

ANNALEN DER PHYSIK

VIERTE FOLGE. BAND 80

1. *Über die Wiederholung des Harress-Sagnacschen Versuches;* *von B. Pogány*

(Vorläufige Mitteilung¹⁾)

(Hierzu Tafel II und III)

F. Harress²⁾ hat in seiner, im Jahre 1911 erschienenen Dissertation die Ergebnisse seiner Untersuchungen, betreffend die Fortpflanzung des Lichtes in einem rotierenden Glaskörper mitgeteilt. Einen analogen Versuch stellte zwei Jahre später Sagnac³⁾ an mit dem Unterschied, daß das Licht sich dabei nicht in Glas, sondern in Luft fortpflanzte. Die von Harress veröffentlichte Theorie des Versuches wurde von P. Harzer⁴⁾ bzw. A. Einstein⁵⁾ berichtigt und die Theorie beider Versuche wurde im Zusammenhange mit derjenigen des Fizeauschen und Zeemanschen Versuches zusammenfassend von M. von Laue⁶⁾ dargestellt. Auf Grund der berichtigten Theorie wurden die Harressschen Ergebnisse von O. Knopf⁷⁾ neu bearbeitet.

Das theoretische Ergebnis ist äußerst einfach. Auf der Peripherie eines in einem mit der Erde verbundenen Koordinatensystem ruhenden, geschlossenen Polygons laufe in einem beliebigen Medium von zwei kohärenten Lichtbündeln das eine in der einen, das andere in der entgegengesetzten Richtung herum. Nachdem beide Bündel diesen geschlossenen Lichtweg einmal durchlaufen haben, werden sie zur Interferenz gebracht. Die so entstehende Lage der Interferenzstreifen in bezug auf ein Fadenkreuz nennen wir die Nullage. Rotiert

1) Ein Bericht hierüber wurde der III. Klasse d. Ung. Akad. vorgelegt.

2) F. Harress, Inaug.-Diss. Jena 1911.

3) G. Sagnac, Journal d. Phys. (5) 4. S. 177. 1914.

4) P. Harzer, Astron. Nachr. 198. S. 377 und 199. S. 10. 1914.

5) A. Einstein, Astron. Nachr. 199. S. 9 u. 47. 1914.

6) M. von Laue, Ann. d. Phys. 62. S. 448. 1920.

7) O. Knopf, Ann. d. Phys. 62. S. 389. 1920.

nun das Polygon um eine Achse, die vom Lichtweg umschlossen wird, mit der Winkelgeschwindigkeit ω und bezeichnen wir die Fläche der Projektion des Polygons auf die zur Drehachse senkrechte Ebene mit F , so verschieben sich während der Rotation die Interferenzstreifen relativ zur Nulllage um den in Streifenbreiten gemessenen Betrag:

$$(1) \quad \Delta = \frac{4 \omega F}{\lambda c}$$

wo λ die im Vakuum gemessene Lichtwellenlänge, c die Lichtgeschwindigkeit bedeutet. Zu der Formel (1) ist zu bemerken: 1. daß bei ihrer Ableitung der Einfluß von Beschleunigungen vernachlässigt wurde. W. Wien¹⁾ hat durch eine einfache Überlegung gezeigt, daß man auf Grund der allgemeinen Relativitätstheorie dazu berechtigt ist, 2. daß, wie ersichtlich, die Streifenverschiebung von der Substanz, in welcher sich das Licht fortpflanzt, unabhängig ist.

Bei den messenden Versuchen konnte Harress mit seinem Apparat eine Winkelgeschwindigkeit von etwa 750 Touren pro Minute erreichen; dabei ergab sich etwa $\Delta = 0,2$, also verschoben sich die Streifen bei Linksdrehung gegenüber ihrer Lage bei einer Rechtsdrehung um etwa $2\Delta = 0,4$. Sagnac arbeitete mit einer maximalen Geschwindigkeit von 120 Touren pro Minute, wobei etwa $2\Delta = 0,07$ war. Die Beurteilung der Meßgenauigkeit von Sagnac ist schwer, denn es sind bloß die Resultate von 4 Messungen mitgeteilt. Jedenfalls rotierte der Apparat so langsam, daß der Effekt an und für sich klein war. Er benützte das weiße Licht einer kleinen Glühlampe. Die Bestimmung der in die Formel (1) eingehenden Wellenlänge geschah durch Vergleichung der Streifenbreiten des bei ruhendem Apparat mit der Glühlampe und mit einer Hg-Linie gewonnenen Interferenzen. Über die Stabilität seines Apparates äußert sich Sagnac in dem Abschnitt: „Précautions à prendre“ wie folgt: „Cette orientation (der bewegten Interferenzstreifen) diffère de l'orientation relative au repos et on a trouvé utile de dérégler d'avance légèrement, . . ., de façon que les franges soient un peu inclinées dans le sens convenable quand le plateau est au repos. Les franges se redressent quand le

1) M. von Laue, a. a. O. S. 456.

plateau tourne et deviennent verticales pour une fréquence convenable.“

Die einzelnen Messungen von Harress bezüglich Δ zeigen untereinander Abweichungen von 10 bis 18 $\%$. Es wurde deshalb von den Herren M. von Laue und M. Wien eine Wiederholung des Versuches angeregt. Die Mittel dazu wurden teils von der Notgemeinschaft, im wesentlichen aber von der Firma Zeiss bereitgestellt, die Apparate wurden im Zeisswerk in Jena gebaut und der Versuch daselbst ausgeführt.

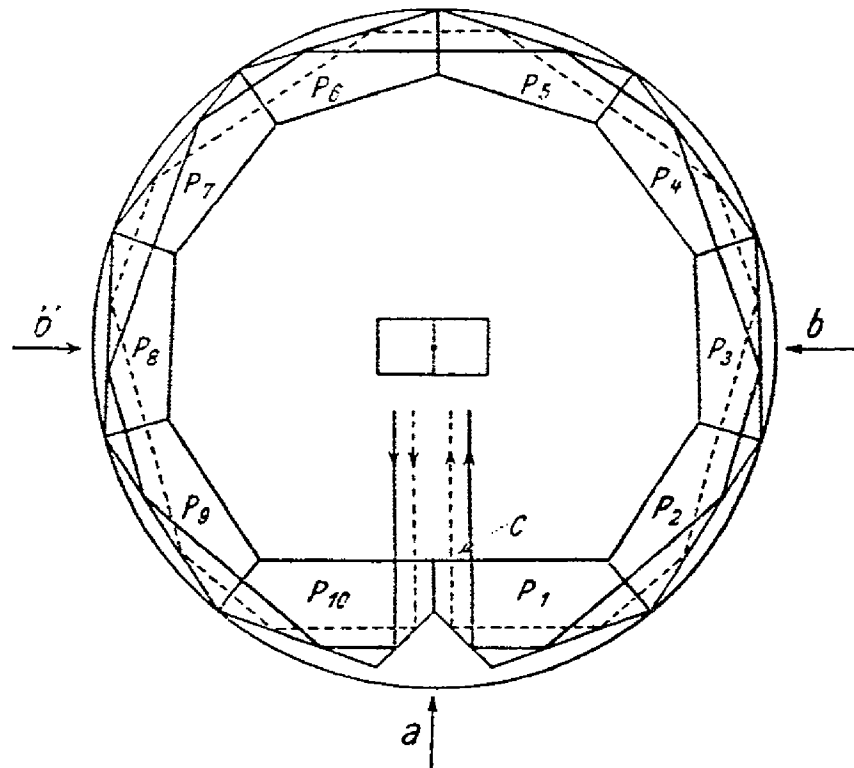


Fig. 1

Um die Gesichtspunkte, die bei der Neukonstruktion des Harressschen Apparates berücksichtigt wurden, klar hervortreten zu lassen, möchte ich mit einigen Worten auf den ursprünglichen Apparat von Harress eingehen. Der horizontale Grundriß des Apparates ist in Fig. 1 zu sehen. Das Licht lief in den Prismen P_1 — P_{10} herum. Die Einführung des Lichtes und die Trennung in zwei kohärente Bündel geschah im mittleren Prismenkörper, das, in der Richtung der Pfeile a und b betrachtet, in Figg. 2a und 2b zu sehen ist. Die Einstellung der Interferenzen, bzw. die Regulierung von deren Breite und Orientierung geschah durch das Justierprisma P_7 ,

das mit Hilfe dreier Schrauben um einen Punkt drehbar war. Das Licht trat während einer Umdrehung bloß in zwei Azimuten des Apparates, in der Richtung der Pfeile b und b' horizontal in den Apparat ein. Nachdem die beiden kohärenten Bündel den Weg im Prismenkrantz einmal zurückgelegt haben, wurden sie an der halbdurchlässigen Silberschicht im Apparat wieder vereinigt und verließen sodann in Richtung der Drehachse den Apparat, um in die photographische Kamera zu gelangen. Die Öffnung des Apparates war etwa $\frac{1}{4}$ Grad. Während einer Umdrehung von T Sek. Dauer fiel also nur während $\frac{1}{720}$ Sek. Licht durch den Apparat auf die photo-

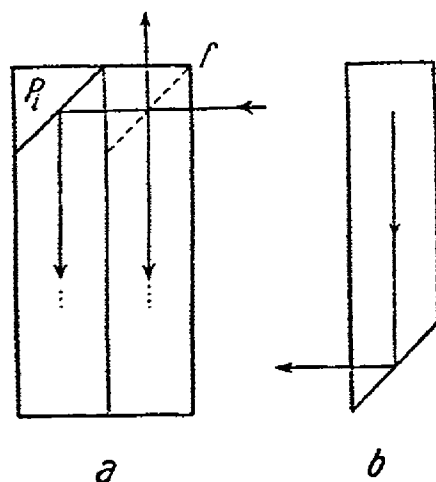


Fig. 2

graphische Kamera. Die Interferenzerscheinung war deshalb so lichtschwach, daß nur mit Bogenlicht gearbeitet werden konnte, das durch farbige Gläser filtriert wurde. Wie schon erwähnt, hat Harress eine Drehgeschwindigkeit von 750 Touren pro Minute erreicht. Bei größeren Geschwindigkeiten wurden die Interferenzen unscharf.

Bei der Sagnacschen Anordnung hat sowohl die Lichtquelle, eine kleine Glühbirne, als auch die Kamera an der Rotation teilgenommen.

Bei der Wiederholung des Harressschen Versuches trachtete ich nun danach, bei unveränderter Interferometerfläche die Drehgeschwindigkeit so weit zu steigern, daß 2Δ nahezu 1 werde. Dazu braucht man bei dem Harressschen Apparat etwa 1600 Touren pro Minute. Nun verschwanden aber nach Harress' Beobachtung die Interferenzen oberhalb 750 Touren pro Minute. Dafür konnten zwei Gründe ver-

antwortlich gemacht werden; erstens die bei höheren Tourenzahlen eintretenden Erschütterungen des Apparates, an denen die photographische Kamera nicht teilnahm, und zweitens durch die Zentrifugalkraft bewirkte Verlagerungen der das Licht reflektierenden Prismen. Um diese Gründe auszuschalten, wurde der Vorschlag gemacht, den Apparat mit „fliegender Welle“ zu bauen und das Innere mit einer Flüssigkeit auszufüllen, deren Dichte identisch ist mit derjenigen der Prismen, wodurch die Zentrifugalkräfte ausgeschaltet werden. Die

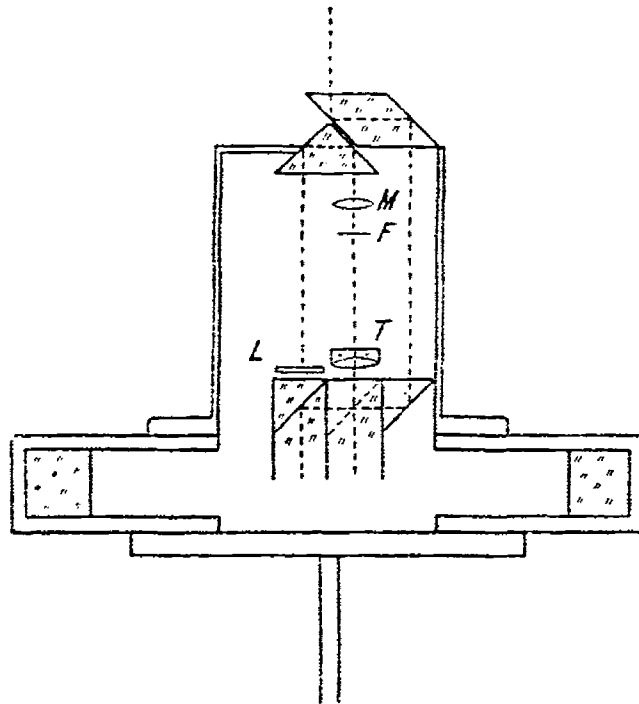


Fig. 3

kritische Tourenzahl der fliegenden Welle muß natürlich weit unterhalb der zu erreichenden Geschwindigkeit von 1600 Touren pro Minute liegen. Gleichzeitig wollte ich monochromatisches Licht anwenden. Da eine Quarz-Hg-Bogenlampe in den Apparat wohl nicht gut eingebaut werden kann, habe ich die Anordnung so gewählt, daß die Lichtquelle ruht und das Licht längs der Drehachse, also dauernd in den Apparat eintritt, die photographische Kamera dagegen, wie bei Sagnac, an der Rotation teilnimmt. Die Interferometeroptik war zunächst identisch mit derjenigen des Harressschen Apparates. Die photographische Kamera wurde oben angebaut (Fig. 3). Das parallele Licht trat längs der punktierten Linie in den Apparat. Die Interferenzen entstanden in der Brennebene F

des Tessars T . Dasselbst war eine Glasplatte mit eingeritzten Meßmarken angebracht. Die Interferenzen wurden dann samt den Meßmarken durch das Mikroplanar M (Brennweite 2 cm) auf die photographische Platte L abgebildet. Wegen der Flüssigkeitsfüllung fiel die totale Reflexion an den Außenflächen der Prismen $P_1—P_{10}$ (Fig. 1) weg und man mußte deshalb diese Flächen versilbern. Die zur Füllung verwendete Flüssigkeit durfte diese Versilberung und die innere Wand des aus Siemens-Martinstahl bestehenden Apparates, sowie die im Innern befindlichen Aluminiumteile nicht angreifen, mußte durchsichtig sein und die Dichte 3,2 haben. Von chemischer Seite wurde mir eine wäßrige Lösung von Cadmium-Boro-Wolframat empfohlen. Sie erwies sich jedoch als unbrauchbar, denn gleich nach der Einfüllung quoll sie durch das Fülloch wieder heraus. Es entwickelten sich im Apparat scheinbar Gase, die die Flüssigkeit wieder herausdrängten. Die Flüssigkeit mußte daher entfernt werden. Die Prismen wurden nun durch Vermittlung von Gummipropfen mit kräftigen Schrauben an die Außenwand gepreßt und der Apparat so in Gebrauch genommen. Der Apparat wog etwa 80 kg und wurde auf eine 16 mm dicke, vertikale Achse aufgelegt, welche ungefähr 50 cm über die oberste Führung herausragte. An das untere Ende der Welle war die Turbine befestigt. Der ganze Apparat wurde in einen Betonklotz von etwa 4 Tonnen eingebaut und war im Kellerraum des „Wolkenkratzers“ der Zeisswerke untergebracht. In der obersten Etage befand sich der Wasserbehälter. Der Wasserdruck betrug im Kellerraum etwa $4\frac{1}{2}$ Atmosphären. Zur Messung der Drehgeschwindigkeit wurde auf einen Chronographenstreifen einerseits jede hundertste Drehung des Apparates, andererseits die Sekundensignale der Sternzeituhr der Zeiss-Sternwarte registriert. Die kritische Tourenzahl des Apparates betrug etwa 600 pro Minute. Mit 1600 Touren pro Minute rotierte der Apparat tadellos, jedoch beim Durchgang durch die kritische Tourenzahl erleidete er derartige Erschütterungen, daß die Optik zugrunde ging. Um das zu vermeiden, versuchte ich, statt der Glasprismen Stahlspiegel einzubauen. Der für Spiegel besonders geeignete Krupp-sche Spezialstahl konnte damals nicht beschafft werden. Es wurde also versucht, die Spiegel aus Siemens-Martinstahl her-

zustellen. Leider gelang es nicht, im Format 4×12 cm wirklich ebene Spiegel von mindestens 1500 m Brennweite herzustellen. Die Spiegel hatten in verschiedenen Azimuten verschiedene und erheblich kleinere Brennweiten, die Interferenzen waren bei den großen Einfallswinkeln unscharf und verschwommen.

Ich mußte deshalb zu den Glasprismen zurückkehren und den Apparat unten und oben mit einer starren Drehachse versehen. Die obere Achse wurde zwecks Einführung des Lichtes durchbohrt. Gleichzeitig erhielt die photographische Kamera eine flachere Form, indem der Lichtweg vermittelt Prismen um die obere Achse gewickelt wurde. Eine weitere Verbesserung betraf die Justieranordnung des Interferometers. Die Einstellung der Interferenzen geschah bislang durch das Prisma P_i . Die Fixierung der Lage dieses Prismas mit Hilfe dreier Schrauben schien unsicher zu sein. Das Prisma P_i wurde deshalb mit dem mittleren Prismenkörper ein für allemal fest zusammengebaut und zur Einstellung der Interferenzen eine andere Anordnung in den Lichtweg eingeschaltet. Diese Anordnung bestand aus zwei kreisförmigen Glaskeilen von 4 cm Durchmesser und 3° Keilwinkel. Die Anordnung wurde bei C (s. Fig. 1) in den Lichtweg eingeschaltet und so montiert, daß jeder Keil für sich um den Lichtstrahl als Achse drehbar und in beliebiger Lage zu befestigen war. Man konnte also den Keilwinkel von 0 bis 6° kontinuierlich verändern und die dickste Stelle des Keiles in ein beliebiges Azimut um den Strahl bringen. Man konnte dadurch Breite und Orientierung der Interferenzen nach Belieben verändern. Da die Strahlrichtung an der Stelle C der Zentrifugalkraft parallel ist, so erfolgt die Drehbewegung, durch welche die Streifenbreite und die Streifenrichtung eingestellt werden, in einer zur Zentrifugalkraft senkrechten Ebene. Die Zentrifugalkraft kann also im Sinne dieser Drehung kein Drehmoment ausüben. An der Wand der photographischen Kamera wurde ein Loch von etwa 1 cm Durchmesser gebohrt; durch dieses Loch konnte das Licht, das sonst auf die Platte fiel, mittels eines, zwischen dem Tessar und dessen Brennebene angebrachten Prismas aus dem Apparat herausgeführt werden. Waren die Interferenzen parallel der Drehebene orientiert, so konnten sie durch dieses Loch mit einem, auf die Brennebene des Tessars eingestellten Fernrohr

auch während der Rotation betrachtet werden. Wurden die Interferenzen durch dieses Loch visuell betrachtet, so konnte man bei 650—700 Touren pro Minute das Verschwinden der Interferenzen beobachten. Bei derartiger visueller Betrachtung müssen die Interferenzen naturgemäß auch dann verschwinden, wenn sie aus ihrer horizontalen Lage infolge der Verlagerung einer reflektierenden Prismenfläche herausgedreht werden. Aufnahmen, die mit der mitrotierenden Kamera gemacht wurden, zeigten nun, daß dieses anfängliche Verschwinden der Interferenzen tatsächlich darauf beruht, daß die Streifen aus ihrer horizontalen Lage herausgedreht wurden, wobei auch ihre Breite zunahm. Bei noch größeren Geschwindigkeiten, bei 800—850 Touren pro Minute, wurden die Interferenzen auch auf den mitrotierenden Platten unscharf und verschwanden schließlich gänzlich. Es war jedoch bemerkenswert, daß ihre Orientierung und Breite während dieses Unscharfwerdens fast unverändert blieb. Daraus war zu schließen, daß dieses Verschwinden der Interferenzen nicht auf einer Verlagerung einer reflektierenden Prismenfläche beruht. Denn ändert man die Lage einer solchen, oder was auf dasselbe hinauskommt, dreht man den Justierkeil bei *C* und bringt man die Interferenzen dadurch zum Verschwinden, so ändert sich dabei notwendigerweise die Streifenbreite, indem sie 0 oder so groß wird, daß im Gesichtsfeld keine Streifen mehr wahrgenommen werden. Die Bilder der unscharfen Interferenzen sahen genau so aus, wie die Aufnahmen, die ich bei ruhendem Apparat mit den astigmatisch reflektierenden Stahlspiegeln erhielt. Es lag deshalb die Vermutung nahe, daß das schließliche Verschwinden der Interferenzen darauf beruht, daß die Prismen, die trotz sauberster Bearbeitung der Auflageflächen schließlich doch nur auf drei Punkten aufgelegt sind, durch die Zentrifugalkraft durchgebogen werden und also astigmatisch reflektieren. Dazu ist zu bemerken, daß ein Prisma von rund 0,6 kg Gewicht durch die Zentrifugalkraft mit rund 200 kg belastet wurde. Um dieses Durchbiegen der Prismen zu verhüten, wurde der Zwischenraum zwischen den Prismen und ihren Auflageflächen mit einem große Belastung aushaltenden Kitt ausgefüllt. Die Prismenflächen wurden mit Bleiglätte-Glycerinkitt äußerst dünn überstrichen und so an die Außenwand ge-

preßt. Dieser Kitt hat die an ihn geknüpften Hoffnungen erfüllt. Nachdem die Prismen in der oben beschriebenen Weise vermittelt des Kittes befestigt waren, erhielt ich selbst bei 2000 Touren pro Minute tadellos scharfe Interferenzen. Endgültige Messungen wurden jedoch auch mit diesem Apparat noch nicht gemacht, denn die Streifenbreite bei Bewegung unterschied sich von derjenigen bei Ruhe um mehrere Prozent der Streifenbreite.

Es wurde deshalb auf Grund aller bisherigen Erfahrungen der Bau eines dritten Apparates beschlossen. Bei heruntergenommener Deckplatte, von oben betrachtet, ist der Apparat auf Fig. 4 zu sehen. Die Anzahl der reflektierenden Flächen wurde auf ein Minimum reduziert. Es wurden bloß vier Spiegel in Anwendung gebracht und deren Befestigung mit der größten Sorgfalt ausgeführt. Das Licht trat längs der Drehachse, von oben kommend, durch die Öffnung O in den mittleren Prismenkörper P_1 des Apparates. Auf einer halbdurchlässigen Silberschicht wurde es in zwei kohärente Bündel getrennt, welche, aus P_1 heraustretend, auf das Prisma P fielen. Von da aus wurde das eine Bündel nach rechts auf den Spiegel S_1 , das andere nach links auf den Spiegel S_4 reflektiert. Die vom Licht im Interferometer umlaufene Fläche war, abgesehen von dem in Abzug zu bringenden Parallelogramm zwischen P und P_1 , ein Quadrat von etwa 353 mm Seitenlänge, in dessen Ecken die unter 45° reflektierenden Spiegel angebracht waren. Nachdem die zwei kohärenten Bündel das Quadrat einmal umlaufen haben, wurden sie auf der halbdurchlässigen Silberschicht in P_1 wieder vereinigt und zur Interferenz gebracht. Die Interferenzen entstanden in der Brennebene F des Tessars T . Dasselbe war eine dünne Glasplatte mit eingeritzten Meßmarken angebracht. Die Interferenzen wurden samt diesen Meßmarken durch das Mikroplanarobjektiv M (Brennweite 8 mm) auf die photographische Platte der Kamera K abgebildet. Die zwei Justierkeile sind bei J angebracht. Die kreisförmigen Glaspiegel sind 14 mm dick und haben einen Durchmesser von 5 cm. Auf ihrer Rückseite in der Mitte war ein Zapfen aufgeschliffen. Die Vorderseite war eben, die Rückseite, vom Zapfen abgesehen, eine Kugelfläche von 26 cm Radius. Die Innenfläche des aus Siemens-Martinstahl hergestellten, massiven

Ringes RR , mit 5×6 cm Querschnitt war ebenfalls eine solche Kugelfläche von 26 cm Radius. An entsprechenden vier Punkten wurden für die Spiegelzapfen vier Bohrungen im Ringe RR angebracht. Indem die Zapfen in diese Bohrungen versenkt wurden, legten sich die kugeligen Rückflächen der Spiegel vollkommen an die kugelige Innenfläche des Ringes RR an. Die Spiegel wurden dann justiert, an den Ring zementiert und erhielten schließlich eine Oberflächenversilberung. Da ein Teil des Interferometers, nämlich die vier Spiegel, am Ringe RR befestigt waren, der andere Teil jedoch, nämlich die halbdurchlässige Silberschicht bzw. das Prisma P , an der Grund- und Deckplatte des Apparates, so mußte für eine äußerst starre Verbindung des Ringes mit den Platten Sorge getragen werden. Die Versteifung geschah durch 18 Paar eingeschlifene und mit Schrauben anziehbare Konusse. Außer den Konussen waren noch 18 Paar kräftige Schrauben vorhanden. Die hierdurch erzielte Versteifung war derart vollkommen, daß, wenn man nach erfolgter Justierung den Apparat auseinandernahm und wieder zusammenbaute, die Interferenzen sofort, ohne jedes weitere Justieren erschienen. Ziemlich große Mühe bereitete die entsprechende Befestigung der Fassung des Prismas P . Dieselbe hatte bei 1500 Touren eine Zentrifugalkraft von rund 500 kg auszuhalten. Nach mannigfachen Versuchen kam ich mit sehr kräftigen, eingeschlifenen Konussen zum Ziele.

Die fertig zusammengebaute Anordnung ist in Fig. 5 zu sehen. L ist die Heraeus'sche Quarzquecksilberlampe, dessen Licht durch die Linse L_1 auf das Diaphragma D konzentriert wurde. Der Durchmesser des letzteren betrug 0,5 mm. Hinter D war ein Lichtfilter aus etwa 1 cm dickem Didymglas und dünnem grünen Glas angebracht, der aus dem Hg-Spektrum nur die grüne Quecksilberlinie durchließ. Das vom Tessar T_0 parallel gemachte Licht wurde vom Pentaprisma Pe_1 senkrecht zur Drehachse nach vorn geworfen. In dem Schnittpunkt der Achse dieses Bündels mit der Drehachse ist das Pentaprisma Pe_2 angebracht, das das Licht längs der Drehachse senkrecht nach unten in den Apparat wirft. C ist der Tourenzähler, von ihm führt ein Kabel zum Chronographen. T_1 ist die eine, T_2 die andere, in entgegengesetzte Richtung drehende Turbine, welche beide auf der Achse befestigt waren. Einfaches Umschalten

gestattete das Wechseln der Rotationsrichtung. V ist das Rohr der Wasserleitung.

Mit diesem Apparat wurden im Laufe des Sommers 1925 messende Aufnahmen gemacht. Solche Aufnahmen sind in Originalgröße in Fig. 6 zu sehen. Die Expositionszeit betrug 6 Min. Aufnahme 108 und 109 wurden mit der Rechts- bzw. Linksturbine bei etwa 1200 Touren pro Minute gemacht. Die Aufnahme 86 bezieht sich auf 1500, diejenige auf Fig. 7 auf 2000 Touren pro Minute. Auf den Aufnahmen 108 und 109 bezeichnen die vertikalen Pfeile die Richtung der Verschiebung der Interferenzen. Die links angebrachten kurzen, horizontalen Pfeile weisen also auf beiden Aufnahmen auf denselben Interferenzstreifen.

Da unter sonst gleichen Umständen die zu messende Verschiebung der Streifenbreite proportional ist, ist die Benutzung breiter Interferenzen vorteilhaft, wenn es gelingt, die Lage der breiten Interferenzen mit derselben Genauigkeit festzustellen, wie diejenige der engen Streifen. Zu diesem Zwecke wurde die Schwärzungskurve der breiten Interferenzen photometrisch registriert.¹⁾ Leider waren die so erhaltenen Kurven, wie Fig. 8 zeigt, gezackt. Diese Zacken rühren von feinen Staubteilchen her, die dauernd aus der Luft auf die Meßmarkenplatte zentrifugiert und mitsamt den Interferenzen auf die photographische Platte abgebildet wurden. Das bewirkte, daß die Genauigkeit dieser Aufnahmen nicht einmal diejenige der engen Interferenzen erreichte. Ich beabsichtige deshalb, diese Aufnahmen im kommenden Sommer mit Spinnfäden als Meßmarken zu wiederholen. Daß die Spinnfäden die Rotation aushalten — es handelt sich nur um etwa 1 mm lange Stücke — davon habe ich mich schon durch Versuche überzeugt.

Nach Anbringung von verschiedenen kleineren Verbesserungen wurden die Aufnahmen gemacht, deren Ergebnisse in den folgenden Tabellen mitgeteilt werden. Die Aufnahmen 82 bis 98 wurden direkt mit Komparator, die Aufnahmen 117 bis 128 auf Grund der Schwärzungskurven nach der Methode G. Hansens ausgemessen.

1) Für die Registrierung bin ich Hrn. G. Hansen zu Dank verpflichtet.

Tabelle 1.

Platten- nummer	T_{sec}	\bar{T}_{sec}	b_{mm}	\bar{b}_{mm}	X_0	$\frac{X_{01} - X_{02}}{b} = 4\bar{T}$	Δ	$\Delta - \Delta_m$
82	0,04002	0,03994	1,304	1,306	- 0,010	$\frac{1,198}{1,306} = 0,917$	0,916	- 0,001
83	0,03987		1,309		- 1,208	$\frac{1,306}{1,310} = 0,908$	0,908	- 0,009
84	0,03994	0,04001	1,316	1,310	- 0,033	$\frac{1,189}{1,310} = 0,908$		
85	0,04009		1,305		- 1,222	$\frac{1,198}{1,309} = 0,915$	0,913	- 0,004
86	0,03971	0,03990	1,313	1,309	- 0,024	$\frac{1,192}{1,309} = 0,908$		
87	0,03968	0,03969	1,313	1,312	- 0,024	$\frac{1,192}{1,312} = 0,908$	0,901	- 0,016
87	0,03968	0,03989	1,311	1,316	- 1,216	$\frac{1,199}{1,316} = 0,911$	0,908	- 0,009
88	0,04011	0,03989	1,321	1,316	- 0,017	$\frac{1,211}{1,320} = 0,917$	0,917	-
88	0,04011	0,04002	1,321	1,320	- 0,017	$\frac{1,240}{1,320} = 0,939$	0,939	+ 0,022
89	0,03993	0,04002	1,319	1,320	+ 0,012	$\frac{1,227}{1,322} = 0,928$	0,931	+ 0,014
90	0,04011	0,04014	1,322	1,322	+ 0,012	$\frac{1,224}{1,334} = 0,917$	0,911	- 0,006
91	0,04017	0,03973	1,323	1,334	- 1,215	$\frac{1,192}{1,274} = 0,935$	0,935	+ 0,018
93	0,03986	0,03998	1,327	1,274	+ 0,041	$\frac{1,175}{1,276} = 0,921$	0,898	- 0,019
94	0,03961	0,03998	1,341	1,274	+ 0,013	$\frac{1,204}{1,274} = 0,945$	0,922	+ 0,005
95	0,03976	0,03990	1,268	1,276	- 1,179			
96	0,04021	0,03900	1,279	1,273	+ 0,013			
96	0,04021	0,03900	1,273	1,276	- 1,162			
97	0,03780	0,03903	1,273	1,274	- 1,162			
97	0,03780	0,03903	1,273	1,274	+ 0,042			
98	0,04026		1,275					
Mittel = 0,917 = Δ_m								

Tabelle 2

Platten- nummer	T_{sec}	\bar{T}_{sec}	b_{mm}	\bar{b}_{mm}	X_0	$\frac{X_{01} - X_{02}}{b} = \Delta \bar{T}$	Δ	$\Delta - \Delta_m$
117	0,03993	0,04003	28,245	28,369	- 79,535	$\frac{26,193}{28,369} = 0,923$	0,924	-
118	0,04018	0,04006	28,494	28,520	- 53,342	$\frac{26,541}{28,520} = 0,928$	0,929	+ 0,005
118	0,04013	0,04000	28,494	28,574	- 53,342	$\frac{25,905}{28,574} = 0,907$	0,907	- 0,017
119	0,03998	0,03999	28,545	28,008	- 79,883	$\frac{25,393}{28,008} = 0,905$	0,905	- 0,019
119	0,03998	0,04001	28,545	28,048	- 79,883	$\frac{26,113}{28,048} = 0,931$	0,931	+ 0,007
120	0,04002	0,03997	28,603	28,206	- 53,978	$\frac{25,333}{28,206} = 0,898$	0,897	- 0,027
122	0,04003	0,03989	28,083	28,254	- 52,706	$\frac{26,157}{28,254} = 0,926$	0,923	- 0,001
123	0,03994	0,03989	27,933	28,348	- 78,099	$\frac{26,714}{28,348} = 0,942$	0,943	+ 0,019
123	0,03994	0,04003	27,933	28,326	- 78,099	$\frac{26,964}{28,326} = 0,952$	0,958	+ 0,034
124	0,04007	0,03986	28,163	28,215	- 51,986			
124	0,04007	0,03986	28,163		- 51,986			
125	0,03986	0,03986	28,249		- 77,819			
125	0,03986	0,03989	28,249		- 77,819			
126	0,03992	0,04003	28,259		- 77,319			
126	0,03992	0,04013	28,436		- 51,162			
127	0,04013	0,04025	28,436		- 51,162			
127	0,04013	0,04036	28,436		- 77,876			
128	0,04036		28,215		- 77,876			

Mittel = $0,924 = \Delta_m$

Bei der Ausmessung mit dem Komparator wurde auf jeden Streifen wie auch auf die Meßmarke 10mal eingestellt. Man erhält dann die Lage X_k des k -ten Streifens in bezug auf die Meßmarke. Indem man die Lage X_0 des 0-ten Streifens, sowie die Streifenbreite b einführt, erhält man Gleichungen von der Form

$$X_k = X_0 + kb$$

in welcher X_0 und b Unbekannte sind. Sie wurden nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt. Die Resultate sind in den zwei Tabellen zusammengestellt.

T ist die Umdrehungszeit in Sternzeitsekunden, b die Streifenbreite in Millimeter. \bar{T} und \bar{b} sind die Mittelwerte für zwei miteinander kombinierte Aufnahmen entgegengesetzter Rotation. Wo zwei aufeinanderfolgende Aufnahmen nicht kombiniert wurden, bedeutet das, daß zwischen den beiden Aufnahmen entweder die Einstellung des Fadenkreuzes, oder die Orientierung, oder die Breite der Interferenzen korrigiert wurde. Der aus den Messungen sich ergebende Wert $\Delta_{\bar{T}}$ gehört zur Umdrehungszeit \bar{T} ,

$$\Delta = \Delta_{\bar{T}} \frac{\bar{T}}{0,04}$$

gehört zur Umdrehungszeit $T = 0,04$ Sternzeitsekunden. Δ_m ist der Mittelwert der beobachteten Δ . Δ_m gehört also zur Umdrehungszeit $T = 0,04$ Sternzeitsekunden, oder $T = 0,03989$ Sek. mittlere Zeit. Bei den engen Interferenzen ist $\Delta - \Delta_m$ durchweg kleiner als 2 Proz., bei den breiten übertrifft sie an einer Stelle 3 Proz.

In den Tabellen bedeutet Δ das Zweifache der durch Formel (1) gegebenen Verschiebung, da immer zwei Aufnahmen entgegengesetzter Rotation kombiniert wurden. Den der Tabelle entsprechenden theoretischen Wert für Δ erhält man also aus

$$\Delta = \frac{8\omega F}{\lambda c}$$

Die vom Licht umlaufene Fläche ist für den Mittelstrahl

$$F = 1178 \text{ cm}^2$$

die zu $T = 0,03989$ Sek. gehörige Winkelgeschwindigkeit

$$\omega = 157,43 \frac{1}{\text{sec}}$$

substituiert man noch

$$\lambda = 546 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

und $c = 3 \times 10^{10}$ cm/sec, so erhält man

$$\Delta = 0,906$$

Die beobachteten Mittelwerte sind um 1,2 Proz. bzw. um nicht ganz 2 Proz. größer. Nach einer brieflichen Bemerkung Hrn. v. Laues, der ich durchaus beistimme, erscheint die Abweichung zwischen der berechneten und beobachteten (mittleren) Streifenverschiebung für die gute Übereinstimmung zwischen den Einzelbeobachtungen etwas groß.

Die Untersuchung ist noch nicht abgeschlossen. Außer mit der grünen Hg-Linie sollen noch Aufnahmen mit anderen Wellenlängen gemacht werden. Außerdem will ich zwischen den Spiegeln S_1 und S_2 bzw. S_3 und S_4 je eine Flüssigkeitskammer einschalten, wodurch die Größe der Verschiebung nicht beeinflußt werden darf.

Der Notgemeinschaft und vor allem den Herren der Firma Zeiss, die die Ausführung der Untersuchung im Zeisswerk ermöglichten und in der zuvorkommendsten Weise förderten, besonders den Herren Dr. W. Bauersfeld und Prof. Straubel von der Geschäftsleitung und den Herren Ob.-Ing. Meyer, Ing. Büchele und Köppen vom Konstruktionsbureau möchte ich meinen aufrichtigsten Dank aussprechen.

Besonderen Dank schulde ich Hrn. Geheimrat M. Wien für das äußerst liebenswürdige, fördernde Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte und meiner vorgesetzten Behörde, dem kön. Ung. Unterrichtsministerium, das mir die Ausführung der Arbeit in Jena in dankenswerter Weise ermöglichte.

(Eingegangen 28. März 1926)