8. Ist der Michelsonversuch beweisend? von M. Laue.

Da der Michelsonsche Interferenzversuch als das Fundament der Relativitätstheorie eine ganz einzigartige Bedeutung für die Entwicklung der Physik gewonnen hat, so ist es notwendig, seine Deutung wie gegen alle Zweifel so auch gegen die jüngst von Hrn. Kohl¹⁾ geäußerten Bedenken sicherzustellen. Es liegt in der Natur der Sache, daß dabei nur altbekannte Sätze aus der Theorie der Interferenzerscheinungen zur Sprache kommen; die Absicht, volle Klarheit zu schaffen, mag es entschuldigen, wenn wir dabei etwas weitschweifig geworden sein sollten.

Wir beginnen mit der Aufzählung der wesentlichen Teile des Michelsonschen Interferometers; beim Übergehen der anderen Teile des an sich viel komplizierteren Apparates sind wir in Übereinstimmung mit Hrn. Kohl. Es sind dies eine halb durchlässig versilberte ebene Glasplatte *P* (welche wir

als gegen die Lichtwellenlänge sehr dünn voraussetzen können), an welcher sich der unter ungefähr 45° einfallende Lichtstrahl in einen reflektierten und einen hindurchgehenden Strahl spaltet; ferner zwei Spiegel *I* und *II*, auf welchen die letzteren ungefähr senkrecht auftreffen, so daß sie nach der Spiegelung zur

Platte *P* zurückkehren. Eine nochmalige Zerlegung von ihnen an *P* liefert unter anderem zwei nach dem Fernrohr *F* hinlaufende Strahlen, deren Interferenz in *F* beobachtet wird.

Dies Interferenzbild kann nun zu zwei ganz verschiedenen Typen gehören; man untersucht sie am besten, wenn man

1) E. Kohl, Ann. d. Phys. 28. p. 259. 1909.

nach der Lage des von P entworfenen Spiegelbildes des Spiegels II (in der Fig. durch II' angedeutet) fragt.

I. Dies Spiegelbild ist dem Spiegel I genau parallel. Man sieht dann in der Brennebene des Fernrohrobjektives die Interferenzerscheinung an der planparallelen Luftschicht $I\ II'$.

Der physikalische Unterschied zwischen der Vorder- und Rückfläche einer wirklichen Planparallelplatte, welche den Phasensprung π bei einem der interferierenden Strahlen bedingt, wird hier ersetzt durch die Verschiedenheit der Spiegelungen von der versilberten Fläche der Platte P ; denn der eine der Strahlen wird im Glase, der andere in Luft an ihn reflektiert.

Diese Interferenzkurven gleicher Neigung sind bekanntlich konzentrische Kreise¹⁾. Der Gangunterschied beträgt

$$(a - b) \cos \beta,$$

wenn wir mit β den Winkel zwischen der Strahlrichtung und der Normale der Platten, mit a und mit b die Entfernungen der Spiegel I und II von P , gemessen längs des mittelsten Strahles, bezeichnen. Daraus folgt einmal, daß bei keinem der Streifen der Gangunterschied Null sein kann, es sei denn $a = b$, dann aber treten überhaupt keine Interferenzringe mehr auf. Im weißen Licht sind diese Streifen daher, wenn überhaupt, nur sehr verschwommen sichtbar. Ändert man ferner die Differenz $a - b$, so wandert jeder Streifen so, daß

$$(a - b) \cos \beta$$

konstant bleibt, in der Nähe des Zentrums des Ringsystems daher so, daß

$$(a - b) \left(1 - \frac{\beta^2}{2}\right)$$

sich nicht ändert. Die Streifenverschiebung ist daher der Änderung von $a - b$ auch nicht annähernd proportional.

II. Das Spiegelbild II' bildet mit I einen gewissen Winkel. Dann treten an dem Luftkeil zwischen II' und I die zu den

1) Vgl. z. B. E. Gehrocke, Die Anwendung der Interferenzen in der Spektroskopie und Metrologie. Braunschweig 1906, Fig. 31.

Newtonschen Streifen gleicher Dicke komplementären Interferenzstreifen auf. Sie liegen in derjenigen Ebene, in welche das Fernrohrobjektiv den Keil abbildet und sind der Kante des Keils parallele Gerade. Ist a gleich b gewählt, so schneidet II' den Spiegel I . Wir haben dann in der Mitte des Gesichtsfeldes den Streifen vom Gangunterschied Null, also ein Intensitätsminimum, welches sich als einziges bei Änderung der Wellenlänge nicht verschiebt und bei Beleuchtung mit weißem Licht scharf und farblos bleibt. Verändert man eine der Armlängen a oder b ein wenig, so ist dies die Ursache für die Verschiebung des genannten Doppelkeils in seiner Ebene und mit ihm wandern die Interferenzstreifen senkrecht zu ihrer Richtung um eine Strecke, welche der Differenz $a - b$ proportional ist. Ein weiterer Unterschied dieser Streifen gegen die Planparallelitätsringe ist der, daß das ganze System auch bei der Beleuchtung mit einer einzelnen Welle auftritt, während bei den ersteren eine solche nur einen Punkt im Gesichtsfeld erhellt.

Bei dem in Rede stehenden Versuch über den Einfluß der Erdbewegung waren nun zweifellos Interferenzstreifen der zweiten Art benutzt. Dies geht aus Michelsons Darstellung in seinem Buche „Light waves and their uses“¹⁾ unzweideutig hervor. Aus den späteren Arbeiten von Morley und Miller zitiere ich als Belegstellen wörtlich: „In one of the usual adjustments of distances and angles, parallel fringes are seen when the eye or the telescope is made to give distinct vision of one of the mirrors I or II . The fringes apparently coincide with these surfaces. A central fringes is black, on either side are coloured fringes, less and less distinct till they fade away into uniform illumination. If the path of either ray is shortened, the fringes move rapidly to one side. If we engrave a scale on I or II we can, after any alteration of one of the paths, restore with great accuracy and ease the former relations by bringing the central dark fringe to its original place on this scale.“ Ferner: „A telescope magnifying thirty-five diameters gave distinct vision of mirror 8, at whose surface the interference-fringes are apparently

1) A. A. Michelson, Chicago 1903.

localized.“¹⁾ Aus dem ersten Zitat geht außerdem noch hervor, daß die Verfasser *gesehen* haben, daß eine Veränderung der Armlängen die von der Theorie geforderte Streifenverschiebung hervorruft. Da der Einfluß der Bewegung die Durchlaufungszeiten von a oder b verändert, also wie eine mechanische Veränderung dieser Strecken wirkt, so ist allein hiermit ohne Rücksicht auf alle sonstigen Erwägungen die Beweiskraft des Michelsonversuches festgestellt.

Nun zur Arbeit des Hrn. Kohl. In ihrem ersten Teil beschäftigt sie sich mit dem Einfluß der Erdbewegung auf das geometrische Gesetz der Spiegelung; und zwar beweist sie, daß als Folge der Bewegung die beiden durch Spiegelung an I , II und P entstehenden, in F sichtbaren Bilder der Lichtquelle auseinanderfallen, daß sich also die Lichtquelle für den Beobachter scheinbar verdoppelt. Dies widerspricht dem Relativitätsprinzip, ist aber eine notwendige Konsequenz der Theorie des ruhenden Äthers. Wäre der Abstand beider Spiegelbilder nicht unbeobachtbar klein, so hätte man hieran ein neues Kriterium zur experimentellen Entscheidung zwischen beiden Theorien. Dies erscheint zunächst paradox, weil das geometrische Gesetz der Spiegelung ausschließlich auf der allen Theorien gemeinsamen Annahme der Linearität der Grenzbedingungen beruht, und daher allen gemeinsam ist. Doch fehlt zwischen ihnen die Übereinstimmung hinsichtlich der Form, welche man dem bewegten Interferometer zuzuschreiben hat. Nach der Theorie des ruhenden Äthers ist der Winkel zwischen der Platte P und den Zentralstrahlen in der Bewegung wie in der Ruhe 45° . Nach der Relativitätstheorie aber weicht er in der Bewegung infolge der Lorentzkontraktion um Größen zweiter Ordnung von diesem Werte ab, wenn er im Ruhezustand 45° beträgt. Hätte er umgekehrt bei der Bewegung genau diesen Wert, so wäre er bezogen auf das mitbewegte System davon verschieden. Man erkennt ohne weiteres, daß in diesem Falle zwei Spiegelbilder auftreten müssen und bestätigt so das in Rede stehende Ergebnis. Im übrigen ist diese Frage von untergeordneter Bedeutung, denn der Abstand

1) E. W. Morley und C. L. Miller, Phil. Mag. (6) 9. p. 669 u. 680. 1905. Bes. p. 670 u. 681. Spiegel 8 entspricht I .

der beiden Bilder beträgt ungefähr 10^{-5} cm, könnte also allenfalls noch durch die besten Mikroskope mit größter Apertur wahrgenommen werden; bei dem Fernrohr des Interferometers dagegen haben die Beugungskreise, aus denen das Bild besteht, Durchmesser, welche das geometrische Abbild einer solchen Strecke um ein großes Vielfaches übertreffen.¹⁾

Der Irrtum des Hrn. Kohl liegt an einer anderen Stelle. Der Verfasser nimmt nämlich an, es handle sich um Interferenzen gleicher Neigung an einer planparallelen Platte; und zwar sollen nach ihm die Begrenzungen des Fernrohr- und des Kollimatorobjektives den Strahlengang so einengen, daß von dem ganzen Ringsystem nur der mittelste Fleck sichtbar wird, daß also $(a - b) \cos \beta$ mit optischer Genauigkeit überall im Gesichtsfeld denselben Wert hat.²⁾ Dies geht mit voller Sicherheit aus seinen Figg. 3 und 4 hervor; denn während er sie wegen der Verdoppelung der Lichtquelle unter Berücksichtigung kleinster Winkel (10^{-8}) diskutiert, werden die Winkel zwischen den Spiegeln I und P sowie II und P immer als genau 45° angenommen; dies folgt ferner daraus, daß er die Armlängen a und b immer als ein wenig verschieden ansieht, und schließlich daraus, daß, abgesehen von der Differenz $a - b$, die Neigung i der Strahlen gegen den Zentralstrahl als die einzige die Intensität bestimmende Variable auftritt. Um das Auftreten *geradliniger*, paralleler Streifen zu erklären, macht er die durch keine Bemerkung in den Veröffentlichungen von Michelson oder Morley gestützte Annahme, daß das Licht an einem an der Kollimatorlinse angebrachten Spalt Beugung erleidet.³⁾ Was man sieht, ist nach ihm eine Interferenzerscheinung mit konstantem Phasenunterschied zwischen zwei gleichen Beugungsbildern. Daß sich unter diesen Annahmen als Folge einer Veränderung der Armlängen oder als Effekt der Bewegung keine *Streifenverschiebungen*, sondern (bei homogenem Licht) nur eine *gleichmäßige Änderung der Helligkeit* im ganzen Bild ergeben, ist ohne Rechnung einzusehen.⁴⁾

1) Vgl. in Kohls Arbeit p. 285, Absatz e.

2) Vgl. p. 285, Absatz d; 287, Zeile 5 von unten bis 288, Zeile 9 von oben; 289, Zeile 11 u. f.; p. 306, Zusammenfassung 1.

3) p. 292, Zeile 12 v. o.

4) p. 298 u. 307, Absatz 2.

Doch liegt auf der Hand, daß dies mit dem wirklichen Michelsonversuch kaum noch etwas zu tun hat, dessen Beweiskraft hierdurch in keiner Weise berührt wird.

Mit Genehmigung von Hrn. Kohl füge ich hinzu, daß er nach Kenntnisaufnahme der vorliegenden Betrachtungen den hier gegebenen Darlegungen bezüglich der Entstehung des Interferenzstreifensystems vollkommen beipflichtet.

München, Institut für theoretische Physik, Mai 1910.

(Eingegangen 12. Mai 1910.)