IX. *Einige Vorlesungsversuche;* *von W. C. Röntgen.*

1. Pendel zu Schwingungsversuchen.

Die Entstehung von elliptischen, circularen und geradlinigen Schwingungen aus zwei zueinander senkrecht stehenden geradlinigen Schwingungen gleicher Dauer und gleicher Amplitude, sowie von geradlinigen Schwingungen aus zwei entgegengesetzt circularen Schwingungen gleicher Dauer und gleicher Amplitude gehört zu den Capiteln der Optik, welche ohne Zuhülfenahme der Rechnung von den Zuhörern nur schwer und häufig gar nicht verstanden werden. Von den verschiedenen Demonstrationsapparaten, die vorgeschlagen wurden, um das Vorgetragene verständlicher zu machen, scheint mir keiner so recht geeignet zu sein. Man muss meines Erachtens den Zuhörern wirkliche Schwingungen zeigen; sie müssen sehen, wie diese Schwingungen zu Stande kommen und deutlich den wichtigen Einfluss der Phasendifferenzen erkennen können. Ich glaube dieses Ziel in folgender einfacher Weise erreicht zu haben.

An einer 4 bis 5 m langen Schnur hängt dicht über der Mitte des Experimentirtisches eine hoch polirte, 220 g schwere Stahlkugel. Mit einem kurzen, dicken Holzstab gebe ich der ruhenden Kugel in horizontaler Richtung einen ziemlich kräftigen Schlag und erzeuge dadurch ca. 1,5 m weite Schwingungen, die mit Rücksicht auf die Länge des Pendels als geradlinige Schwingungen angesehen werden können. Nachdem die Kugel wieder zur Ruhe gebracht ist, gebe ich ihr einen möglichst gleich starken Schlag in einer zur vorigen senkrechten Richtung; dann entstehen selbstverständlich wiederum geradlinige Schwingungen, deren Richtung aber zu der ersteren senkrecht steht. Um nun diese beiden Schwingungen miteinander zu combiniren, versetze ich die Kugel zunächst wieder in Schwingungen der ersten Richtung und ertheile ihr dann, während sie sich bewegt, einen horizon-

talen Schlag senkrecht zu ihrer Bewegung. Je nach der Stelle, wo sich die Kugel befindet im Augenblick, wo sie der zweite Schlag trifft, wird sie elliptische, circulare oder geradlinige Bahnen beschreiben, und man kann es in aufeinander folgenden Versuchen leicht dahin bringen, dass die Kugel Bewegungen ausführt, welche den Gangunterschieden von $\frac{8}{8}$, $\frac{9}{8}$, $\frac{10}{8}$, $\frac{11}{8}$, $\frac{12}{8}$, $\frac{13}{8}$, $\frac{14}{8}$, $\frac{15}{8}$ und $\frac{16}{8}$ Wellenlängen entsprechen.

Um zu zeigen, dass zwei entgegengesetzt circulare Schwingungen gleicher Dauer und gleicher Amplitude eine geradlinige Schwingung geben, erzeuge ich zuerst eine kreisförmige Schwingung und schlage darauf in tangentialer Richtung gegen die herankommende Kugel; die Kugel beschreibt dann geradlinige Bahnen, deren Richtung natürlich abhängt von der Stelle des Kreises, wo die Kugel getroffen wurde also von dem Gangunterschied.

Zu diesen Versuchen gehört einige Uebung, da die Schläge stets möglichst gleich stark geführt werden müssen; indessen wird nach einigem Probiren der Versuch wohl immer gelingen.

Dass man mit diesem Pendel noch Combinationen von anderen Schwingungen zeigen kann, versteht sich von selbst, doch dürfte dazu in den Vorlesungen über Experimentalphysik, und für solche sind die Versuche ja berechnet, weniger Gelegenheit sein.

2. Diffusionswage.

Vorlesungsversuche über die Diffusion von Flüssigkeiten, mit und ohne Membranen, sowie über die Diffusion von Gasen durch poröse Scheidewände gibt es verschiedene; dagegen ist mir kein Versuch bekannt, welcher die sogenannte freie Diffusion von Gasen so vorzuführen gestattet, dass die Zuhörer den Verlauf derselben wenigstens einigermaßen verfolgen können. Der folgende Apparat dürfte geeignet sein, diese Lücke auszufüllen.

Derselbe ist im wesentlichen eine grosse, empfindliche Senkwage (vg. Fig. p. 111), und besteht aus einer hohlen, ca. 3 l haltenden Glaskugel, die oben mit einem Tubus, unten mit einer angeschmolzenen Glasröhre versehen ist; die Glas-

röhre ist am unteren Ende etwas erweitert und zugeschmolzen. Durch Beschweren mit Quecksilber erreicht man, dass die in Wasser untergetauchte Kugel gerade schwimmt. Auf dem eingeschliffenen Glasstöpsel, mit welchem die Kugel verschlossen wird, ist durch Schrauben eine gerade, verticale, 0,4 cm dicke, 22 cm lange Messingstange befestigt, die oben einen leichten Dreiarm aus Messingblech trägt. Auf diesen Dreiarm setzt man ein ca. 3,3 l fassendes, möglichst leichtes und weites Becherglas und zwar in aufrechter Stellung für die Versuche mit Kohlensäure und in umgekehrter Stellung, wenn die Versuche mit Leuchtgas wiederholt werden sollen. Die beschriebene Senkwage schwimmt in einem Wasserbehälter mit Glaswänden und wird durch Zusatzgewichte so stark belastet, dass die Messingstange vor der Füllung des Becherglases mit den betreffenden Gasen entweder fast ganz aus dem Wasser herausragt oder fast ganz untergetaucht ist, jenachdem Kohlensäure oder Leuchtgas zum Versuch verwendet werden soll. Beim Füllen des Becherglases, was durch einen Kautschukschlauch geschieht, senkt, resp. hebt sich die Wage um 15 bis 20 cm; Blechstreifen, welche über den Rand des Wasserbehälters gelegt werden, geben dem Stiel des Aräometers eine Führung.

Ueberlässt man den Apparat nach der Füllung sich selbst, so beobachtet man an dem steigenden, resp. sinkenden Schwimmer, hinter welchem man einen weithin sichtbaren Maassstab aufstellt, den Verlauf der Diffusion. Die Bewegung ist anfangs ziemlich rasch und wird dann immer langsamer. Der Unterschied der Diffusionsgeschwindigkeiten von Kohlensäure und Leuchtgas ist deutlich zu erkennen.

Der erste Schwimmer, den ich benutzte, war aus einer grossen Kochflasche, Holz- und Glasstäbchen und Korken zusammengesetzt und functionirte ebenso gut, wie der oben beschriebene.

3. Analysator für geradlinig polarisirtes Licht.

Häufig wird der Inhalt der ersten Vorlesungen über Polarisation des Lichtes deshalb von vielen Zuhörern nicht verstanden, weil ihnen die Fähigkeit abgeht, sich die Lage von Linien und Ebenen im Raume richtig vorstellen zu können; namentlich besonders schwer fällt es solchen Zuhörern, zu verstehen, wie man die Lage der Polarisationsebene des durch Reflexion, Brechung oder Doppelbrechung polarisirten Lichtes in Bezug auf die Einfallsebene, resp. den Hauptschnitt des Polarisators bestimmt. Da ich nun in dieser Beziehung mit der im Folgenden beschriebenen Versuchsanordnung gute Erfahrungen gemacht habe, so gestatte ich mir, dieselben mitzutheilen, möchte aber nicht unterlassen, gleich zu erwähnen, dass die folgenden Zeilen, was die benutzten Apparate anbetrifft, nichts wesentlich neues enthalten.

Alle Erscheinungen werden im nicht vollständig verdunkelten Hörsaal objectiv dargestellt.

Als Analysator benutze ich einen ca. 10 cm breiten, 15 cm langen Spiegel aus Obsidianglas; auf der Mitte der Rückseite des Spiegels ist ein gerades Messingstäbchen befestigt, das um den Polarisationswinkel des verwendeten Glases gegen die Spiegelnormale geneigt ist und mit dieser Normale in einer Ebene liegt, die der längeren Kante des Spiegels parallel ist. Das Stäbchen ist mit einem geränderten Kopf versehen und drehbar durch eine horizontale Hülse gesteckt, welche an einer langen, verticalen, mit einem Dreifuss versehenen Eisenstange verschiebbar befestigt ist. Der Spiegel wird dicht vor dem ungefähr 2 m hohen und breiten Projectionsschirm aufgestellt, sodass derselbe sich in der Mitte des Schirmes befindet und seine Drehungsaxe senkrecht zum Schirm steht.¹⁾

Vor der Mitte des Schirmes steht in ca. 4,5 m Entfernung auf einem drehbaren Stativ die electriche Lampe,

1) Der Projectionsschirm ist ein mit Leinwand überzogener hölzerner Rahmen; um eine recht weisse Fläche zu erhalten, ist die Leinwand mit *Magnesia alba* angestrichen. Der Schirm hängt, wenn er nicht benutzt wird, in einem über der Wandtafel angebrachten Verschlag und wird mittelst einer über Rollen gehenden, mit Gegengewicht versehenen Schnur heruntergelassen, wenn die Projectionenversuche gemacht werden sollen.

welche ihre Strahlen auf den Spiegel wirft; dieselben verlaufen dann vor der Reflexion parallel mit der Drehungsaxe des Spiegels. Auf die Laterne der Lampe setzt man ein rundes Diaphragma und entwirft von demselben mittelst einer Linse ein scharfes Bild auf dem Schirme. Dieses durch die Reflexion am Spiegel elliptisch geformte Bild wandert auf dem Schirm im Kreise herum, wenn man den Spiegel um seine Axe dreht, und man gibt dem Spiegel einen solchen Abstand vom Schirm, dass der Durchmesser jenes Kreises ungefähr 2 m gross ist.

Die Einfallsebene des Analysators markire ich durch ein Stück weissen Carton, das mittelst Korke auf den Spiegel aufgeklemmt wird.

Folgende Versuche werden nun in dem, wie bereits gesagt, nicht ganz verdunkelten Hörsaal angestellt:

1) Directes Licht von der Lampe fällt auf den Spiegel: das Bild auf dem Schirm zeigt an allen Stellen des Kreises gleiche Helligkeit.

2) Licht, welches von einem dicht vor die Lampe gesetzten Obsidianspiegel mit horizontaler Einfallsebene unter dem Polarisationswinkel reflectirt wird, fällt auf den Analysator: das Bild zeigt verschiedene Helligkeit an verschiedenen Stellen des Kreises; an zwei Stellen verschwindet dasselbe; das untersuchte Licht zeigt eine Seitlichkeit, es ist polarisirt. Seine Polarisationssebene findet man, indem man die Stellung der Einfallsebene des Analysatorspiegels aufsucht, bei welcher dieser Spiegel das meiste Licht reflectirt. Die Lage dieser Polarisationssebene in Bezug auf die Einfallsebene des Polarisators wird festgestellt.

3) Wird der Einfluss einer Aenderung des Winkels, unter dem das Licht auf den polarisirenden Spiegel fällt, untersucht. Brewster's Gesetz. Merkmale des vollständig und des theilweise polarisirten Lichtes.

4) Als Polarisator wird ein Glassatz genommen, der wieder dicht vor die Lampe gesetzt wird. Es wird die Polarisierung und die Lage der Polarisationssebene in Bezug auf die Einfallsebene dieses Polarisators untersucht.

5) Die Frage, wo das Licht geblieben ist, das bei ge-

wissen Stellungen des Analysators von demselben nicht reflectirt wird, wird nach Entfernung des beschriebenen Analysators mit Hülfe eines zweiten Glassatzes beantwortet.

6) Nachdem das Erforderliche über Doppelbrechung vorgetragen ist, werden mit dem Spiegelanalysator die beiden aus einem grossen, vor die Lampe gesetzten Kalkspathrhomboëder austretenden Strahlen auf ihre Polarisation untersucht und die Lage der Polarisations Ebenen beider Strahlen in Bezug auf den Hauptschnitt des Krystalls untersucht; der Hauptschnitt wird wiederum durch eine aufgesetzte Cartonscheibe markirt.

7) Folgt dieselbe Untersuchung für das Licht, welches durch ein Nicol gegangen ist.

In den auf diese Untersuchung folgenden Vorlesungen benutzte ich ein Nicol als Analysator.

Würzburg, Phys. Inst. d. Univ., Februar 1890.