Wellenlänge	$\frac{\delta\lambda}{\lambda^2}$ cm^{-1}		Abweichung
Zn 3345,62	1,23 *s*	1,35 = 10 *a*/8	0,12
	0,74 *p*	0,675 = 5 *a*/8	0,065
		1,20 = 10 *a*/9	0,03
		0,72 = 6 *a*/9	0,02
Cd 3614,58	1,885	1,80 = 5 *a*/3	0,085
	0,755 *p*	0,72 = 2 *a*/3	0,035
Mn 4059,11	1,245 *s*	1,26 = 7 *a*/6	0,015
	0,885 *p*	0,90 = 5 *a*/6	0,015
		1,234 = 8 *a*/7	0,011
		0,926 = 6 *a*/7	0,041
Cr 4626,30	2,165 *s*	2,16 = 2 *a*	0,005
	1,095 *p*	1,08 = *a*	0,015
Cr 4616,30	1,855 *s*	1,851 = 12 *a*/7	0,004
	0,605 *p*	0,617 = 4 *a*/7	0,012
Cr 4359,80	1,36 *s*	1,35 = 10 *a*/8	0,01
	0,96 *p*	0,945 = 7 *a*/8	0,015
		1,32 = 11 *a*/9	0,04
		0,96 = 8 *a*/9	0,00
Cr 3976,83	1,99 *s*	2,16 = 2 *a*	0,17
	1,15 *p*	1,08 = *a*	0,07
Mn 4502,40	1,625 *s*	1,62 = 3 *a*/2	0,005
	0 *p*		
Cr 4289,89	1,89 *s*	1,89 = 7 *a*/4	0,00
	0 *p*		
Cr 4274,95	2,165 *s*	2,16 = 2 *a*	0,005
	0 *p*		
Cr 4254,50	1,64 *s*	1,62 = 3 *a*/2	0,02
	0 *p*		

(Eingegangen 9. August 1907.)

8. *Der Fizeausche Versuch über die Änderung des Polarisationsazimuts eines gebrochenen Strahles durch die Bewegung der Erde;*

von B. Strasser.

Die Versuche, welche angestellt wurden, einen Einfluß der Erdbewegung auf die auf der Erde zu beobachtenden optischen Erscheinungen nachzuweisen, haben bisher zu einem negativen Ergebnis geführt. Nur Fizeau[1]) gibt an, in einem Falle einen solchen Einfluß beobachtet zu haben. Ließ er einen polarisierten Lichtstrahl durch eine Reihe von geneigten Glasplatten fallen, so beobachtete er eine Änderung der Drehung der Polarisationsebene, je nachdem sich der Strahl in der Richtung der Erdbewegung oder gegen dieselbe fortpflanzte.

Der Versuch von Fizeau steht im Widerspruch mit der Theorie der Elektrodynamik für bewegte Körper, und es erschien daher wünschenswert[2]), das Experiment von Fizeau unter möglichst den gleichen Bedingungen zu wiederholen.

Während ich mit den vorbereitenden Messungen beschäftigt war, erschien eine Arbeit von Brace[3]), in welcher ebenfalls die Fizeauschen Untersuchungen wiederholt und geprüft wurden.

Brace benutzte in einer gegenüber Fizeau etwas veränderter Anordnung zur Drehung der Polarisationsebene des Lichtes vier Glasplatten; hierbei sollte sich nach der Anschauung von Fizeau durch die Bewegung der Erde eine Drehungsdifferenz von 0,024° ergeben. Brace konnte indessen einen solchen Einfluß nicht nachweisen; denn er erhielt als Mittelwert aus seinen

1) Fizeau, Ann. de chim. et phys. (3) **58.** p. 129.

2) Vgl. z. B. W. Wien, Referat für die 70. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Düsseldorf 1898; P. Drude, Lehrbuch der Optik, II. Aufl. p. 463. 1906.

3) B. Brace, Phil. Mag. (6) **10.** p. 591. 1905.

Beobachtungen eine Drehungsänderung von nur 0,003°. Die größten Abweichungen von seinem Mittelwert betrugen +0,014° und −0,018°. Der infolge der Erdbewegung zu erwartende Effekt von +0,024° liegt mithin trotz der sehr sorgfältigen Messungen von Brace nicht sehr weit von den Beobachtungsfehlern entfernt. Da ich bei meiner Anordnung eine größere Genauigkeit zu erreichen hoffte, hielt ich es trotz der Arbeit von Brace für nützlich, meine Versuche fortzusetzen.

Das Prinzip des Versuches von Fizeau ist kurz folgendes:

Geht zur Mittagszeit ein Lichtstrahl in der Richtung von West nach Ost durch eine Reihe von geneigten Glasplatten, so bewegen sich diese infolge der Bewegung der Erde um die Sonne in einer der Fortpflanzung des Lichtstrahles entgegengesetzten Richtung, die Geschwindigkeit des Lichtes muß nach Fizeau verzögert sein, während das Brechungsverhältnis der Luft zum Glase, und ebenso die Drehung der Polarisationsebene vergrößert werden. Hat hingegen der Lichtstrahl die Richtung von Ost nach West, so ist die Drehung der Polarisationsebene kleiner. Wie die Rechnung unter Zugrundelegung des Fresnelschen Mitführungskoeffizienten ergibt, soll die Drehungsdifferenz in den beiden entgegengesetzten Richtungen nahezu $^1/_{1500}$ der Gesamtdrehung betragen.

Benutzt man eine einzige Glasplatte mit dem Brechungsexponenten $n = 1{,}530$, auf welche der Strahl unter einem Winkel von ungefähr 70° bei einem Polarisationsazimut von ca. 20° auffällt, so erleidet die Polarisationsebene des gebrochenen Strahles eine Drehung von 6° 40′. Der wahrscheinliche Effekt der Erdbewegung wird demnach $^1/_{1500} \cdot 6^\circ 40' = 16''$ betragen. Diese Größe ist offenbar zu klein, um genau beobachtet werden zu können. Indessen gelang es Fizeau, durch Vermehrung der Platten und besonders durch geeignete Aufstellung derselben den Effekt von 16″ stark zu vergrößern. Das Prinzip seines Verfahrens ist durch die folgende Betrachtung gegeben.

Von Fresnel ist für den Durchgang eines geradlinig polarisierten Strahles durch eine Glasplatte für *eine* Oberfläche die Gleichung aufgestellt worden:

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{1}{\cos(\varphi - \psi)} \cdot \operatorname{tg}\alpha_1 . \tag{1}$$

Hierin ist φ der Einfallswinkel, ψ der Brechungswinkel, α_1 und β_1 die Polarisationsazimute des einfallenden und des gebrochenen Strahles. Für eine zweite parallele Fläche ist

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1}{\cos(\varphi - \psi)} \cdot \operatorname{tg}\alpha_2$$

und da $\alpha_2 = \beta_1$ ist, erhält man

$$\operatorname{tg}\beta_2 = \frac{1}{\cos^2(\varphi - \psi)} \cdot \operatorname{tg}\alpha_1 .$$

Bei n parallelen Flächen ist

$$\operatorname{tg}\beta_n = \frac{1}{\cos^n(\varphi - \psi)} \cdot \operatorname{tg}\alpha . \tag{2}$$

Berechnet man nach dieser Formel für einen bestimmten Einfallswinkel die zu verschiedenen Werten von α gehörigen Größen von β_n, so findet man, daß bei kleinen Werten von α eine geringe Veränderung $\Delta\alpha$ eine größere Änderung $\Delta\beta_n$ zur Folge hat. Beträgt z. B. bei einem Glassatz von vier Platten der Einfallswinkel $i = 70^\circ$ und das Polarisationsazimut des einfallenden Strahles $\alpha = 5^\circ$, so veranlaßt eine Änderung dieses Azimuts um $\Delta\alpha$ eine Drehungsänderung der Endebene um $\Delta\beta_n = 3{,}2 \,.\, \Delta\alpha$. Eine Veränderung in der Lage der ursprünglichen Ebene wird also unter diesen Umständen verdreifacht.

Wendet man noch mehrere solcher Glassätze an, so wachsen die Vergrößerungen in geometrischer Progression. Man würde schließlich zu Werten des Effektes gelangen, welche sich leicht nachweisen ließen. Eine experimentelle Schwierigkeit liegt indessen darin, daß die Glasplatten selbst schwach doppelbrechend sind, die lineare Polarisation des Lichtstrahles also in elliptische verwandelt wird. Bei einer Glasplatte ist die elliptische Polarisation kaum merkbar, sie nimmt aber bei Vermehrung der Platten zu. Man kann, wie es auch Fizeau tat, die vorhandene elliptische Polarisation dadurch kompensieren, daß man Glasplatten hinzufügt, denen man eine geringere Neigung und entgegengesetztes Azimut gibt. Da diese kompensierenden Glasplatten eine schwächere und entgegengesetzte Drehung als die anderen Gläser hervorbringen, so wird die Gesamtdrehung nur etwas verringert, während die elliptische Polarisation soweit kompensiert wird, daß sich hinreichend empfindliche Einstellungen ermöglichen lassen.

Die benutzten Glasplatten waren rechteckig, ca. 50 mm lang, 20 mm breit und 3 mm dick. Sie waren nicht planparallel, sondern schwach prismatisch; der Winkel der einzelnen Platten lag zwischen 10′ und 40′. Es war auf diese Weise möglich, den durchgehenden Strahl von den an den Flächen reflektierten Strahlen zu trennen. Die Gläser waren zu zwei bis vier in kleinen Zinkkästen vereinigt und so ausgewählt und angeordnet, daß der direkte Strahl bei seinem Durchgang durch die Gläser aus dem Gesichtsfeld nicht herausgelenkt wurde. Im ganzen wurden 14 Platten verwandt, welche zwischen dem Polarisator und Analysator eines großen Halbschattenapparates von der Firma Schmidt & Haensch unter einer Neigung von ungefähr 70° und einem Azimut von 5—20° befestigt waren.

Ich erhielt durch die Glasplatten bei 18 facher Vergrößerung von $\Delta\alpha$ [$\Delta\beta = 18\,\Delta\alpha$] eine Gesamtdrehung von ungefähr 50°, so daß der zu erwartende Effekt beträgt: $^1/_{1500} \cdot 50^0 \cdot 18 = 0{,}60^0$.

Es erschien angebracht zu prüfen, ob meine Anordnung empfindlich genug war, um den oben angegebenen Einfluß der Erdbewegung experimentell feststellen zu können. Zu dem Zwecke wurde absichtlich eine kleine Änderung des Brechungsverhältnisses n_{12} der Luft zum Glase herbeigeführt und beobachtet, um wieviel dabei die Polarisationsebene gedreht wurde.

Um das zu erreichen, wurde die die Glasplatten umgebende Luft durch ein Gas von etwas größerem Brechungsexponenten ersetzt. Die Glasplatten waren von einem allseitig geschlossenen Zinkkasten umgeben, welcher an zwei gegenüberliegenden Seiten Glasfenster für den Durchgang des Lichtes hatte. Durch zwei in den Kasten eingekittete Röhren konnte statt der Luft ein anderes Gas eingeleitet werden, dessen Brechungsexponent ungefähr $^1/_{1500}$ größer als derjenige der Luft war. Ich verwandte ein Gemisch von Ätherdampf ($n = 1{,}00152$) und Luft. Ein Luftstrom wurde langsam durch Äthyläther geblasen, dessen Temperatur etwas höher als die der Umgebung war. Die Luft, welche hierbei reichliche Mengen Ätherdampf aufnahm, wurde darauf durch eine Kühlvorrichtung auf eine bestimmte Temperatur t abgekühlt, so daß ein Teil des Ätherdampfes sich wieder kondensierte, und die Luft mit Äther gesättigt war. Das Gemisch gelangte in den Zinkkasten und

verdrängte allmählich die darinnen befindliche Luft. Die Temperatur in dem Kasten war etwas höher als t, um zu verhindern, daß ein Teil des Ätherdampfes sich wieder kondensierte. Durch Verändern der Temperatur t konnten im Zinkkasten beliebige Zusammensetzungen von Luft und Dampf hergestellt, das Brechungsverhältnis, und somit die Drehung der Polarisationsebene um die gewünschten kleinen Beträge variiert werden.

Die Drehungsänderungen, welche auf diese Weise erhalten werden, lassen sich auch rechnerisch bestimmen. Für Gasgemische ist die brechende Kraft gleich der Summe der brechenden Kräfte der einzelnen Bestandteile. Da der Sättigungsdruck von Äthyläther z. B. bei 20° 442 mm beträgt, wird die Zusammensetzung der Luft und des Ätherdampfes sich wie

$$\frac{760 - 442}{442} = \frac{318}{442}$$

verhalten. Für das Gemisch ist daher

$$n - 1 = \frac{318}{760} \cdot 0{,}000294 + \frac{442}{760} \cdot 0{,}0015 = 0{,}000995\,.$$

Mithin beträgt die Änderung des Brechungsexponenten

$$1{,}000995 - 1{,}000294 = 0{,}000701\,,$$

daher die Drehungsänderung

$$53{,}8^0 \,.\, 18 \,.\, 0{,}000701 = 0{,}68^0$$

bei einer Gesamtdrehung von 53,8° und 18 facher Vergrößerung.

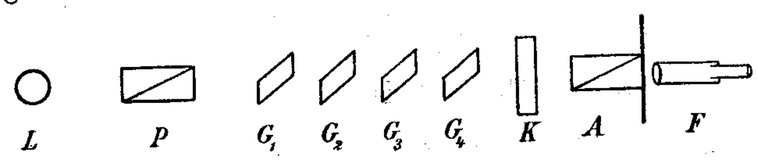
Die folgende Tabelle gibt die erhaltenen Resultate:

Temp. t	Drehung bei Luft	Drehung beim Gemisch	Drehungsänderung	
			beobachtet	berechnet
10°	53,78°	53,42°	0,36°	0,45°
20	53,80	53,14	0,66	0,68
28	53,80	52,93	0,87	0,93

Da es schwierig ist, die Temperaturen für längere Zeit konstant zu halten, kann die Übereinstimmung der beobachteten und berechneten Werte immerhin genügen. Die Messungen zeigen, daß durch die Anordnung sich Änderungen des Brechungsverhältnisses wohl nachweisen lassen von der

Größenordnung, wie sie durch die Erdbewegung verursacht sein könnten.

Anfangs versuchte ich, die Beobachtungen so anzustellen, daß bei *fester Aufstellung* des Apparates die Einstellungen mittags um 12 Uhr und nach 12 Stunden gemacht wurden. Es zeigten sich aber hierbei bedeutende Schwankungen mit der Zeit in der Größe der Drehungen, welche vermutlich durch Erschütterungen, oder durch Temperaturschwankungen verursacht waren, so daß ich die Beobachtungen *unmittelbar* hintereinander anstellte. Der Tisch, auf dem der Apparat aufgestellt war, wurde an Stahlsaiten um eine vertikale Achse leicht drehbar aufgehängt; die Messungen konnten dadurch in kurzer Zeit ausgeführt werden, indem der Apparat *mit der Lichtquelle* um 180° gedreht wurde. Es gelang so, jede äußere Störung zu ver-



meiden. Die Anordnung ist aus der Figur ersichtlich. Darin ist L die Lichtquelle, P der Polarisator. G_1, G_2, G_3, G_4 sind die Glassätze, K ist ein Kompensator nach Soleil-Babinet, auf dessen Anwendung ich später noch zurückkomme, A der Analysator mit Teilkreis und F ein Fernrohr.

Es ist ferner nötig, daß bei den Beobachtungen die Lichtquelle stets in unveränderter Stellung zum Apparat gelassen wurde. Eine Verschiebung der Lichtquelle hatte stets eine wenn auch nur geringe Änderung der Einstellung zur Folge. Auch Fizeau, der für die doppelte Beobachtung je einen Spiegel im Osten und im Westen vom Apparat aufgestellt hatte, um Sonnenlicht auf den Apparat reflektieren zu lassen, gibt an, daß die Spiegel selbst in merklicher Weise die Beobachtungen beeinflußten. Es ist immerhin möglich, daß die Drehungsdifferenzen, welche Fizeau für die Ost- und Westrichtung erhielt, aus den verschiedenen Stellungen der Spiegel zu seiner Anordnung verursacht sein können.

Die Beobachtungen wurden von mir mit Unterbrechungen hauptsächlich vom Frühjahr bis zum Herbst 1906 angestellt. Bei den Messungen wurden meistens vier Einstellungen ge-

macht und daraus das Mittel genommen. So war am 2. Juli 1906 mittags:

	Gesamtdrehung in der Ostrichtung	Gesamtdrehung in der Westrichtung
	53,25°	53,20°
	53,30	53,28
	53,27	53,22
	53,31	53,30
Mittelwert:	53,28°	53,25°

Also beträgt der Überschuß für die Westrichtung −0,03°. Von den Beobachtungen seien diejenigen des Monat Juli mitgeteilt.

Tag	Drehungsüberschuß für die Westrichtung	Tag	Drehungsüberschuß für die Westrichtung
2. Juli	−0,03°	16. Juli	+0,00°
4. „	+0,08	17. „	−0,07
6. „	+0,02	18. „	−0,05
7. „	+0,06	19. „	+0,04
8. „	−0,02	20. „	−0,07
9. „	+0,03	24. „	+0,03
10. „	+0,02	26. „	−0,08
13. „	+0,07		

Als Mittelwert aus diesen Zahlen ergibt sich ein Drehungsüberschuß für die Westrichtung von +0,03°, liegt also innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler.

Im Juli 1907, als mir ein Kompensator nach Soleil-Babinet zur Verfügung stand, habe ich die Versuche noch einmal wiederholt. Der Kompensator wurde hinter die Glassätze gebracht, und die beiden verschiebbaren Quarzkeile des Kompensators mittels der Mikrometerschraube so eingestellt, daß die noch vorhandene elliptische Polarisation vollkommen in lineare zurückgeführt wurde. Eine Verstellung des verschiebbaren Quarzkeiles sowohl nach der einen, wie nach der anderen Richtung bewirkte, daß die Einstellung am Polarisationsapparat ungenauer wurde, ein Beweis, daß in der Tat die elliptische Polarisation völlig kompensiert war. Die Vergrößerung von $\Delta\alpha$ war bei einer Gesamtdrehung von ca. 60° 35 fach, der wahrscheinliche Effekt müßte demnach

$$\frac{60^\circ . 35}{1500} = 1{,}40^\circ$$

betragen. Die Versuche wurden teilweise in der Art ausgeführt, daß ich die Einstellung machte, während ein anderer Beobachter am Teilkreis die Ablesungen ausführte. So war am 27. Juli mittags eine Beobachtungsreihe

	Westrichtung	Ostrichtung
	60,705°	60,706°
	60,725	60,707
	60,704	60,696
	60,700	60,690
	60,709	60,716
Mittelwert:	60,709°	60,703°

An den anderen Tagen ergab sich:

Tag	Westrichtung	Ostrichtung	Überschuß für die Westrichtung
3. Juli	60,697	60,688	+0,009
4. „	60,709	60,691	+0,018
9. „	60,688	60,695	−0,007
10. „	60,675	60,685	−0,010
20. „	60,708	60,701	−0,007
23. „	60,691	60,696	−0,005
24. „	60,695	60,709	−0,014
25. „	60,688	60,698	−0,010
27. „	60,709	60,703	+0,006

Der nach den Betrachtungen von Fizeau berechnete Wert des Drehungsüberschusses für die Westrichtung beträgt 1,4°. In der vorstehenden Tabelle ist der größte Drehungsüberschuß aber nur +0,018°, und im Mittel ergibt sich aus den Zahlen −0,0012°. Bei der Empfindlichkeit der Messungen wäre es daher möglich gewesen, die gesuchte Größe bis auf 1 Proz. genau festzustellen.

Aus den vorliegenden Beobachtungen darf daher mit Sicherheit geschlossen werden, daß der von Fizeau beobachtete Effekt nicht besteht, und daß somit bisher durch kein Experiment ein Einfluß der Erdbewegung auf die optischen Erscheinungen auf der Erde nachgewiesen werden konnte.

Danzig-Langfuhr, Physik. Inst. der Techn. Hochschule.

(Eingegangen 9. August 1907.)

9. *Versuche über das Minimumpotential von Spitzenentladungen und über den Einfluß erhöhter Temperaturen auf dasselbe;*[1]) *von P. Pringsheim.*

Die im folgenden zu beschreibenden Versuche wurden ausgeführt auf Anregung von Hrn. Geheimrat Röntgen, dem ich auch an dieser Stelle hierfür meinen ehrerbietigsten Dank aussprechen möchte; sie hatten den Zweck, den Einfluß erhöhter Temperatur auf das Minimumpotential (M.P.) von Spitzenentladungen zu bestimmen. Als dieselben begonnen wurden, lag bereits eine große Anzahl von Arbeiten über das M.P. vor, die untereinander zum Teil nicht unerheblich abweichende Resultate enthielten: Röntgen[2]), der sich zuerst mit dieser Frage beschäftigte, fand das positive M.P. immer ganz scharf und dadurch charakterisiert, daß der noch deutlich meßbare Strom bei geringer Potentialerniedrigung plötzlich unstetig verschwindet; Warburg[3]) und Tamm[4]) beobachteten auch bei Potentialen, die 10 Volt und mehr unter M.P. liegen, noch vorübergehende Stromstöße.

Nach Röntgen ist M.P. immer kleiner als das zugehörige A.P., und −M.P. liegt immer tiefer als +M.P.; nach Precht[5]) beträgt die Differenz zwischen A.P. und M.P. oft mehr als 1000 Volt, nach Tamm im allgemeinen nur 60 Volt; Evers[6]) fand, daß sie meist für negative Spitzenentladung weit größer ist als für positive. Nach Warburg[7]) kann −M.P., wenn die Spitze fettig ist, größer sein als +M.P., immer aber ist die der Spitze entströmende Elektrizitätsmenge bei gleichem absolutem Werte des Potentials für negative Entladung weit größer als für positive.

1) Auszug aus der Münchner Dissertation.
2) W. C. Röntgen, Göttinger Nachrichten 1878. p. 390—404.
3) E. Warburg, Wied. Ann. **67.** p. 69—83. 1899.
4) F. Tamm, Ann. d. Phys. **6.** p. 529. 1901.
5) J. Precht, Wied. Ann. **49.** p. 150—183. 1893.
6) P. Evers, Ann. d. Phys. **17.** p. 781—860. 1905.
7) E. Warburg, Ann. d. Phys. **2.** p. 295. 1900.