,42308	1,42308	$\pm$ 00
2,3573	$\frac{4}{1}$	37 23,4	1,83	16,9	22	1,42199	1,42199	$\pm$ 00
2,5537	$\frac{13}{3}$	31 58,2	5,12	17,7	19	1,42088	1,42084	+ 04
2,6519	$\frac{9}{2}$	28 26,4	2,08	16,6	7	1,42016	1,42023	- 07
2,9466	$\frac{5}{1}$	19 9,0	2,33	16,7	11	1,41826	1,41829	- 03
3,2413	$\frac{11}{2}$	8 46,2	4,80	15,6	12	1,41612	1,41612	$\pm$ 00
3,5359	$\frac{6}{1}$	29 57 26,4	5,07	15,8	16	1,41379	1,41383	- 04
3,8306	$\frac{13}{2}$	44 52,8	5,09	17,6	16	1,41120	1,41125	- 05
4,1252	$\frac{7}{1}$	32 0,6	5,02	16,8	8	1,40855	1,40851	+ 04
4,7146	$\frac{8}{1}$	2 12,6	3,84	17,1	7	1,40238	1,40233	+ 05
5,3036	$\frac{9}{1}$	28 28 9,0	6,35	16,5	6	1,39529	1,39525	+ 04
5,8932	$\frac{10}{1}$	27 49 23,4	9,04	15,4	9	1,38719	1,38721	- 02
6,4825	$\frac{11}{1}$	6 33,0	12,92	15,6	13	1,37819	1,37817	+ 02
7,0718	$\frac{12}{1}$	26 18 36,6	22,61	14,9	9	1,36805	1,36807	- 02
7,6612	$\frac{13}{1}$	25 25 50,4	14,47	17,7	12	1,35680	1,35685	- 05
8,2505						1,34444	1,34446	- 02
8,8398						1,33079	1,33081	- 02
9,4291						1,31612	1,31581	+ 31

Einen noch besseren Anschluss ergibt die Formel

$$(2) \quad n^2 = A^2 + \frac{M_2}{\lambda^2 - \lambda_2^2} - k\lambda^2 - h\lambda^4$$

mit den Constanten:

Constanten I.

$$A^2 = 2,03888$$

$$M_2 = 0,006166 \quad h = 0,003200$$

$$\lambda_2^2 = 0,0086959 \quad h = 0,0000029195.$$

Zur Verwerthung der Beobachtungen für spectralanalytische Untersuchungen im ultrarothem Gebiete lässt sich die Formel II aber noch erheblich besser den Beobachtungen anpassen, wenn man darauf verzichtet, das äusserste Ultraviolett, welches für Bolometerbeobachtungen nicht in Betracht kommt, ebenfalls mit darzustellen. Die letzte Spalte der Tabelle I enthält die Werthe n , welche Formel II ergibt, wenn ihre Constanten die Werthe haben:

Constanten II.

$$A^2 = 2,03882$$

$$M_3 = 0,00621828 \quad h = 0,00319987$$

$$\lambda_2^2 = 0,007706 \quad h = 0,0000029160.$$

Man sieht, dass Sarasin's und meine Messungen durch diese Constanten mit ausserordentlicher Treue dargestellt werden. Die Messungen von Rubens und Snow und von Carvallo dagegen haben gegen diese Formel und folglich auch gegen meine Messungen eine, wie es scheint constante Differenz von rund 15 Einheiten der 5. Decimalen. Man ersieht dies an der Tab. II, in der diese Messungen mit den Ergebnissen der Formel II mit den Constanten II zusammengestellt sind.

Tabelle II.

Carvallos Messung				Messung von Rubens u. Snow			
n				n			
μ	beob.	ber.	Δn	μ	beob.	ber.	Δn
0,637	1,43292	1,43288	+ 04	0,807	1,4307	1,43053	+ 17
0,700	1,43192	1,43183	+ 09	0,850	1,4303	1,43011	+ 19
0,777	1,43096	1,43085	+ 11	0,896	1,4299	1,42971	+ 19
0,878	1,42996	1,42986	+ 10	0,950	1,4294	1,42930	+ 10
1,009	1,42904	1,42885	+ 16	1,009	1,4290	1,42888	+ 12
1,187	1,42804	1,42785	+ 19	1,076	1,4286	1,42847	+ 13
1,444	1,42676	1,42658	+ 18	1,152	1,4281	1,42803	+ 07
1,849	1,42460	1,42467	- 07	1,240	1,4277	1,42757	+ 13
				1,345	1,4272	1,42705	+ 15
				1,466	1,4267	1,42647	+ 13
				1,613	1,4260	1,42579	+ 21
				1,792	1,4250	1,42494	+ 06
				2,019	1,4240	1,42382	+ 18
				2,303	1,4224	1,42230	+ 10
				2,689	1,4205	1,42000	+ 50

Die Abweichung dieser Messungen von meinen vorjährigen hat sich also ungefähr noch verdoppelt.

Ich beabsichtige, künftigen Spectralmessungen behufs Reduction auf Wellenlängen stets meine jetzigen Beobachtungen bez. die Formel II mit den Constanten II zu Grunde zu legen. Die Wellenlängenangaben meiner früheren Spectralmessungen¹⁾ sind nach den Neubestimmungen nur in dem Gebiete vor $2,5 \mu$ und hier auch nur um solche Beträge zu corrigiren, die ich dort als mögliche Fehler bezeichnet habe. Es müssen nämlich meine Angaben bei $1,4 \mu$ um $0,015 \mu$ und meine Angaben bei $1,8$ und $1,9 \mu$ um $0,010 \mu$ verkleinert werden, um mit den jetzigen Bestimmungen im Einklang zu stehen. Die Uebereinstimmung dieser Messungen mit den nach Langley's Dispersionscurve des Steinsalzes berechneten Spectralmessungen von Langley, Julius und Ångström wird dadurch noch etwas besser.

Hannover, August 1895.

1) Vgl. ihre Zusammenstellung Wied. Ann. 53. p. 334. 1894.