

Über ein Interferenzrefractometer

(II. Mittheilung)

Ludwig Mach.

(Mit 1 Tafel und 15 Textfiguren.)

I. Vorbemerkungen.

1. In diesen Sitzungsberichten¹ habe ich ein von mir construirtes und in dem mechanischen Theil² auch von mir selbst ausgeführtes Interferenzrefractometer beschrieben. Über das Verhältniss meiner Arbeit zu jener von Zehnder,³ beziehungsweise über die Unabhängigkeit meiner Construction, über deren Eigenthümlichkeit und den besonderen Zweck des Apparates ist an den angeführten Orten das Wesentliche angegeben. Eine Unterstützung von Seiten der kaiserl. Akademie, die ich hier dankend hervorheben muss, hat es möglich gemacht, den Apparat mit grösseren quadratischen Plangläsern von 10 *cm* Seite und 15 *mm* Dicke auszustatten.⁴ Mit diesen habe ich seither mehrere Versuchsreihen durchgeführt, und konnte hiebei neue Erfahrungen sammeln. Hierin, sowie in dem Umstande, dass meine erste Publication etwas früher stattfinden musste,

L. Mach, Über ein Interferenzrefractometer. Diese Sitzungsberichte, Bd. CI, Abth. II. a, Jänner 1892. — Vergl. auch die vorläufige Mittheilung im akad. Anzeiger vom 5. November 1891.

² Die ausführliche Beschreibung des mechanischen Theiles siehe in »Zeitschrift für Instrumentenkunde«, Berlin 1892. März.

³ Vergl. »Zeitschrift für Instrumentenkunde«, Berlin 1891. August.

⁴ Die Platten wurden in hoher Vollkommenheit von der Firma C. A. Steinheil Söhne in München hergestellt. Den Inhabern der Firma Herrn Dr. Adolf und Rudolf Steinheil bin ich für die eben so sorgfältige als vorzügliche Ausführung zu grösstem Danke verpflichtet.

als ich es beabsichtigt hatte, liegt der Anlass zu dieser neuen Mittheilung.

2. Alle Interferenzversuche beruhen im Wesentlichen darauf, dass durch irgend welche optische Mittel zwei Bilder L_1L_2 derselben Lichtquelle L hergestellt werden, welche als cohärente Lichtquellen wirken. Die Symmetrieebene von L_1L_2 enthält alle Punkte mit dem Gangunterschiede Null. Die Flächen gleichen Gangunterschiedes bilden eine Schaar von confocalen Rotationshyperboloiden mit den Brennpunkten L_1L_2 . Schneidet man diese Schaar durch eine Ebene E , welche als Schirm dient, oder welche durch einen optischen Apparat abgebildet wird, so schneidet E jene Schaar in Kegelschnitten, welche je nach der Stellung von E zwei, einen oder keinen unendlich fernen Punkt haben, also Hyperbeln, Parabeln oder Ellipsen sind. Eine zu L_1L_2 parallele E gibt z. B. hyperbolische, eine zu L_1L_2 senkrechte E hingegen kreisförmige Interferenzstreifen.

Bei dem Fresnel'schen Spiegelversuch und den verwandten Versuchsformen liegen L_1L_2 für den Beobachter nebeneinander, bei dem Lummer'schen¹ Versuch hintereinander. Letzterer stellt eben einen besonderen Fall der kreisförmigen Interferenzstreifen vor.

3. Ist L keine punktförmige Lichtquelle, sondern besteht L aus einem System von Punkten, so erhält man so viele Interferenzstreifensysteme, als L Punkte enthält, welche Systeme sich im Allgemeinen gegenseitig verwischen. Nur unter besonderen Bedingungen ist ein System von leuchtenden Punkten zulässig, z. B. beim Fresnel'schen Versuch eine Spalte, welche der Durchschnittslinie der Spiegel parallel ist.

Verfolgt man den Strahlenkegel, welcher von einem Punkte des Newton'schen Glases in die Pupille des Auges gelangt, nach rückwärts, so sieht man, dass derselbe — wegen der geringen Dicke der farbengebenden Luftschichte — von zwei sich fast deckenden Strahlenkegeln herrührt, wobei jeder Richtung eines Strahles ein anderer leuchtender Punkt als Lichtquelle entspricht. Die Cohärenzbedingung ist hier bei beliebig ausgedehnter Lichtquelle von selbst erfüllt. Diese Eigenschaft

überträgt sich auf die Brewster-Jamischen Platten, welche Anordnung als eine Combination von zwei planen Newton'schen¹ Gläsern angesehen werden kann, und ebenso auf den hier zu behandelnden Interferenzapparat. Bei den Versuchen, welche eine ausgedehnte Lichtquelle zulassen, tritt die störende Rolle der Beugung ganz zurück.

II. Das Schema des Apparates.

4. Das theoretische Schema meines Interferenzapparates lässt sich am einfachsten in folgender Weise darstellen. Wir legen durch die Ecken $abcd$ (Fig. 1) eines Rechteckes vier einfache, parallele, reflectirende, beziehungsweise brechende Ebenen $P_1S_1P_2S_2$ unter 45° gegen die Rechteckseiten. In Wirklichkeit sind bei meinem Apparat, zum Unterschied von jenem Zehnder's, P_1P_2 Glasplatten, von deren Dicke wir hier zunächst absehen, S_1S_2 aber einfache Spiegel. Der kürzlich von Albert Michelson² beschriebene

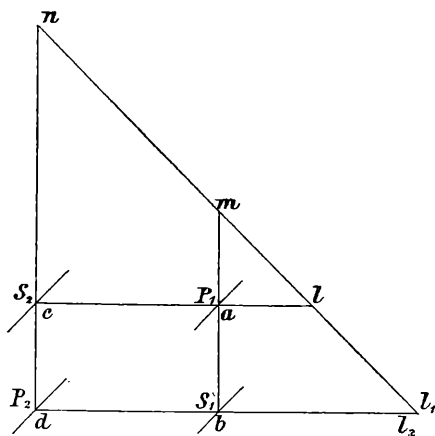


Fig. 1.

Apparat scheint sich von dem meinigen nur dadurch zu unterscheiden, dass P_1P_2 eine Platte bilden. Ein Lichtpunkt l spiegelt sich an P_1 in m und hierauf an S_1 in l_1 . Ebenso spiegelt sich l an S_2 in n und hierauf an P_2 in l_2 , wobei l_1 und l_2 zusammenfallen. Die Dreiecke lam , $mbll_1$ u. s. w. sind durchaus rechtwinklig und gleichschenkelig; P_1 , S_1 u. s. w. stellen deren Symmetrieebenen dar. Eine geringe Verdrehung einer der Ebenen $P_1S_1P_2S_2$ bewirkt, dass die Bilder l_1 , l_2 nebeneinander fallen, womit die Bedingung zum Auftreten von Interferenzstreifen gegeben ist.

¹ Vergl. Mach und v. Wehrtrubsky. Diese Sitzungsberichte, Bd. 78, II. Abth., Juli 1878. — Mach, über die Stefan'schen Nebenringe am Newton'schen Farbenglas. Diese Sitzungsberichte, Bd. 67, II. Abth., April 1873.

² Bulletin de la Société Française de Physique, 5^{me} Mai 1893.

5. Verfolgt man ausser den eben betrachteten von l (Fig. 2) ausgehenden Strahlen noch andere, so sieht man, dass keine neuen Fälle entstehen, wenn man die parallelen Platten durch die Ecken eines beliebigen Parallelogrammes legt; der früher

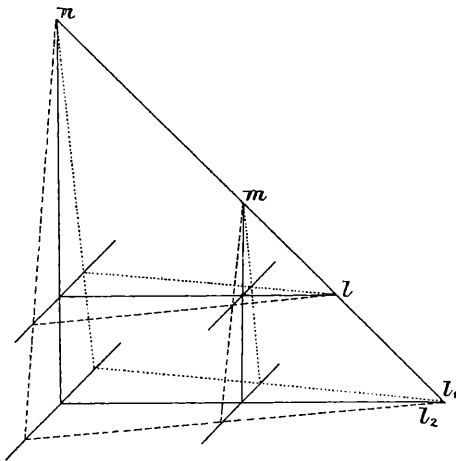


Fig. 2.

erörterte Fall enthält diese schon in sich. Hiernach ist theoretisch die Justirung des Apparates eine sehr einfache. Man stellt drei der Ebenen, z. B. P_1 , S_2 , P_2 (Fig. 3) in beliebigen Entfernungen $S_2P_1 = m$, $S_2P_2 = n$ parallel. Stellt man S_1 ebenfalls parallel und macht P_2S_1 ebenfalls $= m$, so ist auch $P_1S_1 = n$ und die Justirung ist vollendet. Hierbei liegen P_1 und S_1 beziehungsweise auf derselben Seite von S_2 und P_2 . Verschiebt man S_1 im Sinne des gefiederten Pfeiles um p , so kann die Störung sowohl durch die entgegengesetzte Verschiebung von S_2 aufgehoben werden, als auch durch die

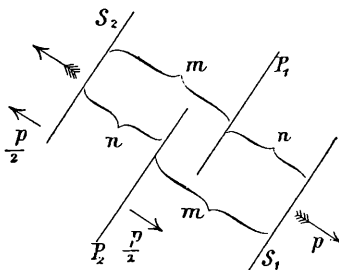


Fig. 3.

beiden Verschiebungen $\frac{p}{2}$ im Sinne der glatten Pfeile.

6. In der Figur 4a sind die beiden interferirenden Bündel I und II, soweit dieselben reell sind, beziehungsweise durch die Schraffirung $///$ und \equiv angedeutet.

Ein Hauptvorzug des Apparates, welchen derselbe mit dem Jamin'schen gemein hat, besteht darin, dass die beiden Bündel zwischen den Platten des Apparates virtuell in einander, in Wirklichkeit aber das eine ausserhalb des anderen verlaufen. Dadurch ist es möglich z. B. bei E eine verzögernde Einschaltung in das eine Bündel allein vorzunehmen, und bei

optischer Accommodation auf E zugleich doch auch die Streifen deutlich zu sehen. Bewirkt die Einschaltung eine von Stelle zu Stelle wechselnde Verzögerung, so ist dies an der Verkrümmung der Streifen deutlich zu sehen.¹

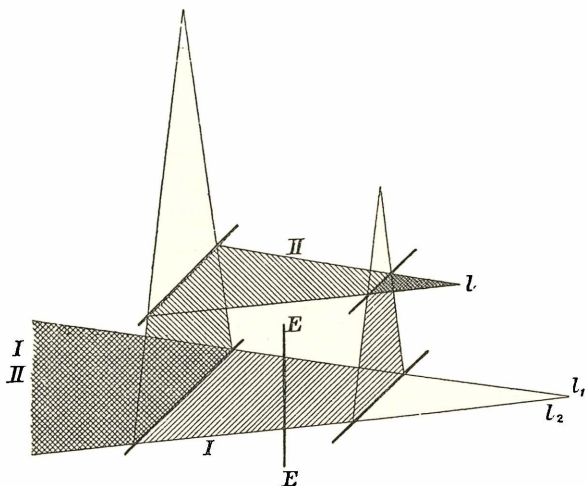


Fig. 4a.

Bei jener Classe von Interferenzversuchen, welcher der Fresnel'sche Versuch angehört, ist ein derartiger Vorgang unmöglich. Nimmt man eine Einschaltung E_1 in das Bündel I (Fig. 4 b) allein vor, so wird das ganze Streifen-system verschoben. Dasselbe wird verwischt, wenn E_1 nicht an allen Stellen dieselbe Verzögerung bewirkt. Eine Einschaltung E_2 aber in dem Überdeckungsfeld von I, II ist selbstredend unwirksam.

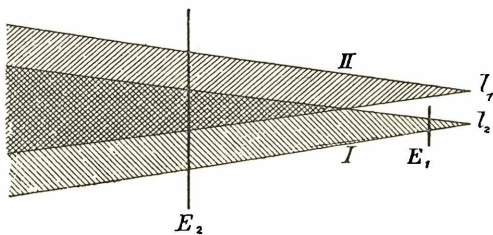


Fig. 4b.

7. Ein Vorzug meines Apparates vor dem Jamin'schen besteht darin, dass bei ersterem die interferirenden Bündel

¹ Vergl. Mach und v. Weltrubsky, Über die Formen der Funkenwellen. Diese Sitzungsber., Bd. 78, II. Abth., Juli 1878.

beliebig weit getrennt, und das Feld für die Interferenz und die verzögernde Einschaltung leicht sehr gross gemacht werden kann. Könnte man die Dicke der Platten P_1P_2 ohne allzugrossen technischen Aufwand verschwindend klein machen, wie dies in der ersten Mittheilung angegeben ist,¹ so wären diese Vortheile ohne weitere Umstände gegeben. Aber auch bei dickeren

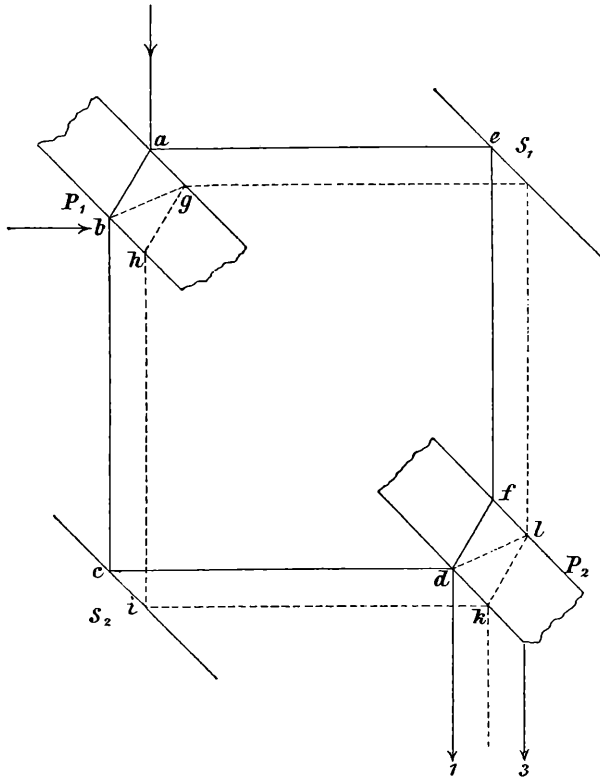


Fig. 5.

Platten P_1P_2 kann man dieselben mit einem Opfer an Lichtintensität leicht erreichen. Um dies deutlich zu machen, muss der Gang der Strahlen in den Platten genauer verfolgt werden.

8. Das bei a (Fig. 5) einfallende Licht nimmt einerseits den Weg $abcd$, anderseits $aefd$. Bei vollkommenen Platten und vollkommener Anordnung im oben angegebenen Sinne haben die

¹ Diese Sitzungsber., Bd. 101, Abth. II a (1892), S. 7, 10.

Lichter beim Zusammentreffen in d den Gangunterschied Null. Ein Theil des Lichtes geht aber auch über $abghik$, und der entsprechende über $aefdlk$. Auch diese Lichter, welche durch je eine Platte dreimal gegangen sind, haben unter obiger Bedingung den Gangunterschied Null. Dasselbe gilt von den Lichtern, welche je eine Platte fünfmal, siebenmal u. s. w. durchsetzt haben. Weicht man von der obigen Bedingung etwas ab, so treten in jedem der Bündel 1, 2, 3, . . . Interferenzen auf und zwar selbstredend in jedem etwas von den anderen verschiedene.

Hiemit sind aber die Interferenzen nicht erschöpft. Wir denken uns alles vom Spiegel S_1 reflectirte Licht abgeblendet, und betrachten die Strahlenwege $bcdlk$ und $bghik$. Die betreffenden Lichter kommen in k zwar mit ungleicher Intensität an, verhalten sich aber ihrem Gange nach so, als ob beide von einem nach der Pfeilrichtung bei b einfallenden Lichte herrühren würden. Man erhält matte Streifen, welche der durch den Spiegel S_2 vermittelten Interferenz an den beiden Jamin'schen Platten P_1P_2 entspricht. Dieselben sind neben den vorher erwähnten Streifen in dem Bündel 2 immer sichtbar. Denken wir uns ebenso alles von S_2 reflectirte Licht abgeblendet, so sehen wir ein weiteres mattes Jamin'sches System, welches durch den Spiegel S_1 vermittelt wird, und das ebenfalls immer in dem Bündel 2 vorhanden ist. Sind die Spiegel S_1 und S_2 nicht absolut parallel, so können die beiden Jamin'schen Systeme nicht identisch sein. Wir wollen ein Streifensystem, das durch die Zusammenwirkung beider Spiegel S_1, S_2 entsteht ein Vierplattensystem, ein Streifensystem aber, bei dem nur ein Spiegel S_1 oder S_2 mitwirkt, zum Unterschied ein Zweiplattensystem nennen.

9. Das Bündel 1 enthält also nur ein Vierplattensystem, das Bündel 2 ein Vierplatten- und zwei Zweiplattensysteme; wie letzteres verhält sich auch das Bündel 3, 4 u. s. f. Das Zweiplattensystem ist nur durch den Parallelismus der concurrirenden Platten bedingt, und die Entfernungen sind für dasselbe ganz gleichgiltig. Es kommt also auch viel leichter zustande, ist fast immer zu sehen, und man darf sich durch dasselbe nicht täuschen lassen. Es reagirt nur auf die Bewegung eines der beiden Spiegel S_1 oder S_2 , während das Vierplatten-

system, welches bei meinen Versuchen immer allein in Frage kommt, auf die Bewegung beider Spiegel S_1 , S_2 reagirt, und sofort verschwindet, wenn man das von S_1 oder von S_2 reflectirte Licht abblendet.¹

10. Sieht man durch den genügend justirten Apparat gegen eine ausgedehnte Lichtquelle, z. B. den hellen Himmel mit dem blossen Auge hindurch, so erblickt man alle Streifensysteme, welche noch genügende Lichtstärke haben, zugleich im Felde. Ausserdem geben Einschaltungen aus selbstverständlichen Gründen mehrfache gegen einander verschobene Bilder. Nur wenn P_1P_2 unendlich dünn wären, würden die Zweiplattensysteme verschwinden, die Vierplattensysteme identisch werden, und die mehrfachen Bilder in eines zusammenfallen. In diesem Falle allein wäre eine ausgedehnte Lichtquelle ohneweiters zu verwenden.

11. Bei Platten P_1P_2 von endlicher Dicke, wie in unserem Fall, muss der Apparat in anderer Weise gebraucht werden. Auf die Platte P_1 fällt das divergirende Licht eines leuchtenden Punktes oder vielmehr einer kleinen Lichtquelle. Jedem der austretenden Strahlen 1, 2, 3, entsprechen nun ebenso viele Lichtkegel, welche von den virtuellen Bildern der Originallichtquelle auszugehen scheinen. Ist diese in endlicher Entfernung, so liegen die 1, 2, 3, entsprechenden virtuellen Bilder für den Beobachter (Fig. 5) von links nach rechts geordnet in Abständen nebeneinander, welche durch die Plattendicke bestimmt sind. Die zugehörigen Lichtkegel können so angesehen werden, als wenn dieselben durch Parallelverschiebung aus einander hervorgegangen wären. Fasst man die austretenden Strahlen mit einer achromatischen Linse ab, so dass von jenen virtuellen Bildern reelle Bilder in der umgekehrten Ordnung 3, 2, 1, entworfen werden, so ist es nun leicht, das Licht von 1 allein hindurch zu lassen, und die übrigen Lichter abzublenden.² Das Licht 1 enthält nämlich, wie gesagt, nur das reine Vierplattensystem. Fällt es in das Auge oder den photographischen Apparat, so bildet sich bei der Accommodation

¹ Diese Sitzungsberichte, Bd. 101, Abth. II a (1892), S. 8.

A. a. O. S. 8.

auf irgend eine Ebene E (Fig. 4 *a*) das derselben zugehörige Streifensystem rein und das ganze Feld erfüllend ab. Selbstredend besteht jedes der eben erwähnten Bilder 1, 2, 3. . . genau genommen aus je einem Paar, dessen Glieder sehr nahe aneinanderliegen, die aber desto weiter getrennt sind, je feinere Interferenzstreifen man herstellt.

12. Verwendet man anstatt eines Lichtpunktes eine ausgedehnte kleine Lichtquelle, welche durch die kleine Gerade l dargestellt ist, so hat man an der Construction Fig. 1 nur wenig zu ändern. Sämmtliche Bilder von l liegen zwischen

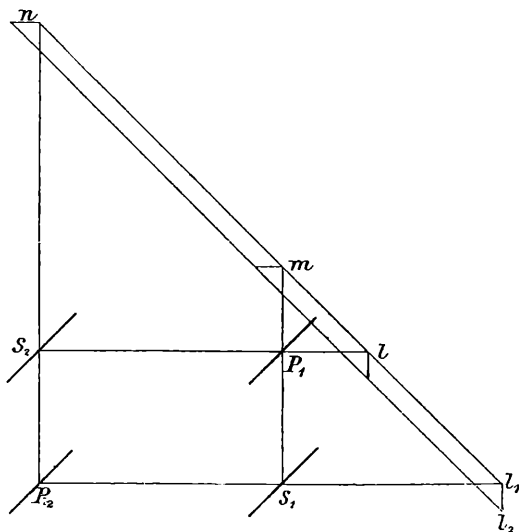


Fig. 6.

parallelen durch den Umfang des Flächenstückchens l gelegten Geraden. (Fig. 6.) Eine zu grosse Ausdehnung der Lichtquelle l zieht bei der zuletzt angegebenen Versuchsanordnung die Verwischung der Streifen nach sich. Einem leuchtenden Punkt gehört nämlich ein System von hyperboloïdischen Interferenzflächen an. Bewegt sich der Punkt, so bewegt sich das System. Ist die ganze Bahn des Punktes von genügender Ausdehnung mit leuchtenden Punkten besetzt, so muss Verwischung eintreten.

Dies kann sehr leicht durch den Versuch erläutert werden. Man entwirft in l ein grösseres Sonnenbild, verdeckt dasselbe durch einen kleinen in seiner Ebene drehbaren Schirm mit einer

geradlinigen Spalte S (Fig. 7), über welchem sich senkrecht zur Spaltenrichtung ein zweiter Schirm mit einer V -förmigen Spalte vv verschieben lässt. So werden zwei leuchtende Punkte hergestellt, die man von einander entfernen, und deren Verbindungs-

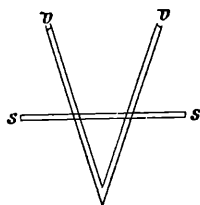


Fig. 7.

linie man beliebig drehen kann. Man sieht dann zwei Streifensysteme, welche bei der Bewegung abwechselnd coincidiren und alterniren, und kann empirisch die zulässige Ausdehnung der Lichtquelle ermitteln.¹

13. Das Gesagte widerspricht nicht der Thatsache, dass beim freien Durchblicken durch den Interferenzapparat gegen eine ausgedehnte Lichtquelle (den hellen Himmel) Streifen sichtbar sind. In diesem Falle gehören die einzelnen Strahlen verschiedener Richtung, welche in die Pupille des Auges gelangen, verschiedenen Elementen der Lichtquelle an, und jedem Element des nun sichtbaren Streifensystems entspricht ein anderes

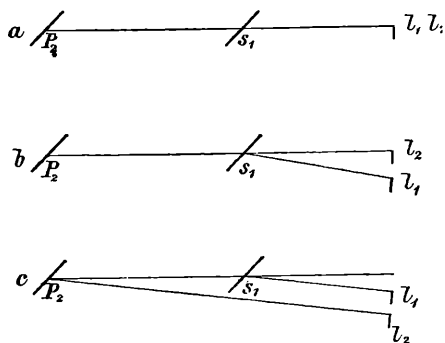


Fig. 8.

Element der Lichtquelle.

Wird die Pupille zu weit, oder beobachtet man durch ein Fernrohr von grösserer Öffnung, so tritt ebenfalls Verwischung ein. Man kann überdies bei dieser Beobachtungsweise, ausser wenn man Theile des Gesichtsfeldes abblenden will, nicht verhindern, dass Streifen-

systeme verschiedener Art und Ordnung zugleich gesehen werden.

14. Eine Eigenthümlichkeit meines Apparates besteht in einer grösseren Freiheit der Einstellung anderen Interferenzapparaten gegenüber, durch welche wieder eine grössere Umständlichkeit der Justirung bedingt ist. Gehen wir von dem Fall

¹ Dieses Verfahren benützt Prof. E. Mach seit Jahren zur Erläuterung des Fresnel'schen Spiegelversuches in den Vorlesungen.

aus, in welchem die beiden virtuellen Bilder $l_1 l_2$ der kleinen Lichtquelle l von endlicher Ausdehnung vollkommen zusammenfallen (Fig. 8 a). Dreht man S_1 ein wenig, so trennen sich die beiden Bilder, und es treten Streifen auf. Da jedoch nur je zwei homologe Punkte von l_1 und l_2 cohärentes Licht liefern, so stören sich im Allgemeinen die verschiedenen Streifensysteme. In Folge der Drehung des einen Bildes gegen das andere bildet die Symmetrieebene der rechts liegenden Ränder der Bilder mit der Symmetrieebene der links liegenden Ränder einen Winkel. Beide Symmetrieebenen durchschneiden sich in der Drehaxe von S_1 , wo auch die Streifensysteme am besten coincidiren (Fig. 8 b). Hebt man die Verdrehung der Bilder, ohne die Verschiebung zu vernichten, dadurch auf, dass man S_1 und P_2 um denselben Winkel dreht, so rückt der Durchschnitt der erwähnten Symmetrieebenen in unendliche Entfernung (Fig. 8 c). Durch passende Wahl der beiden Drehungen bringt man den Durchschnitt und damit die reinsten Streifen an die Stelle E , auf welche eben optisch eingestellt wird. Beim Fresnel'schen Spiegelversuch fällt der Durchschnitt der beiden Symmetrieebenen stets mit der Durchschnittslinie der beiden Spiegel zusammen, während derselbe hier an eine beliebige Stelle vor oder sogar hinter die Bilder $l_1 l_2$ fallen kann. Von Wichtigkeit ist die Rücksicht auf diesen Umstand besonders dann, wenn man mit schmalen Streifen operirt, welche bei Nichtbeachtung dieses Verhältnisses leicht ganz matt und undeutlich werden.

III. Mechanik und Justirung.

15. Über den mechanischen Theil des Apparates ist in der »Zeitschrift für Instrumentenkunde«¹ das Nothwendigste bereits mitgetheilt und die Justirung ist in meiner älteren Mittheilung² schon besprochen. Hier sollen einige Ergänzungen folgen, welche durch kleine Änderungen am Apparat und durch neue Erfahrungen bedingt sind.

Die Platten $P_1 S_1 P_2 S_2$ (Fig. 9 a, b) sind längs zweier Schienen ab , cd grob verschiebbar. Jede Platte kann um eine verticale

¹ Zeitschr. für Instrumentenkunde. Berlin. 1892, März.

Diese Sitzungsberichte, Bd. 101, Abth. II a., Jänner 1892.

und um eine horizontale Axe mikrometrisch gedreht werden, und S_1 ist auch noch längs ab mikrometrisch verschiebbar. Die Schienen ab , cd sitzen auf einem (gewöhnlich) horizontalen Ring R und cd ist um eine verticale und horizontale Axe

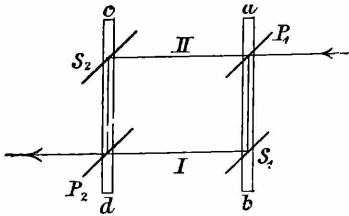


Fig. 9a.

etwas verschiebbar zu machen. Der Überfluss an Bewegungen ist aber durchaus nicht unangenehm.

mikrometrisch drehbar. Letztere Bewegung ist neu hinzugekommen, und wird durch eine Hebelvorrichtung mit der Schraube H vermittelt. Theoretisch würde es genügen, die eine Platte z. B. P_1 fest, die drei anderen um je zwei Axen beweglich, und die eine

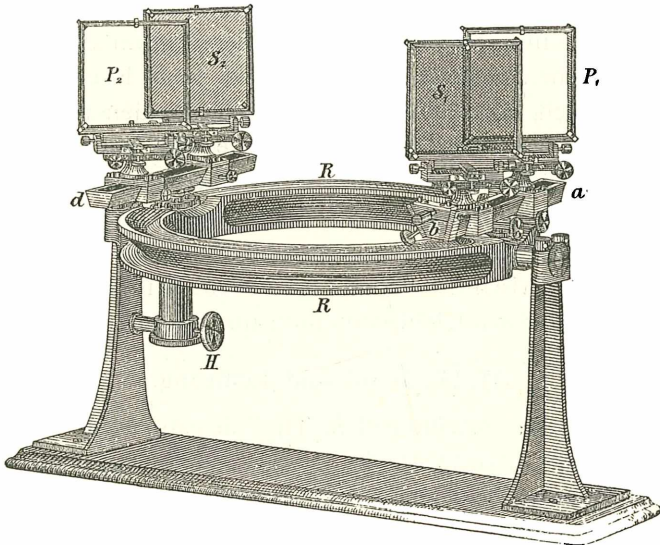


Fig. 9b.

16. Der zweckmässigste Vorgang der Justirung ist folgender. Man stellt alle vier Platten mit Hilfe des Fernrohres und eines sehr fernen Objectes parallel, in der Weise, wie dies in den früheren Mittheilungen¹ beschrieben wurde. Dann muss die

¹ A. a. O.

Verschiebung der einen Platte S_1 längs ab zur Vollendung der Justirung genügen.

Damit die Entfernung der Platte S_1 von den übrigen schon von Anfang an nicht zu unrichtig sei, tragen die Mittelpunkte der oberen Plattenrahmenseiten punktförmige Marken (Kenner), welche mit Hilfe des Stangenzirkels und der erwähnten Bewegungen paarweise gleichgemacht werden. Dann geht man erst an die Verschiebung von S_1 .

Sind alle Platten genau parallel und man verschiebt S_1 längs ab (ohne den Parallelismus zu stören), so bewegt sich das Bild l_1 längs der Geraden l_2lmn (Fig. 10) und muss durch l_2 durchschlagen. Letzteres findet natürlich genau niemals statt.

Weicht S_1 (von oben gesehen) im Sinne des Uhrzeigers nur wenig vom Parallelismus ab, so bewegt sich

l_1 auf der Geraden mk , welche zur Ebene von S_1 senkrecht steht; bei entgegengesetzter Abweichung läuft l_1 auf der Geraden mhl . Kommt bei dieser Bewegung l_1 in eine auch l_2 enthaltende Ebene vv , welche fast normal auf der Visirrichtung (S_1S_2) steht, so treten die mittleren Interferenzstreifen mit kleinem Gangunterschied im Feld auf. Dieselben sind augenscheinlich zu fein, um wahrgenommen zu werden, wenn die Abweichung vom Parallelismus merklich ist.

17 Es sollen nun einige bequeme optische Hilfsmittel zur Vollendung der Justirung angegeben werden. Man bringt eine vertikale feine Spalte vor P_1 , lässt auf dieselbe intensives paralleles Licht (Sonnenlicht oder elektrisches Licht) fallen, blendet alle Bündel bis auf das mit 1 bezeichnete ab, und betrachtet in diesem die Spalte durch ein Ocularprisma mit gerader Durchsicht. Ist S_1 nahe genug an der richtigen Stellung, so sieht man im Spectrum feine Streifen, die man durch

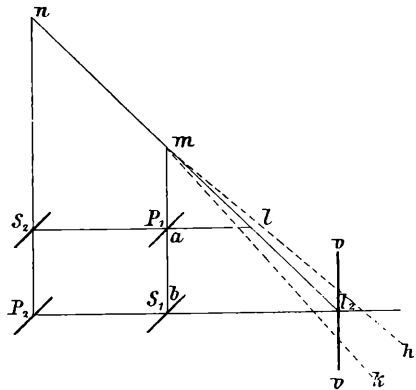


Fig. 10.

Verschiebung von S_1 verbreitert, wobei die Interferenzstreifen von kleinem Gangunterschied in's Feld rücken.

Die anderen optischen Justirungen werden ebenfalls am bequemsten bei intensivem Licht ausgeführt. Auf die sehr kleine Öffnung eines Schirmes Σ (Fig. 11) vor der Platte P_1 lässt man das durch eine Linse gesammelte Licht fallen. Hinter P_2 steht eine achromatische Linse (photographisches Objectiv), welches von den einzelnen vorher mit 1, 2, 3... bezeichneten Bündeln reelle Bilder entwirft. Steht S_1 noch nicht an der richtigen Stelle, so besteht jedes der Bilder deutlich aus einem Paar. Indem man die Platte S_1 so schiebt, dass die Doppelbilder in einfache zusammengehen, kann man die sichtbaren Interferenzstreifen hervorrufen, oder denselben doch sehr nahe

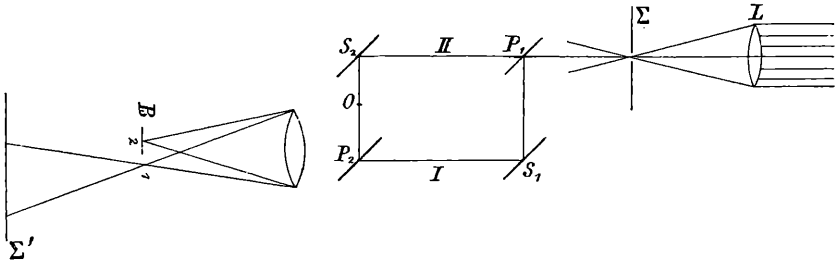


Fig. 11.

kommen. Die Beobachtung der Streifen kann man ausführen, indem man das Auge nach 1 bringt, oder, wenn das Licht intensiv genug ist, das Bündel 1 neben einer Blende B vorbei auf einen Schirm Σ' fallen lässt. Man kann auch unmittelbar hinter B den photographischen Apparat anbringen.

18. Das Vierplattensystem ist ausserordentlich empfindlich. Nicht nur hat wegen der weiten Trennung der interferierenden Bündel jeder Luftzug¹ einen sehr störenden Einfluss, sondern die Streifen werden, wenn sie noch nicht vollkommen eingestellt, oder noch matt (Vergl. 14) sind, durch die leisen Erzitterungen des Apparates unsichtbar, zuweilen selbst dann, wenn derselbe mit Filzunterlage auf einen Stein gestellt und auf die Platten $P_1P_2S_1S_2$ eine Dämpfung in Form

¹ Die Heliostatenöffnung wurde deshalb durch eine Glasplatte geschlossen.

eines mit Filz beklebten Holzrahmens aufgelegt wird. Doch erleichtern diese Mittel wesentlich die Beobachtung.

19. Bei der oben beschriebenen Anwendung des Ocularprismas kann man wegen der angeführten Umstände die Streifen nicht immer entdecken. In diesem Falle schreitet man zweckmässig zur monochromatischen Beleuchtung des Feldes. Eine rohe aber intensive monochromatische Beleuchtung, welche bei den später erwähnten photographischen Versuchen verwendet wurde, erhält man, wenn zwischen die achromatische in's Sonnenlicht gestellte Linse L und den Schirm Σ mit der Öffnung (Fig. 11) einfach in den engeren Theil des Lichtkegels ein Prisma mit gerader Durchsicht eingeschaltet wird. Besser ist die monochromatische Beleuchtung, wenn das auf Σ fallende Linsenbild selbst schon die Abbildung eines durch Blendung verkleinerten Sonnenbildes ist.

Viel reiner wird die monochromatische Beleuchtung durch folgendes Verfahren. In der Öffnung des Schirmes Σ (Fig. 12) bringt man die kleine Ob-

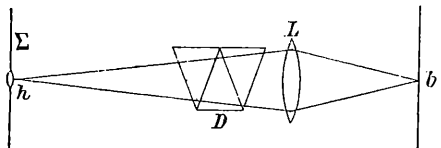


Fig. 12.

jectivlinse h eines Mikroskopes, bildet durch L auf derselben die Fensterladenspalte b scharf ab, und bringt dann in den Lichtkegel das Prisma mit gerader Durchsicht D . Von h geht nun ein monochromatischer Lichtkegel von grosser Öffnung aus. Bei dieser Anordnung sind die Interferenzstreifen, welche gerade über das ganze Feld laufen, von wunderbarer Schönheit, und dieselben sind schon bei mangelhafter Justirung des Apparates sichtbar, welche nun leicht vollendet werden kann.

Dreht man nämlich D so, dass die Beleuchtung mit Licht von zunehmender Brechbarkeit erfolgt, so sieht das Auge in 1 die Streifen gegen die Stelle des kleineren Gangunterschiedes rücken. Bewegt man dann S_1 so, dass die der vorigen entgegengesetzte Bewegung der Streifen eintritt, so bekommt man allmählig den Gangunterschied Null in's Feld.

Man kann noch in etwas anderer Weise verfahren. Mit dem durch den Fensterladenspalt eindringenden Licht wird durch eine Linse und ein unmittelbar vor derselben stehendes

Prisma D auf der Platte P_1 ein reines intensives Spectrum, und durch die achromatische Linse hinter P_2 das Bild des Prismas D mit dem Querschnitt des noch dünnen, dasselbe durchsetzenden weissen Lichtbündels entworfen. Dieses Bild ist so oft vorhanden, als Bündel 1, 2, 3. sichtbar sind. Blendet man alle Bilder bis auf 1 ab, so sieht man auf einem Schirm, oder wenn man das Auge nach 1 bringt, ein Stück eines von Interferenzstreifen durchzogenen Spectrums. Dreht man das Prisma D ein wenig so, dass brechbarere Farben an dieselbe Stelle fallen, und beobachtet die Verschiebung der Streifen, so hat man an dem Apparat die entgegengesetzte Verschiebung einzuleiten. Die hier erwähnten spectralen Methoden verwendet Prof. E. Mach seit Jahren sowohl zur Justirung von Interferenzapparaten als auch zu Vorlesungsversuchen. Dieselben beruhen im wesentlichen alle auf Newton's Versuch mit dem Farbenglas im Spectrum.

20. Hat man die Streifen im Felde, so handelt es sich nur darum, denselben die gewünschte Breite, Richtung, Lage und



Fig. 13.

Schärfe (Farbensättigung) zu geben. Zum Zweck der Orientirung verwende ich ein an einer Holzgabel befestigtes dünnes Glimmerblatt (Fig. 13), welches in eines der Bündel I, II eingeführt werden kann, und dann eine Verschiebung um einige Streifenbreiten bewirkt. Sind die Streifen vertical, so liegen die Bilder $l_1 l_2$ in einer Horizontalen nebeneinander. Es liegt l_1 für den Beobachter mit dem Auge in 1 rechts, wenn die Einführung des Glimmers in I die Streifen nach rechts verschiebt. Um die Streifen schmaler zu machen muss dann der Spiegel S_1 , welcher nur auf das Bild l_1 wirkt, von oben gesehen im Sinne des Uhrzeigers (um eine verticale Axe) gedreht werden. Bei horizontaler beziehungsweise schiefer Streifenrichtung liegen $l_1 l_2$ vertical übereinander beziehungsweise schief nebeneinander. Drehung von S_1 um eine Horizontalaxe ändert dann die Breite und bei schiefer Anfangslage der Streifen auch die Richtung derselben. Versucht man l_1 und l_2 zur Deckung zu bringen, so gelingt dies selbstverständlich nicht vollkommen

genug, indem dieselben sehr nahe aneinander vorbeigehen, wobei die Streifen sich drehen. Bei grösstmöglicher Annäherung von l_1 und l_2 erhält man sehr breite, durch die nun hervortretenden Plattenfehler stark verkrümmte Streifen. Was über die Lage der Bilder $l_1 l_2$ gesagt wurde, lässt sich bei sehr kleiner Lichtquelle auch an dem Bilderpaar 1 beobachten (vergl. 17).

Man bemerkt leicht, dass durch den Spiegel S_2 das Bild l_2 allein bewegt wird. Zwar kann man l_2 auch durch Drehung von P_2 in Bewegung setzen, es versteht sich aber, dass dann P_2 auch auf l_1 nach Art eines Compensators wirkt. Würde es gelingen durch Verschiebung und Drehung von S_1 das Bild l_1 für den Beobachter hinter l_2 zu bringen, so müsste die Ringform der Interferenzstreifen hervortreten. Mit weissem Licht ist dieser Versuch schwer ausführbar, weil dann gerade die schwächsten Farben der höchsten Ordnung in der Mitte des Feldes und in der Nähe des Ringcentrums stehen, wobei man die Streifen überhaupt leicht verliert. Ich habe jedoch den Versuch angestellt, indem ich vor der kleinen Öffnung in Σ (Fig. 12) eine Natriumflamme als Lichtquelle verwendet, und in das Bündel I eine 15 *mm* dicke Planplatte eingeschaltet habe. Man erhält dann sehr schöne Ringe, ähnlich wie beim Lummer'schen Versuch, jedoch unter anderen Bedingungen. Ablendung des Bündels I oder II bringt die Ringe zum Verschwinden, welche also ein Vierplattensystem vorstellen.

Wenn der Apparat gut justirt ist, und man lässt das Licht von 1 und 2 auf den Schirm Σ' gelangen, so sieht man zwei an Breite etwas verschiedene Vierplattensysteme, sich unter einem kleinen Winkel kreuzend durch's Feld gehen. Dies beweist, dass die beiden virtuellen Bilder $l_1 l_2$, welche dem Bündel 1 entsprechen, nicht genau dieselbe Lage und Entfernung gegen einander einhalten, wie die virtuellen Bilder des Bündels 2. Liegen erstere genau in einer Horizontalen, so ist dies bei letzteren nicht genau der Fall. Dies erklärt sich durch einen relativen kleinen Keilfehler der Platten P_1 und P_2 , welcher für das einmal und für das dreimal die Platten $P_1 P_2$ durchsetzende Licht in ungleichem Maasse sich bemerklich machen muss.

21. Will man das Streifensystem im Feld verschieben, so ist Folgendes zu beobachten. Liegt l_1 für den Beobachter in

Fig. 11 rechts von l_2 , so wird l_1 durch Verschiebung von S_1 im Sinne ba dem Bilde l_2 , zugleich aber dem Beobachter genähert. Dadurch wird die Symmetrieebene von $l_1 l_2$ und mit derselben das ganze Streifensystem für den Beobachter nach links über das Feld geführt. Dreht man das Plattenpaar $P_2 S_2$ mit Hilfe der Schiene cd um eine durch o gelegte Verticalaxe von oben gesehen im Sinne des Uhrzeigers, so macht l_2 die Parallelbewegung zu der von l_1 ausgeführten, wodurch das Streifensystem wieder zurückwandert (vergl. 5). Dies ist aus unserer Grundconstruction (Fig. 1) sehr leicht ersichtlich. Die Umkehrungen liegen auf der Hand.

Wird das Plattenpaar $S_2 P_2$ mit Hilfe der Schraube H (Fig. 9 *b*) für den in der Richtung $P_2 S_2$ blickenden Beobachter um die Schiene cd als Axe im Sinne des Uhrzeigers gedreht, so wird, wie dieselbe Construction lehrt, l_2 gesenkt und etwas dem Beobachter in 1 genähert. Liegt l_1 wieder rechts von l_2 , so drehen sich für den Beobachter die Streifen verkehrt wie der Uhrzeiger, und rücken der rechten oberen Ecke des Feldes näher.

Wie die Schärfe und Farbensättigung der Streifen in der zu beobachtenden Ebene E zu erreichen ist, wurde schon in 14 besprochen und durch Fig. 8 erläutert. Es möge noch erwähnt werden, dass bei tiefsatten Farben in den beiden mittleren dunklen Streifen (zwischen denen der Gangunterschied Null liegt) eine feine tuschschwarze geschlängelte Linie zu sehen ist. Diese ist für mich ein sicheres Kennzeichen der höchsten Farbensättigung.

22. Beim praktischen Gebrauch des Apparates ist noch zu beachten, dass die Mikrometerschrauben trotz ihrer geringen Ganghöhe ($\frac{1}{60}$ eng. Zoll und $\frac{7}{40}$ mm) noch etwas zu grob sind, wesshalb man stets sehr langsam und vorsichtig drehen muss, ohne einen Seitendruck auszuüben. Bei einer Neuconstruction würde sich, wenn man die Complication nicht scheut, die Anwendung von Tangentialschrauben empfehlen. Auch die Erwärmung durch die angenäherte Hand macht sich bemerklich, und man muss deshalb nach jeder Drehung und Entfernung der Hand stets die endliche Einstellung abwarten. Eine häufig bei der Justirung beobachtete Erscheinung besteht darin, dass

nach der Drehung und Absetzung der Hand die Streifen eine Zeit lang noch in demselben Sinne spontan sich weiter bewegen. Es dürfte dies in dem Widerstand der Schmierung liegen, welche nur allmählig dem durch die Schraube gesetzten Druck nachgibt. Auch wenn der Apparat nicht berührt wird, wandern die Streifen langsam bei Temperaturveränderungen, kommen aber bei derselben Temperatur auch wieder in ihre frühere Lage zurück.

Die Spiegel S_1S_2 bestehen bei meinem Apparat aus oberflächlich versilberten Plangläsern. Dieselben sind unmittelbar nach der Versilberung und ersten Politur von wunderbarer Reinheit, leiden aber durch die mechanischen und chemischen Insulten, welchen dieselben bei den Versuchen ausgesetzt sind, und müssen oft neu versilbert werden.¹ Vielleicht wäre es empfehlenswerth, dieselben durch Metallspiegel zu ersetzen.

IV. Anwendungen des Apparates.

23. Die Anwendbarkeit des Apparates ist eine sehr mannigfaltige und dieselbe ist durch meine bisher ausgeführten Versuchsreihen, welche in einer vorläufigen Mittheilung² schon aufgezählt wurden, sicherlich nicht erschöpft. Über die Ergebnisse dieser Versuche kann ich nur nach und nach berichten. Hier soll zunächst ein gemeinsames Princip derselben besprochen, und die Anwendung des Apparates lediglich durch ein in der Tafel dargestelltes Beispiel erläutert werden.

24. Wir denken uns das ganze Gesichtsfeld des Apparates mit geraden, monochromatischen, äquidistanten z. B. verticalen Interferenzstreifen überzogen. Der Gangunterschied Δ wechselt hier von Stelle zu Stelle, und ist in Wellenlängen (λ) ausgedrückt

¹ Spiegel und Planplatten wurden nach jedem Versuch mit Cartonkappen bedeckt. Zwei derselben, die zur Bedeckung der Spiegel dienten, waren mit Filtrirpapier, das Spuren von Bleiacetat enthielt, ausgeklebt. Dieser Kunstgriff rührt von Dr. O. Lohse in Potsdam her, und hat sich bei mir vorzüglich bewährt. Die im März 1893 versilberten Spiegel, die den Pulvergasen von circa 200 Schüssen ausgesetzt waren, sind heute noch (Septemb. 1893) ganz gut brauchbar.

durch $\Delta = a + \frac{\lambda}{b} \cdot x$, wobei a der Gangunterschied in Wellenlängen an dem einen verticalen Gesichtsfeldrande, x die horizontale Entfernung der betreffenden Stelle von diesem Rande und b die Streifenbreite bedeutet. Schaltet man irgend ein durchsichtiges Object in das Bündel I ein, so wird im allgemeinen ein von Stelle zu Stelle wechselnder positiver oder negativer Gangunterschied D hinzugeschaltet. Hiedurch werden die Streifen verkrümmt. Ist das eingeschaltete Object kleiner als das Feld, so bleiben in dem nicht bedeckten Theile des Feldes die Streifen geradlinig, und man kann den Sinn und das Ausmaass der Verkrümmung durch Verfolgung eines jeden Streifens in den bedeckten Theil des Feldes hinein ermitteln, und so die an jeder Stelle eingeführten Gangunterschiede D auswerthen. Dieselben betragen in Wellenlängen so viel, als die Verschiebung in Streifenbreiten beträgt.

Diese Überlegung führt zu einer sehr einfachen Interpretation des Bildes. Wir legen an der Einschaltungsstelle senkrecht zur Lichtrichtung durch das Object eine Ebene E , und tragen an jeder Stelle derselben das positive und negative D nach der einen oder anderen Seite als Ordinate auf, wobei wir als Maass der Wellenlänge die Streifenbreite benutzen. Die optische Wirkung des Objectes wird so veranschaulicht. Da aber die Ordinate D stets der Grösse und dem Sinne nach der Streifenverschiebung gleich ist, können wir uns durch jeden Streifen eine gegen E um 45° geneigte Ebene E' legen, auf welche wir nach der Lichtrichtung die Streifen projiciren. Die Streifen verkrümmen und verschieben sich dann sozusagen in den Ebenen E' , und geben unmittelbar die Endpunkte der D -Ordinaten an. Mehrere Beispiele hiefür zeigt die Tafel. Die Gesammtheit der D -Ordinaten bestimmt eine Fläche F , welche die optischen Eigenschaften des eingebrachten Objectes ersichtlich macht.

Die Ebene E , sowie die Schar der Ebenen E' seien (Fig. 14) durch deren senkrechte Schnitte mit der Zeichnungsebene dargestellt. Denkt man sich umgekehrt die Fläche F gegeben, so sind die Schnitte derselben mit den Ebenen E' , auf E projicirt, die deformirten Interferenzstreifen. Die Schnitte der

F aber mit einer Schar zu E parallelen Ebenen, welche aus den ersteren Curven abgeleitet werden können, sind die Curven gleichen Gangunterschiedes. Auf die Ermittlung der letzteren wird die Untersuchung meist ausgehen.

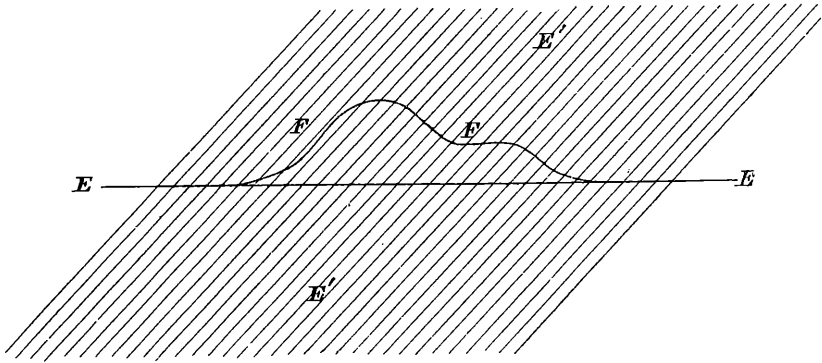


Fig. 14.

Enthält die Fläche F kegelförmige Erhebungen oder Vertiefungen (Fig. 15), so kann dieselbe eine Reihe der E' auch in geschlossenen ringförmigen Curven schneiden. Dies bildet insofern einen schwierigeren Fall, als man bei monochromatischem

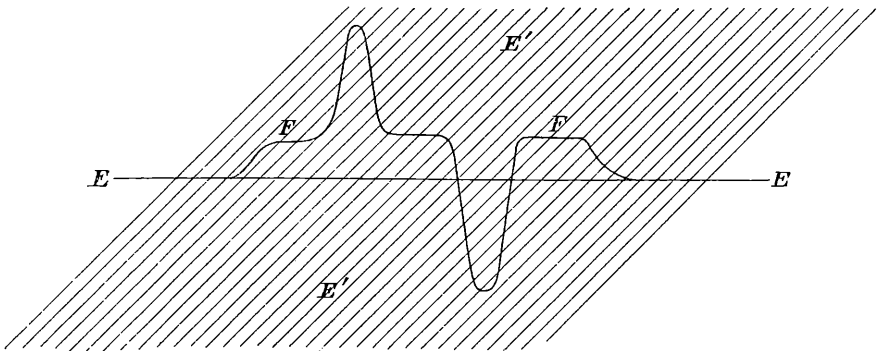
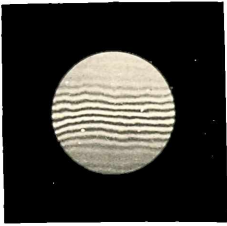


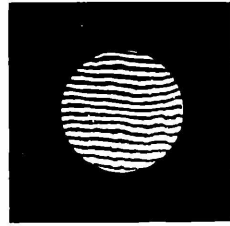
Fig. 15.

Licht und an der (farblosen) Photographie in der Regel nicht ohne weiters entscheiden kann, ob es sich um eine Erhebung oder Vertiefung der Fläche F handelt.

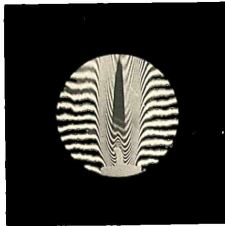
25. Die bisher mit dem Apparat ausgeführten Versuche beziehen sich auf Projectile, Schallwellen und Luft-



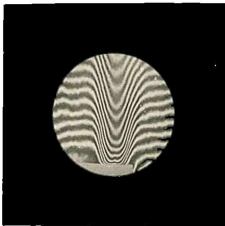
1



2



3



4



5

Nach den Originalnegativen in Lichtdruck vervielfältigt von Carl Bellmann in Prag.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: [102_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Mach Ludwig

Artikel/Article: [Über ein Interferenzrefractometer. 1035-1056](#)