

**6. Der magnetooptische Kerr-Effekt  
bei ferromagnetischen Verbindungen<sup>1)</sup>;  
von P. Martin.**

[Aus dem Bosscha-Laboratorium.]

Kürzlich erschienen in diesen Annalen Untersuchungen des Hrn. Loria<sup>2)</sup> über die magnetooptischen Eigenschaften der neugewonnenen ferromagnetischen Legierungen und Verbindungen. Und zwar kamen von letzteren namentlich Magnetit (Ferroferrit) und Cupriferrit in Betracht, welche beide eine charakteristische Dispersionskurve mit Inversionspunkt aufweisen. Auf Veranlassung von Hrn. du Bois habe ich nunmehr diese infolge äußerer Umstände abgebrochene Arbeit an neuem Material fortgesetzt, um durch Messung mehrerer Dispersionskurven einen allgemeineren Überblick zu gewinnen. Dabei beschränke ich mich hier auf die Bestimmung der Dispersion verschiedener Mangan- und Eisenverbindungen. Die Literatur ist von Hrn. Loria eingehend besprochen, so daß es sich erübrigt, darauf wieder einzugehen; ich habe seine Versuchsanordnung weiter benutzt und es mag daher auch deswegen auf seine Veröffentlichung hingewiesen sein; der geradsichtige lichtstarke Monochromator wurde einer neuen Kalibrierung unterzogen. Es wurden durchweg Polspitzen ( $V$ ) mit recht-

1) Vorl. Mitteilung: P. Martin, Versl. Akad. Wet. Amst. **21.** p. 211. 1912, welche auch eine Neubestimmung der früher von Hrn. du Bois gemessenen Dispersion der drei Metalle enthält; dazu wurden mir von Hrn. Prof. P. Weiss freundlichst Proben überlassen, deren Sättigungswerte er bestimmt hatte; Beimischungen haben einen erheblichen Einfluß auf die Dispersion.

2) St. Loria, Versl. Akad. Wet. Amst. **18.** p. 903. 1910; **20.** p. 1086. 1912; Ann. d. Phys. **38.** p. 889. 1912. Seine ersten Ergebnisse, insbesondere betreffs Magnetit und Heuslersche Legierung, wurden seitdem bestätigt von P. D. Foote, Phys. Rev. (2) **34.** p. 96. 1912 und ganz neuerdings von W. Dziewulski, Physik. Zeitschr. **13.** p. 642. 1912. Beide bestimmten auch die Elliptizität.

eckiger Bohrung verwendet, deren Profil ( $2,5 \times 4$  mm) fast immer von der Größe des Spiegels übertroffen wurde; letztere hatten sehr unregelmäßige Gestalt und waren häufig nur mangelhaft spiegelnd; sie wurden mittels Gips befestigt und bei nahe senkrechter Inzidenz beobachtet.

Da eine einfache Beziehung zwischen den rein optischen Konstanten und der Dispersionskurve des Kerr-Effektes von Hrn. Loria vergeblich gesucht wurde, habe ich von der Bestimmung der ersteren diesmal abgesehen, zumal die Messung des Brechungs- und Extinktionsindex<sup>1)</sup> leicht nachgeholt werden kann. Bei meinen sämtlichen Substanzen war die Extinktion gut, mithin die Elliptizität nur sehr gering; angesichts der vielfach auch nur sehr kleinen Drehungen erschien ihre Bestimmung vorläufig kaum durchführbar, wenn auch an und für sich gewiß erwünscht; ob die Voigt-Dziewulskische (l. c.) Methode unter diesen Umständen bei kleinen mangelhaften Spiegeln anwendbar wäre, läßt sich schwer beurteilen. Das Versuchsmaterial ist nachfolgend näher spezifiziert:

*Manganverbindungen.* „Mn 65, Sn 35“ =  $\text{Mn}_4\text{Sn}$  und „Mn 35, Sb 65“ =  $\text{MnSb}$  ungefähr wurden mir von Hrn. Prof. Tammann gütigst zur Verfügung gestellt. Die Verhältnisse der zusammengesetzten Metalle entsprechen nach Hrn. Honda den am meisten ferromagnetischen Verbindungen bzw. Legierungen.<sup>2)</sup> Außerdem versuchte ich eine Probe  $\text{MnSb}$  und  $\text{MnBi}$  von Hrn. Prof. Wedekind, sowie  $\text{MnBi}$  von Hrn. Dr. Hilpert. Das metallische Mangan fand Hr. Loria inaktiv.

*Eisenverbindungen.* Ein Stück einer vorwiegend aus Cementit, dem Eisenkarbid  $\text{Fe}_3\text{C}$ , bestehenden Kohlenstofflegierung hat mir Hr. Dr. Hilpert freundlichst verschafft. Normales Pyrrhotin ( $\text{Fe}_7\text{S}_8$ ) verdanke ich Hrn. Prof. P. Weiss in Zürich. Außerdem wurden derber Magnetkies und amorphes Schwefeleisen aus den Laboratoriumsbeständen untersucht. Auch einen Cereisenzündstift habe ich zu Versuchen herangezogen.

Den genannten Herren, die mir bei Beschaffung des Materials entgegenkamen, möchte ich hier meinen besten Dank aussprechen.

1) Vgl. D. Enskog, Ann. d. Phys. 38. p. 731. 1912.

2) K. Honda, Ann. d. Phys. 32. p. 1003. 1910.

In den folgenden Tabellen sind enthalten:  $\lambda$ , die Wellenlänge des betrachteten Lichtes, in  $\mu\mu$ ;  $\Delta$  die in Millimetern an der Skala abgelesene doppelte Drehung bei Kommutierung des Stromes;  $\varepsilon$  die einfache Drehung, in Minuten ausgedrückt;  $\pm \delta\varepsilon$ , der mittlere Fehler in Minuten bzw. in Prozent.  $N$  bedeutet die Anzahl der bei jeder Stromrichtung ausgeführten Ablesungen, welche je nach der Größe des Spiegels und der Lichtstärke 20—70 betrug.

### Manganverbindungen.

*Manganborid*<sup>1)</sup> ( $\text{MnB}$ ). Meine Versuche hier irgend eine Drehung zu beobachten, ergaben nur einen negativen Erfolg. Obgleich das Material porös war und deshalb der Spiegel nicht sehr hell, habe ich mich überzeugen können, daß die Drehung, falls es überhaupt eine gäbe, kleiner als  $0,3'$  sein müßte.

*Manganzinn*. ( $\text{Mn } 65, \text{ Sn } 35 = \text{Mn}_4\text{Sn}$ ). Die Dispersionskurve verläuft hierbei ganz im Bereiche negativer Werte (Fig. 1). Die Kurve, welche im Violett ziemlich steil abnimmt, erreicht

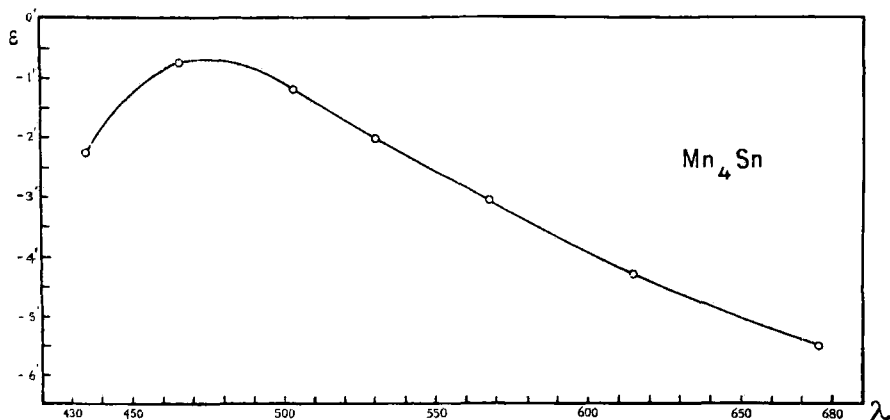


Fig. 1.

ein numerisches Minimum im Blau und nimmt dann allmählich nach Rot wieder zu. Die Drehung beschränkt sich stets auf

1) E. Wedekind, Zeitschr. f. physik. Chem. 66. p. 614. 1909.

kleinere Werte, wie es mit Rücksicht auf die geringe Magnetisierbarkeit des Materials zu erwarten war.

Zwei im gleichen Stück senkrecht zueinander geschliffene Spiegel ergaben gut übereinstimmende Resultate, wie die Tab. 1 und 2 zeigen.

Tabelle 1.

 $\varepsilon = f(\lambda)$ .  $\text{Mn}_4\text{Sn}$  (gesättigt). Tammann.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$d$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta\varepsilon$
20	435	-14,8	-2,24'	0,07' = 3,1 ‰
20	466	- 5,0	-0,75	0,03 = 4
20	503	- 7,9	-1,18	0,02 = 1,4
20	567	-20,2	-3,03	0,02 = 0,7
20	615	-28,4	-4,26	0,02 = 0,5
20	675	-36,8	-5,52	0,13 = 0,25

Tabelle 2.

 $\varepsilon = f(\lambda)$ .  $\text{Mn}_4\text{Sn}$  (gesättigt). Tammann.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$d$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta\varepsilon$
15	466	- 5,0	-0,75'	0,05' = 6,7 ‰
15	530	-13,3	-2,00	0,03 = 1,3
12	567	-20,0	-3,00	0,04 = 1,3
15	615	-28,4	-4,26	0,04 = 1

Tabelle 3.

 $\varepsilon = f(\lambda)$ .  $\text{MnSb}$  (gesättigt). Tammann.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$d$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta\varepsilon$
40	435	-148,9	-22,35'	0,15' = 0,75 ‰
35	466	-153,5	-23,02	0,06 = 0,25
25	483	-154,7	-23,21	0,04 = 0,17
25	503	-154,6	-23,19	0,03 = 0,13
40	530	-136,4	-20,46	0,03 = 0,15
27	567	-115,7	-17,36	0,01 = 0,06
25	615	-119,0	-17,86	0,02 = 0,11
35	675	-125,0	-18,75	0,02 = 0,11

*Manganantimonid* (Mn 35, Sb 65 = MnSb, nahezu). Das Tammannsche Material zeigt eine auffallend starke negative Drehung, die ihren numerisch höchsten Punkt im Blaugrün erreicht (Fig. 2), dann steil im Grün abfällt, um ein numerisches Minimum bei etwa  $580\ \mu\mu$  zu durchlaufen; sie wächst dann wieder langsam nach Rot zu (Tab. 3).

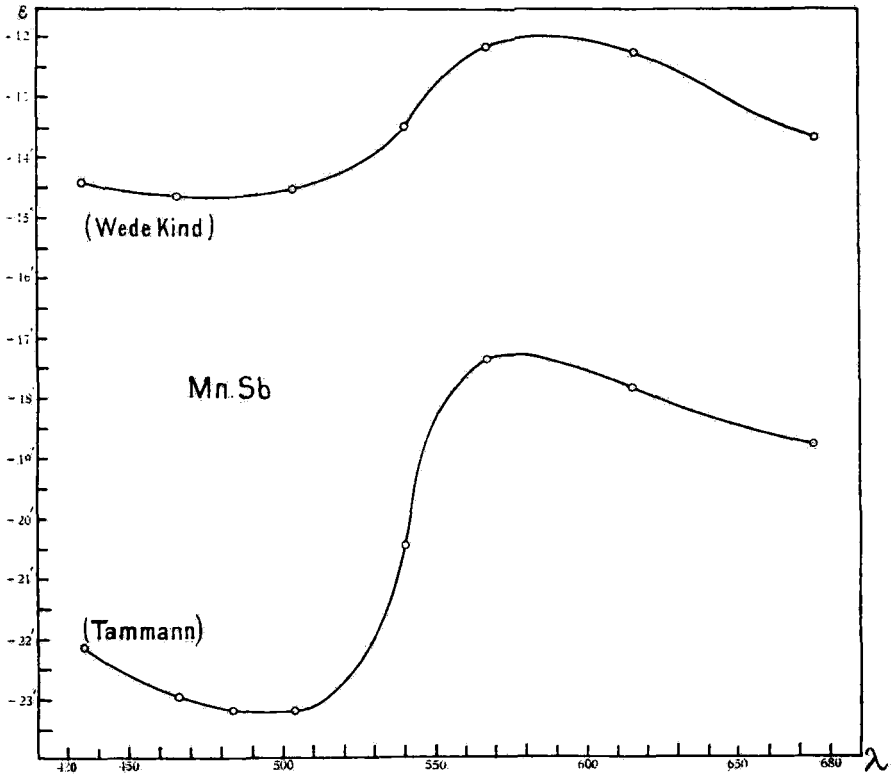


Fig. 2.

Ein zweites, von Prof. Wedekind stammendes Stück MnSb ergab eine ähnliche, dem Charakter nach übereinstimmende Dispersionskurve (Fig. 2) (Tab. 4). Dabei blieb die Drehung stets kleiner als beim ersten Stück. Es ist daher vermutlich anzunehmen, daß dieses der ferromagnetischen Optimumverbindung MnSb besser entspricht, deren Bestehen

von den Herren Hilpert und Dieckmann letzthin wahrscheinlich gemacht wurde.<sup>1)</sup>

Tabelle 4.

$\varepsilon = f(\lambda)$ . MnSb (gesättigt). Wedekind.

$N$	$\lambda (\mu\mu)$	$\Delta (\text{mm})$	$\varepsilon (\text{Min.})$	$\pm \delta \varepsilon$
30	435	-96,1	-14,41'	0,16' = 1,1 ‰
25	466	-97,1	-14,57	0,09 = 0,6
20	508	-97,0	-14,55	0,05 = 0,3
21	530	-91,0	-13,53	0,03 = 0,2
20	567	-80,9	-12,14	0,01 = 0,1
20	615	-81,7	-12,25	0,02 = 0,2
21	675	-87,5	-13,14	0,05 = 0,4

*Manganbismutid*<sup>2)</sup> (MnBi). Die Drehung, welche an beiden Enden des Spektrums negativ verläuft (Fig. 3), erreicht ein positives Maximum bei 530  $\mu\mu$ . Inversionspunkte befinden sich bei 468  $\mu\mu$  und 617  $\mu\mu$ . Obgleich der Spiegel nicht sehr

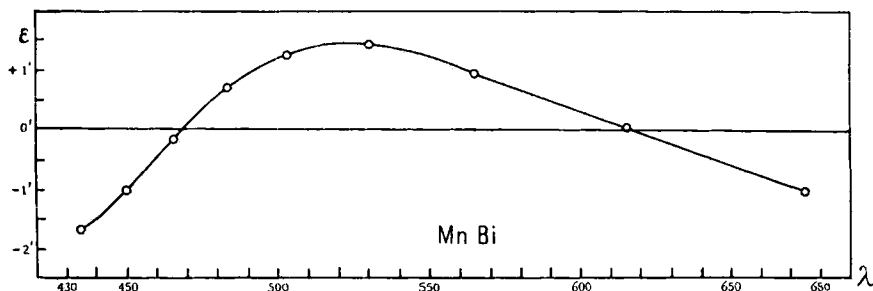


Fig. 3.

hell war, habe ich doch trotz der recht kleinen Drehungen ziemlich genau messen können (Tab. 5).

1) Vgl. K. Honda, l. c.; E. Wedekind, Chem. Ber. 40. p. 1266. 1907; S. Hilpert u. Th. Dieckmann, Chem. Ber. 44. p. 2833. 1911.

2) S. Hilpert u. Th. Dieckmann, Chem. Ber. 44. p. 2831. 1911; E. Wedekind u. A. Veit, Chem. Ber. 44. p. 2665. 1911.

Tabelle 5.

 $\varepsilon = f(\lambda)$ . MnBi (gesättigt). Hilpert.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$d$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta \varepsilon$
25	435	-11,0	-1,65'	0,13' = 7,7 %
25	450	- 6,7	-1,00	0,07 = 7,3
50	466	- 1,1	-0,16	0,04 = 22,0
25	488	+ 4,8	+0,72	0,05 = 6,5
21	503	+ 8,4	+1,26	0,03 = 2
21	530	+ 9,9	+1,48	0,03 = 2
21	567	+ 6,8	+0,94	0,03 = 2,8
70	615	+ 0,8	+0,045	0,015 = 33,3
30	675	- 6,6	-0,99	0,02 = 2

## Eisenverbindungen.

*Cementit, Eisenkarbid* ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Da das Material vorwiegend Cementit in nadelförmigem, kristallinischem Gefüge mit anderen Gemengteilen in Mischung enthält, ist der Spiegel mittels schwefliger Säure derart kräftig geätzt worden, daß nur die Cementitflächen ungeändert reflektierend blieben, indem die übrigen Bestandteile stark geschwärzt wurden.

An sechs verschiedenen Stellen ausgeführte Messungen ergaben etwas verschiedene Resultate. Jedoch zeigen alle Kurven (Fig. 4) eine gewisse Ähnlichkeit; und zwar eine starke negative Drehung, numerisch maximal im Violett, mit der Andeutung einer Abnahme gegen das Ultraviolett. Sie nimmt dann im Blau steil ab bis ins Grüne oder Gelbgrüne und wächst darauf wieder nach Rot zu. Das Kohlenstoffatom des Karbids bedingt demnach eine große Abweichung der Dispersionskurve von derjenigen des reinen Eisens; dies ist bei der Untersuchung von Schmiedeeisen oder Stahl wohl zu beachten.

In Fig. 4 und Tabb. 6—9 sind vier der Kurven dargestellt. Die beiden übrigen Stellen ergaben eine geringere Drehung. Die Betrachtung der Ätzfiguren zeigte schon, daß eine bessere Übereinstimmung bei einem so komplizierten Gefüge kaum zu erwarten ist. Aus diesem Grunde erscheint überhaupt die Untersuchung von Legierungen viel heikler als diejenige wohldefinierter, einheitlicher und homogener Verbindungen; aus diesem Grunde wurde in der vorliegenden Arbeit auch davon abgesehen. Immerhin erhält aus dem Vorhergehenden die

Möglichkeit, gewisse Gemengteile einer Legierung auf den Kerr-Effekt hin zu prüfen, indem das Reflexionsvermögen der übrigen durch Ätzung vernichtet wird, wobei in manchen Fällen mit schwarzem Lack eine Nachhilfe in der Abblendung geleistet werden mag.

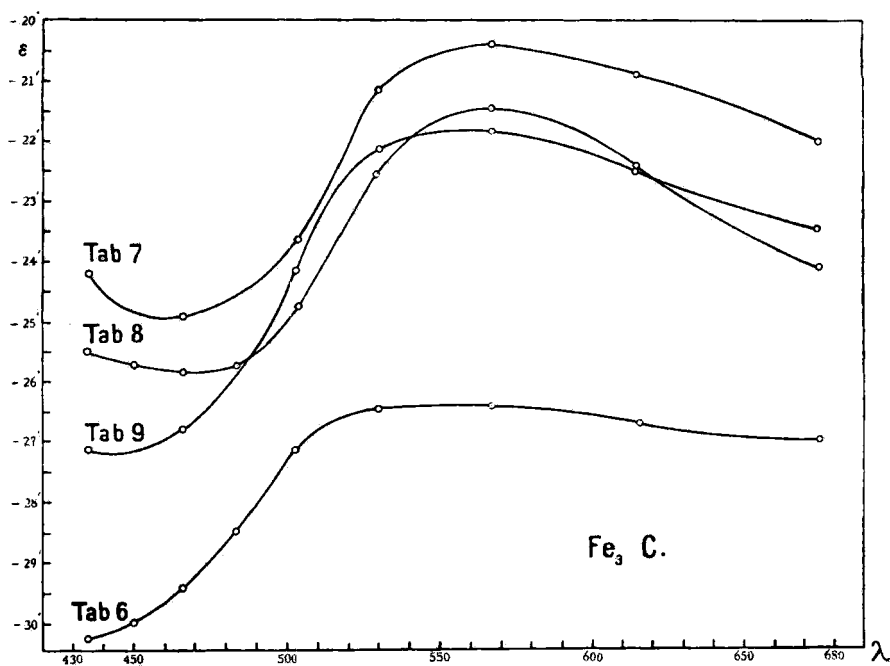


Fig. 4.

Tabelle 6.

 $\varepsilon = f(\lambda)$ . Eisenkarbid (gesättigt). Hilpert.

N	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta \varepsilon$
30	435	-201,9	-30,28'	0,05' = 0,17 ‰
25	450	-200,0	-30,00	0,03 = 0,10
20	466	-196,3	-29,42	0,02 = 0,07
20	483	-189,8	-28,48	0,02 = 0,07
20	503	-180,8	-27,13	0,02 = 0,07
20	530	-176,3	-26,45	0,01 = 0,04
20	567	-176,0	-26,40	0,02 = 0,08
20	615	-177,7	-26,66	0,01 = 0,04
20	675	-180,1	-27,01	0,03 = 0,11

Tabelle 7.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta \varepsilon$
25	435	-161,4	-24,20'	0,10' = 0,4 ‰
25	466	-166,1	-24,91	0,05 = 0,2
20	503	-157,8	-23,66	0,07 = 0,3
20	530	-141,1	-21,17	0,05 = 0,2
20	567	-136,0	-20,40	0,02 = 0,1
20	615	-139,6	-20,91	0,02 = 0,1
20	675	-146,8	-22,02	0,04 = 0,2

Tabelle 8.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta \varepsilon$
25	435	-170,0	-25,50'	0,05' = 0,2 ‰
25	450	-171,7	-25,75	0,03 = 0,1
20	466	-172,1	-25,81	0,03 = 0,1
20	483	-171,7	-25,75	0,03 = 0,1
20	503	-165,0	-24,76	0,03 = 0,1
20	530	-150,3	-22,55	0,02 = 0,1
20	567	-143,1	-21,46	0,02 = 0,1
20	615	-149,4	-22,40	0,03 = 0,1
20	675	-161,0	-24,14	0,03 = 0,1

Tabelle 9.

$N$	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta \varepsilon$
30	435	-181,0	-27,15'	0,07' = 0,3 ‰
25	466	-178,7	-26,79	0,03 = 0,2
30	503	-161,0	-24,14	0,04 = 0,1
25	530	-147,5	-22,13	0,01 = 0,04
25	567	-145,4	-21,81	0,01 = 0,05
20	615	-150,0	-22,50	0,01 = 0,04
20	675	-156,3	-23,44	0,03 = 0,1

*Normales Pyrrhotin* ( $\text{Fe}_7\text{S}_8 = (\text{FeS})_6\text{Fe}_2\text{S}_3$ , von Morro Velho, Brasilien). Das Stück, mit welchem ich Messungen anstellte, wurde einmal parallel der magnetischen Ebene und zweitens nach einer dazu und zur Richtung leichtester Magnetisierung

senkrechten Ebene geschliffen.<sup>1)</sup> Der erstere Spiegel zeigte, wie zu erwarten, gar keine Drehung bei nahezu senkrechter Inzidenz, da ja senkrecht zu seiner Ebene die Magnetisierung bekanntlich nur eine verschwindend geringe ist. An der zweiten Fläche aber war eine positive Drehung von der Größenordnung einer Minute im ganzen Spektralbereich wahrzunehmen. Selbst an den Enden des Spektrums habe ich keine Andeutung einer Krümmung der Dispersionskurve konstatiert; allerdings ist vielleicht eine Spur einer Zunahme im Violett vorhanden. Daraufhin durfte ich dann bei größerer Spaltweite des Monochromators mit hellerem gelben und blauen Licht dieselben Messungen genauer ausführen. Das Feld betrug dabei mindestens 12 Kilogauss. Eine graphische Darstellung der einfachen geradlinigen Dispersionskurve kann füglich unterbleiben (Tab. 10). Angesichts des sehr geringen Drehungswertes erschien die Untersuchung anders orientierter Spiegel kaum angezeigt.

Tabelle 10.

$\varepsilon = f(\lambda)$ . Normales Pyrrhotin (gesättigt). Weiss.

<i>N</i>	$\lambda$ ( $\mu\mu$ )	$\Delta$ (mm)	$\varepsilon$ (Min.)	$\pm \delta \varepsilon$
35	435	+6,6	+0,98'	0,04' = 4 %
30	„	+6,7	+1,00	0,05 = 5
25	466	+6,3	+0,94	0,04 = 4
20	483	+6,6	+0,97	0,04 = 4
20	503	+6,4	+0,95	0,03 = 3
20	530	+6,5	+0,96	0,03 = 3
20	567	+6,4	+0,95	0,02 = 2
20	615	+6,6	+0,97	0,03 = 3
25	675	+6,3	+0,94	0,04 = 4

1) Nach obiger Formel wäre der Kristall als Sulfopentaferroferrit aufzufassen, nach Analogie der Struktur der Hilpertschen Metaferrite. Die Orientierung erfolgt bequem durch Aufhängen an einem Kokonfaden. P. Weiss, Journ. de Phys. (4) 4. p. 469. 1905 findet als Sättigungswert der Magnetisierung etwa 60—75 C.G.S.

Tabelle 10 (Fortsetzung).

$N$	$\lambda$ ( $\mu$ )	$d$ (mm)	$s$ (Min.)	$\pm \delta s$
30	675	+6,6	+0,97'	0,03' = 3 %
20	blau	+6,4	+0,94	0,02 = 2
20	„	+6,6	+0,96	0,01 = 1
20	gelb	+6,4	+0,95	0,02 = 2
20	„	+6,5	+0,96	0,01 = 1

*Derber Magnethies* (vermutlich von Obermais, Tyrol). Eine natürliche spiegelnde Fläche war seinerzeit von Hrn. du Bois erfolglos erprobt; sie war freilich blätterig und parallel der mittleren magnetischen Ebene. Es wurde jetzt ein Spiegel senkrecht dazu und zur mittleren Richtung leichtester Magnetisierung geschliffen. Aus einer sehr großen Zahl von Ablesungen ergab sich jetzt zweifellos eine kleine positive Drehung von mehreren Zehntelminuten, etwa ein Drittel von der beim normalen Pyrrhotin beobachteten.

*Amorphes Schwefeleisen* (FeS). Diese nicht ferromagnetische Substanz war auch 1889 von Hrn. du Bois <sup>1)</sup> vergeblich untersucht. Der gleiche Spiegel gab auch jetzt einen negativen Erfolg. Sollte dabei eine Drehung auftreten, so muß sie kleiner als 0,3' sein.

*Cereisen*. Die Dispersion bietet beim pyrophoren Cereisen von unbekannter quantitativer Zusammensetzung nichts Be-

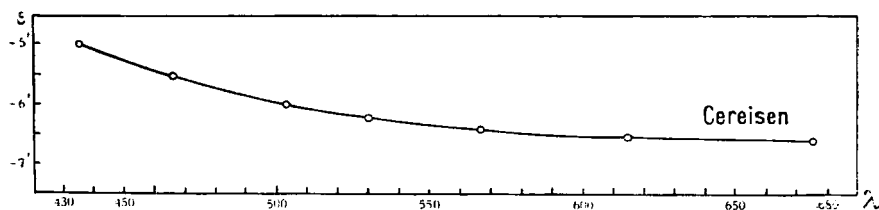


Fig. 5.

sonderes dar (Fig. 5). Die Drehung nimmt von Violett bis Rot numerisch zu wie beim Eisen und beträgt durchweg etwa

<sup>1)</sup> H. du Bois, Wied. Ann. **39**. p. 25. 1890; Phil. Mag. (5) **29**. p. 253. 1890.

ein Drittel derjenigen für das Metall. Das Material war nicht ganz gesättigt (Tab. 11).

Tabelle 11.

$s = f(\lambda)$ . Cereisen (fast gesättigt).

$N$	$\lambda (\mu\mu)$	$d(\text{mm})$	$s(\text{Min.})$	$\pm \delta s$
25	435	-33,9	-5,09'	0,05' = 1 ‰
20	466	-36,7	-5,50	0,04 = 0,7
20	503	-39,8	-5,97	0,02 = 0,3
20	530	-41,5	-6,22	0,01 = 0,2
20	567	-42,7	-6,41	0,01 = 0,2
20	615	-43,5	-6,52	0,02 = 0,3
25	675	-44,0	-6,60	0,03 = 0,4

(Eingegangen 1. August 1912.)