

5. *Über scharfe Interferenzstreifen, erzeugt an keilförmigen Platten;*
von E. Gehrcke u. L. Janicki.

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

(Hierzu Taf. VI, Figg. 3—6.)

§ 1.

Im Gegensatz zu den Interferenzen planparalleler Platten, die eine weitgehende Anwendung gefunden haben, sind die Interferenzen nicht planparalleler, z. B. keilförmiger Platten in letzter Zeit weniger beachtet worden. Einer der Gründe für diese Zurücksetzung ist wohl der, daß man bisher nicht wußte, ob an keilförmigen Platten durch das Zusammenwirken vieler, reflektierter Strahlen Interferenzstreifen mit *scharfer*, nichtsinusartiger Intensitätsverteilung zustande kommen können.¹⁾ Da dies nun aber, wie wir gefunden haben, der Fall ist, und da die Anwendung keilförmiger Platten mit nicht zu großem Keilwinkel zuweilen experimentelle Vorteile vor den genau planparallelen Platten bietet, so sei im folgenden auf die Interferenzen keilförmiger Platten mit *steiler* Intensitätsverteilung näher eingegangen.

Wenn man von dem Strahlengang an einer planparallelen Platte ausgeht, so kann man sich fragen, warum bei allmählichem Übergang von der planparallelen zur keilförmigen Platte der für die erstere typische Vorgang, bei welchem eine größere Anzahl vielfacher Strahlen in einem Interferenzfelde zusammenwirkt und scharfe Interferenzstreifen erzeugt, verschwinden soll. Man wird so auf den Strahlengang der Fig. 1 geführt, welcher wohl ohne nähere Beschreibung verständlich ist und der auf den speziellen Fall Bezug hat, daß die Einfallsebene des Lichtes senkrecht zur Keilkannte der Platte *PQ* steht.

1) Über die Theorie der Interferenzen keilförmiger Platten vgl. W. Feussner, Winkelmanns Handbuch d. Physik 2. Aufl. 6. 1906; ferner Sohnecke u. Wangerin, Wied. Ann. 20. p. 177. 1883.

Hier liegen alle vielfach reflektierten Strahlen in einer Ebene, die wir die Haupteinfallsebene der keilförmigen Platte nennen wollen. Sie bilden ein *divergierendes* Strahlenbündel (Fig. 1a), wenn der zickzackförmige Strahl im Innern der Platte sich von der Keilkante entfernt; sie bilden ein *konvergierendes* Strahlenbündel (Fig. 1b), wenn der zickzackförmige Strahl im Innern der Platte sich der Keilkante nähert. Nur bei senkrechter Inzidenz und in der Nachbarschaft derselben läßt sich der Gang der Lichtstrahlen weniger einfach erläutern. Man erkennt auch leicht, daß für einen gegebenen Einfallswinkel

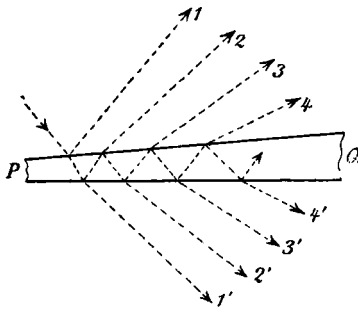


Fig. 1a.

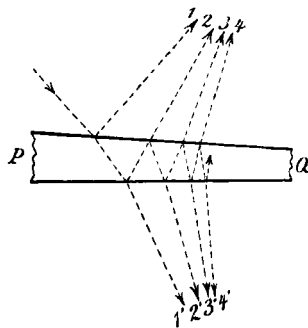


Fig. 1b.

der Ort, wo sich die divergierenden oder konvergierenden Strahlen schneiden, um so weiter von der Platte entfernt sein muß, je kleiner der Keilwinkel der Platte ist; beim Keilwinkel 0 würden die Schnittpunkte der Strahlen ins Unendliche rücken und wir hätten den Fall der planparallelen Platte vor uns. Die vielfachen Strahlen werden sich im Falle keilförmiger Platten *nicht* wie bei den planparallelen Platten *genau* in einem Punkte schneiden; dies wird nur *angenähert* der Fall sein können. Wenn aber nachgewiesen wird, daß trotzdem *hinreichend scharfe* Interferenzstreifen entstehen, so steht der praktischen Anwendung der keilförmigen Platten nichts im Wege.

§ 2.

Auf Grund der in § 1 angestellten Überlegungen wird man schließen, daß an einer geeigneten keilförmigen Platte im Falle der Fig. 1a *virtuelle* Interferenzstreifen entstehen

werden, die, von einer die vielfachen Strahlen auffangenden Linse aus gerechnet, *hinter* der Platte liegen; im Falle der Fig. 1b dagegen sollten *reelle* Interferenzstreifen zustande kommen, die, von einer die Strahlen auffangenden Linse aus gerechnet, *vor* der Platte liegen.

Diese Folgerung haben wir mit mehreren, durchsichtig versilberten, keilförmigen Platten experimentell bestätigen können, sowohl indem wir mit unbewaffnetem Auge auf einen bestimmten Ort im Raum, der je nach Lage der Keilkante, entsprechend den Figg. 1a und 1b, hinter oder vor der Platte lag, akkommodierten, als auch, indem wir mit Hilfe einer Linse, die die vielfachen Strahlen vereinigte, bei geeigneter Lage derselben eine Bildebene fanden, in der Interferenzen auftraten. Im Falle, daß der Strahlengang der Fig. 1b vorlag, ließ sich ohne Hilfe von irgendwelchen Linsen die Interferenzerscheinung *objektiv* auf einem in bestimmter Entfernung von der Platte aufgestellten Schirm auffangen. Die Interferenzen waren der Keilkante parallel und besonders deutlich mit durchsichtig versilberten Plattenoberflächen im „durchgehenden Licht“ zu beobachten, d. h. (Fig. 1a und 1b) mit Benutzung der Strahlen 1', 2', 3' ... Die Streifen ließen sich bei einem Strahlengang gemäß Fig. 1b einer Reihe von Zuschauern gleichzeitig objektiv demonstrieren. Die Versuchsanordnung war dann die durch Fig. 2 dargestellte, wo L die Lichtquelle (Quecksilberlampe nach Lummer), PQ die keilförmige Platte, S den Schirm bedeutet, auf dem die Interferenzen erscheinen. Zur Verstärkung der Helligkeit empfahl es sich, zwischen Lichtquelle und Platte eine Kondensorlinse C einzufügen.¹⁾ Die Entfernungen betrugen z. B.:

L bis PQ 140 cm, PQ bis S 20 cm.

Die zur Verfügung stehenden fünf kreisrunden Keilplatten hatten Durchmesser von 3 cm; die Keilwinkel betrugen

	$\vartheta = 2' 46'', 1' 37'', 0' 37'', 0' 40'', 0' 28''$				
die zugehörigen Dicken	$d = 1,77$	1,88	0,99	6,28	14,19 mm
die Brechungsindizes für Natriumlicht	$n =$				1,5184 1,5137 1,5167

In Figg. 3 und 4, Taf. VI sind die in der an zweiter Stelle genannten Keilplatte ($d = 1,88$ mm) entstehenden Inter-

1) Die Linse C ist indes keineswegs notwendig.

ferenzstreifen photographiert, indem der Schirm *S* der Fig. 2 durch eine photographische Platte ersetzt wurde; eine Linse befand sich hier nicht im Strahlengang (Linse *C* der Fig. 2 war also fortgenommen). In Fig. 3, Taf. VI war noch vor die Quecksilberlampe ein geradsichtiges Prisma gesetzt, so daß nur die grüne Linie $546\ \mu\mu$ auf die Keilplatte fiel; Fig. 4, Taf. VI zeigt die Übereinanderlagerung der gesamten Strahlung der Quecksilberlampe. Man erkennt aus beiden Aufnahmen die große Schärfe der Interferenzstreifen, welche bei keilförmigen Platten bisher unbekannt war.

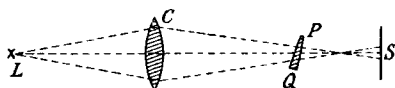


Fig. 2.

Wenn das Licht *außerhalb* der oben definierten Haupteinfallsebene verlief, entstanden keine scharfen, sondern nur verwaschene Interferenzstreifen, deren Unschärfe um so größer war, je weiter man sich von der Haupteinfallsebene entfernte; diese Streifen lagen aber stets parallel der Keilkante. Außer diesen Interferenzen wurden zuweilen noch andere, sehr verwaschene Streifen beobachtet, die gegen die Keilkante geneigt waren.

Platten mit nichtebenen Oberflächen zeigen ebenfalls bei beiderseitiger, durchsichtiger Versilberung *scharfe* Interferenzstreifen im durchgehenden Lichte. Insbesondere haben wir solche mit der Newtonschen Anordnung einer schwach konvexen Linse (0,25 Dioptrien), die gegen eine ebene Glasplatte gedrückt war, erhalten können; die Oberflächen der plankonkaven Luftplatte, welche zwischen Linse und Platte gebildet wird, waren durchsichtig versilbert. Die scharfen Interferenzringe lagen in der Platte selbst und konnten im durchgehenden Licht beobachtet und photographiert werden.

Zur Erzeugung von Interferenzpunkten lassen sich die beschriebenen Interferenzstreifen ebenfalls verwenden. In Fig. 5, Taf. VI sind Interferenzpunkte photographiert, gewonnen durch Kreuzung einer 5,03 mm dicken, planparallelen Glasplatte von 20 cm Länge (in einem Interferenzspektroskop nach Lummer

und Gehrcke) mit der oben genannten, 1,88 mm dicken, keilförmigen Platte, die beiderseitig durchsichtig versilberte Oberflächen hatte; die Versilberung war mittels Kathodenzerstäubung hergestellt und ergab, wie auch bei P. P. Koch¹⁾, ausgezeichnete Reflexion des Lichtes; demgemäß konnten scharfe Interferenzpunkte entstehen. Die keilförmige Platte war hier in ca. 10 cm Abstand vor den Spalt des Interferenzspektroskops gesetzt; man sparte also hier die Linse zwischen der Platte und dem Spalt. Zur Erzielung größtmöglicher Schärfe der Erscheinung konnte die Keilplatte vermittelst einer geeigneten Justiervorrichtung um kleine Winkel gedreht werden.

Wir erhielten auch scharfe Interferenzstreifen, als wir auf eine keilförmige Platte ein kleines Glasprisma aufklebten und die Platte als Interferenzspektroskop nach Lummer und Gehrcke, mit streifend zur Keilfläche austretendem Lichte, verwandten. Auch Interferenzpunkte ließen sich durch Kombination dieser Anordnung mit einer durchsichtig versilberten, keilförmigen Platte erzeugen. Hieraus wird man den Schluß ziehen dürfen, daß bei der technischen Herstellung von planparallelen Platten, die als Interferenzspektroskop nach Lummer und Gehrcke Verwendung finden sollen, weniger Wert auf die genaue Parallelität, als vielmehr auf genaue *Planheit* der Flächen zu legen ist. Denn ein nicht zu großer Keilwinkel von einigen Sekunden wird nur in *dem* Sinne wirken, daß die Bildebene, in der die Interferenzen liegen, im Raume rückt, d. h. daß die Einstellung des Beobachtungsfernrohres eine andere ist, als bei genau planparalleler Platte. Die Schärfe der Erscheinung wird hierdurch nicht in praktisch merklichem Betrage verringert. Dies ist ein Schluß, den, wie bemerkt sein mag, bereits früher O. Lummer vermutungsweise gezogen und mündlich geäußert hat.

Es sei hier noch bemerkt, daß sich natürlich auch zwei keilförmige, durchsichtig versilberte Platten kreuzen und zur Erzeugung von Interferenzpunkten verwenden lassen. Allerdings ist die Erscheinung dann ziemlich lichtschwach. In Fig. 6, Taf. VI ist eine derartige Erscheinung photographiert, bei der die beiden Keilplatten von 1,77 und 1,88 mm Dicke in einem

1) P. P. Koch, Ann. d. Phys. 34. p. 377. 1911.

Abstand von ca. 10 cm hintereinander gestellt waren; sie erzeugten in einer Ebene, in welcher als Marke eine Federpose aufgestellt war (vgl. Fig. 6, Taf. VI), in etwa 10 cm Abstand Interferenzpunkte von zwei nahezu einander parallelen Streifensystemen. Auf diese Ebene wurde der photographische Apparat scharf eingestellt. Man beobachtet hier Interferenzpunkte, die den Anschein erwecken, als ob sie von mehr als zwei Streifensystemen erzeugt werden, welche um *große* Winkel gegeneinander geneigt sind. Diese Erscheinung ist vielleicht mit den von Hrn. Koerber¹⁾ beschriebenen „Moiréstreifen“ verwandt.

§ 3.

Wir haben versucht, die oben beschriebenen Interferenzen, die durch *mehrfache* Reflexion im Innern der Platte entstehen, mit den aus zwei Strahlen gebildeten, von Feussner, Wangerin und Sohncke diskutierten Interferenzstreifen keilförmiger Platten mit sinusförmiger Intensitätsverteilung zu vergleichen. Zunächst wurde die Abhängigkeit, in der die Entfernung E der Interferenzebene von der Keilplatte zum Einfallswinkel der Lichtstrahlen steht, für zwei Keilplatten (Platte I: $d = 1,77$ mm, $\vartheta = 2' 46''$; Platte II: $d = 1,88$ mm, $\vartheta = 1' 37''$) in der Haupteinfallsebene untersucht. In Fig. 7 sind die erhaltenen Messungsergebnisse graphisch dargestellt; Abszisse ist die Entfernung E von der beiderseitig durchscheinend versilberten Keilplatte, Ordinate ist der Einfallswinkel α des einfallenden, parallel gemachten Lichtes. Positiven Werten von E (rechts) entsprechen reelle, negativen E (links) virtuelle Interferenzstreifen. Die Punkte bezeichnen die experimentell bestimmten Orte im Raume, an denen die Interferenzen die größte Schärfe haben. Die Kurven sind gemäß der Feussnerschen Formel²⁾:

$$E = \frac{\sin \alpha \cdot \cos^2 \alpha}{n^2 - \sin^2 \alpha} \cdot \frac{d}{\vartheta}$$

konstruiert, die für das in der Haupteinfallsebene (senkrecht zur Keilkante) verlaufende Licht bei *zwei* interferierenden

1) F. Koerber, Naturwiss. Wochenschr. 1907. p. 17.

2) Vgl. Winkelmanns Handbuch I. c. p. 963.

Strahlen gilt. Wie aus Fig. 7 zu schließen ist, gilt diese Formel nicht nur für zwei interferierende Strahlen, sondern, soweit die Meßgenauigkeit reicht, auch für die aus einer größeren Anzahl vielfacher Strahlen gebildeten Interferenzen, die nur in der Haupteinfallsebene der Keilkante scharf sind.

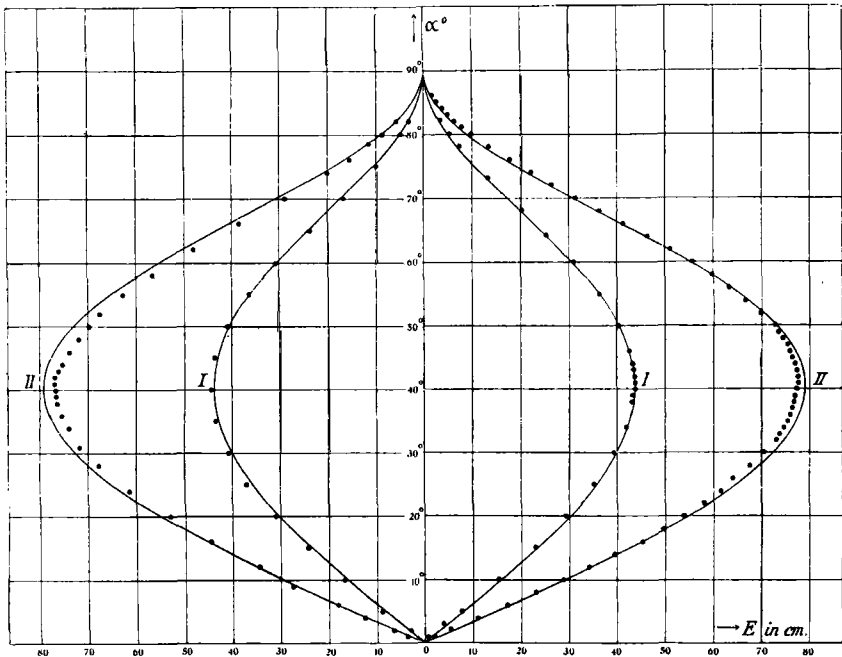


Fig. 7.

Die Abweichungen der beobachteten Punkte von den theoretischen Kurven sind am größten in der Nähe der Maxima von E und erklären sich vielleicht durch Fehler in der Planheit der den Keil begrenzenden Flächen; es wurden experimentell an den benutzten Keilplatten Fehler des Keilwinkels bis $8''$ festgestellt.

Ferner wurde die Abhängigkeit des Abstandes s der Interferenzstreifen (Streifenbreite) vom Einfallswinkel α untersucht; die Beobachtungen wurden mit den soeben genannten zwei Keilplatten I und II angestellt und sind in Fig. 8 durch Punkte

dargestellt. Hier bedeutet wieder die durchgezogene Linie eine theoretische Kurve nämlich:

$$s = \frac{\lambda}{2 \vartheta} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}.$$

Diese Formel ergibt sich aus der von Feussner¹⁾ abgeleiteten, wenn man die dort auftretende, im Strahlengang befindliche

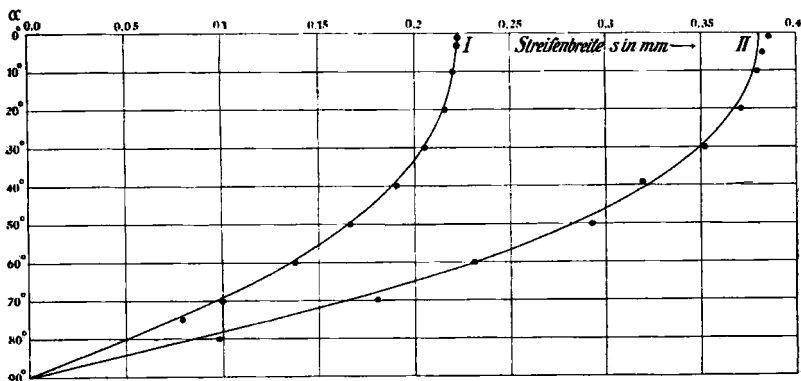


Fig. 8.

Linse ∞ dünn annimmt, ihr die Brennweite ∞ gibt und sie in die Vorderfläche der Keilplatte gesetzt denkt. Dem entspricht, daß sich bei diesen Versuchen, wie auch bei den obigen, durch Fig. 7 dargestellten, keine Linse im Strahlengang befand. Die Wellenlänge war Hg $546 \mu\mu$; die beobachteten Punkte liegen auch hier nahe bei der theoretischen Kurve.

Aus diesen Versuchen an keilförmigen Platten ist zu schließen, daß der Ort und der Abstand der aus *vielen* Strahlen gebildeten *scharfen* Interferenzstreifen mit dem Ort und dem Abstand der von nur zwei interferierenden Strahlen gebildeten Interferenzen mit *sinusartiger* Intensitätsverteilung innerhalb der Beobachtungsfehler zusammenfällt. Wir haben also auch hierin eine Analogie zu den Interferenzen planparalleler Platten.

1) Vgl. Winkelmanns Handbuch I. c. p. 967.

(Eingegangen 19. Juni 1912.)

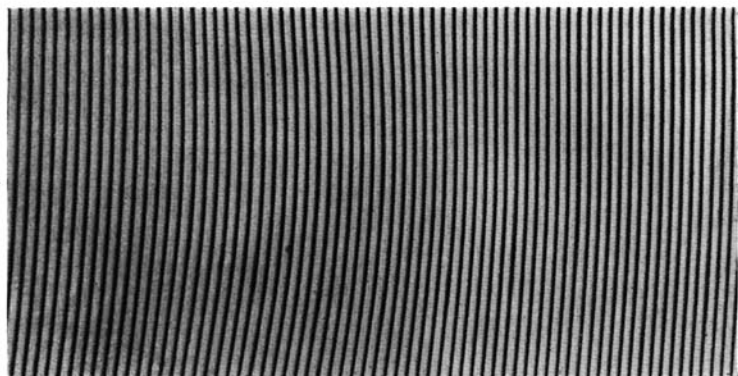


Fig. 3. Hg $\lambda = 546 \mu\mu$.

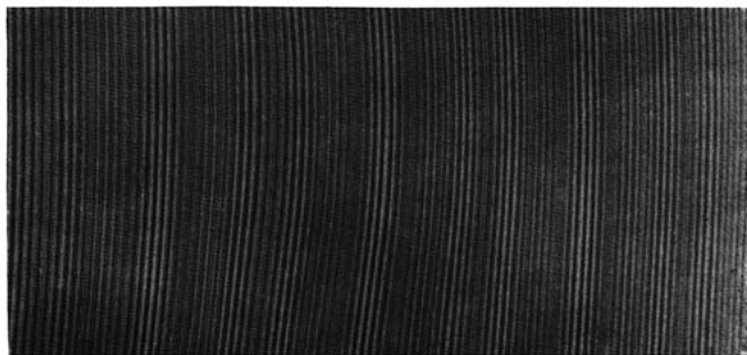


Fig. 4.

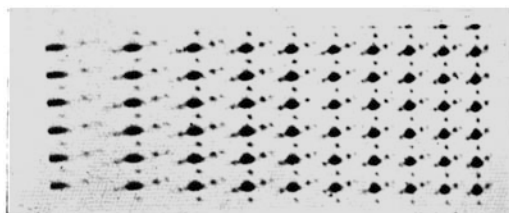


Fig. 5. Hg $\lambda = 546 \mu\mu$.

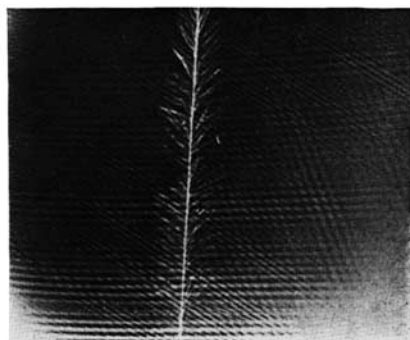


Fig. 6.