zucker enthielt, starben die Muskeln früher ab als in reiner 0,8procentiger NaCl-Lösung. Ob ein Zusatz von noch geringeren Mengen von Traubenzucker nicht doch noch die Lösungen für ruhende Muskeln zu verbessern im Stande ist, muss einstweilen dahingestellt bleiben.

Halle, März 1869.

Das Pendel als Messapparat der Dauer der Gesichtseindrücke.

Von

K. Vierordt.

Nebst 4 Holzschnitten.

Die absolute Regelmässigkeit, mit welcher das Pendel seine Schwingungen vollführt, gestattet, die Zeitdauer einer beliebigen Phase der ganzen Schwingung auf das Genaueste zu bestimmen. Deshalb eignet sich kein Apparat besser, um die Dauer kurzer Licht- und Farbeindrücke mittelst passender Hülfsvorrichtungen auf das Sicherste messen und dabei selbst die kleinsten Zeitwerthe, welche bei derartigen Fragen der physiologischen Optik in der Regel noch in Betracht kommen, in den Bereich des Versuches ziehen zu können.

In meiner Schrift über den Zeitsinn habe ich (Seite 133) unlängst die Verwendbarkeit des Pendels zur Messung sowohl der scheinbaren Verkleinerung von rasch hinter einer Spalte vorbeibewegten Gegenständen, als auch der Dauer ihres Vorüberganges kurz angedeutet. Die hier folgende Beschreibung des nunmehr fertig gewordenen und die mannigfaltigsten experimentellen Verwendungen gestattenden Apparates soll zugleich als Einleitung dienen zu der nachfolgenden Arbeit der HH. Burckhardt und Faber, in welcher dieselben die Ergebnisse ihrer Versuche über die kleinste zu einer Farbenempfindung nöthige Zeit mittheilen.

Ein 91 Ctr. langes und 50 Ctr. breites Grundbrett *A* (Fig. 1, s. umstehend) trägt zwei, 153 Ctr. lange und 5 Ctr. dicke Stäbe *BB* von Eichenholz, die durch den, im Lichten 70 Ctr. langen Querstab *C* an ihrem oberen Ende mit einander verbunden sind ¹⁾. Auf

1) Der Raumersparniss halber sind die Dimensionen in den Einzeltheilen der Figuren, namentlich der ersten, nicht auf den gleichen Maassstab reducirt.

Fig. 1.

Fig. 2.

senkrecht steht, wurde die in Frick's physikalischer Technik (Braunschweig 1850, S. 99) beschriebene Vorrichtung mit einigen Abänderungen verwendet. In den Armen *bb* (Fig. 2) stecken zwei Schrauben *c*, deren Spitzen in kleine Löcher des viereckigen Messingrahmens *dd* eingreifen. Die schmalen Seiten dieses Rahmens in der Richtung *ee*, sind 22, die langen 36 Mill. lang. In die Mitte der langen Seiten ist jederseits ein stählernes Stück *e* eingelassen mit einer halb cylindrischen Vertiefung, auf welcher die Schneide der Pendelstange ruht. Ausserdem sind diese Seiten des Rahmens mit einem dreieckigen Einschnitt *g* versehen, um die Schneide, wenn das Pendel nicht gebraucht wird, frei aufhängen zu können. Beim Gebrauch steht das Pendel immer von selbst senkrecht, so dass Stellschrauben am Grundbrett entbehrlich sind.

Die 136 Centimeter lange Pendelstange ist von Holz und nur an beiden Enden mit messingener Umkleidung versehen; ein 2 Kilogr. schweres bleiernes Laufgewicht *D* von Linsenform kann auf jede beliebige Höhe eingestellt werden. Ein am unteren Ende des Pendels vertical angebrachter runder Eisenstab von 3 Cent. Länge gestattet, die für den jedesmaligen besonderen Versuchszweck erforderliche Vorrichtung an das Pendel anzuschrauben. Bei den, in der

die Mitte des Querstabes ist ein horizontaler, 12 Ctr. langer Klotz befestigt, an dessen unteren Fläche eine 50 Mill. lange und 15 Mill. breite Messingplatte *a* (Fig. 2) angeschraubt ist, welche in die zwei senkrechten, 20 Mill. langen und 40 Mill. von einander abstehenden Arme *b* ausläuft.

Um den Vorthail zu erreichen, dass das Pendel immer von selbst

nachfolgenden Abhandlung beschriebenen Versuchen wurde an das Pendel eine 78 Cent. lange und 11 C. hohe Platte von Kreisbogenform befestigt. Das von geschwärztem Messing verfertigte Mittelstück *E* (fig. 1) dieser Platte ist 22 Cent. lang und hat in seiner Mitte eine 3 Mill. breite und 60 Mill. hohe verticale Spalte *s*. Die beiden, aus leichtem Holz gefertigten, ebenfalls geschwärzten Seitenteile *FF* haben je 28 Cent. Länge.

Vor dem Pendel befindet sich, nahe am vorderen Rand *mm* des Grundbrettes und parallel mit letzterem, eine 85 Cent. lange und 2 Cent.

Fig. 3.

hohe gradierte Messingplatte, *a*, Fig. 3, von Kreisbogenform. Eine, die Pendelstange halbierende Längslinie trifft mit ihrer Verlängerung bei der Ruhelage des

Pendels den Nullpunkt der Theilung. Rechts und links vom Nullpunkt ist die Messingplatte bis zu 17° getheilt und jeder Grad mit der nöthigen Zahl Unterabtheilungen versehen. Ein am unteren Ende des Pendels befestigter horizontaler Zeiger erlaubt, die Elongation, in welche das Pendel vor der Schwingung gebracht ist, abzulesen.

Der Kreisbogen *a* wird von einer 23 Cent. breiten, 11 Cent. hohen Messingplatte *b* getragen, welche in ihrer Mitte einen 8 Cent. hohen und ebenso breiten Ausschnitt hat, der durch die Schieber *cc* von beiden Seiten her beliebig verengt werden kann. Eine Graduirung am oberen und unteren Rand des Ausschnittes dient zur Messung der Breite der zwischen den Schiebern befindlichen senkrechten Spalte. In den in Rede stehenden Versuchen war die Spaltbreite constant 2 Mill. ¹⁾. Die Messingplatte *b* ruht mittelst eines 5 Cent. hohen Trägers *d* auf einer mit 2 Schlizen versehenen

1) Ich beschränke mich hier auf die für die vorliegenden Versuche gebrauchten Vorrichtungen. Für andere Fälle ist das Mittelstück *E* Fig. 1 der am Pendel befestigten Platte mit einem gehörig breiten und hohen Ausschnitt versehen, der von je zwei Schiebern in horizontaler und verticaler Richtung beliebig verkleinert werden kann. Versuche über die Nachdauer eines einmaligen Netzhautindrucks, sowie über die scheinbare Verschmälerung rasch bewegter Objecte u. s. w. verlangen wieder andere Aenderungen, auf die ich bei späteren Gelegenheiten zurückkommen werde.

horizontalen Platte e , die sich nach rechts und links verschieben und mittelst zweier Schrauben auf das Grundbrett feststellen lässt, so dass das Pendel in der Ruhelage genau auf den Nullpunkt der Theilung a eingestellt werden kann ¹⁾.

Die Schwingungsebene des Pendels ist 8 Cent. vor den beiden Trägern BB und 5 Cent. hinter der Messingplatte $a-b$ Fig. 3. Der Beobachter betrachtet die Spalte durch eine 19 Cent. lange, runde, mit Blendung versehene Röhre, so dass nur ein Theil der Spaltenlänge übersehen werden kann.

In den fraglichen Versuchen wurde also hinter der 2 Mill. breiten Spalte — die wir als »vordere« bezeichnen wollen — die 3 Mill. breite Spalte der am Pendel befestigten Platte (die »hintere Spalte« heissen mag) mittelst der Pendelbewegung vor dem Auge des Beobachters vorbeigeführt. Die Platte FF ist so lang, dass sie auch bei der grössten Elongation des Pendels die vordere Spalte vollkommen verdeckt und dem Beobachter bloss während der kurzen Zeit des Vorüberganges der hinteren Spalte einen Lichtreiz verursacht.

Das Pendelgesetz ist bekanntlich streng gültig nur für kleine Pendelexcursionen; soll nun die hintere Spalte hinter der anderen Spalte möglichst momentan vorbeigehen, so sind grosse Pendelexcursionen erforderlich. Die mir zugänglichen Handbücher der Physik und Mechanik gaben keinen Aufschluss über die Berechnung der Dauer eines solchen Pendelvorganges; mein College, Herr Professor Neumann, nunmehr in Leipzig, hatte die Güte, mir die betreffende Formel zube rechnen.

Fig. 4.

Sei mp , Fig. 4, die Gleichgewichtslage, mn die grösste Entfernung des schwingenden Pendels von der Gleichgewichtslage, α der eingeschlossene Winkel, T die Zeit, die das Pendel braucht, um aus mn in die verticale Stellung mp zu gelangen. Sei ferner ms die Lage des Pendels in einem beliebigen Moment der

1) Veränderungen in der Breite der durch den Pendel vorbeibewegten Spalte, die bei gewissen Versuchen häufig vorgenommen werden müssen, lassen sich, ohne dass der Experimentator aufzustehen braucht, mittelst der unter den Kreisbogen gebrachten Hand leicht ausführen. Aus diesem Grunde muss zwischen dem Kreisbogen und dem Grundbrett ein erforderlicher Spielraum frei gelassen werden.

Schwingungszeit T und α der von ms und mp eingeschlossene Winkel, so lässt sich die Zeit t berechnen, welche das Pendel braucht, um von ms nach mp zu gelangen, falls T , α und A gegeben sind.

Zunächst ist ein gewisser Hilfswinkel φ zu berechnen durch die Relation

$$\sin. \varphi = \frac{\frac{\sin \alpha}{2}}{\frac{\sin A}{2}}$$

Alsdann bestimmt sich t durch die Proportion

$$t : T = F_{\varphi}\left(\frac{A}{2}\right) : F_{90^{\circ}}\left(\frac{A}{2}\right)$$

Als Beispiel mag ein in der nachfolgenden Abhandlung vorkommender Fall gewählt werden.

$$A = 12^{\circ} \quad \alpha = 0^{\circ} 7' 51'' \quad T = 0,51724 \text{ Zeitsecunden.}$$

$$\log. \sin \frac{\alpha}{2} = \log. \sin 0^{\circ} 3' 55'' = 17,0566426 - 20$$

$$\log. \sin \frac{A}{2} = \log. \sin 6^{\circ} = 9,0192346 - 10$$

$$\text{also: } \log. \sin \varphi = 8,0374080 - 10$$

$$\varphi = 0^{\circ} 37' 28''$$

Somit ist

$$t : T = F_{0^{\circ} 37' 28''}(6^{\circ}) : F_{90^{\circ}}(6^{\circ})$$

Nach der neunten Legendre'schen Tafel (Seite 297 u. 299) ist ¹⁾

$$t : T = 0,010899 : 1,575113$$

$$\text{also } t = \frac{0,010899}{1,575113} T$$

$$t = 0,006919 T.$$

$$t = 0,00357878 \text{ Zeitsecunde.}$$

Wenn beide Spalten möglichst zur Deckung kommen, so über-
sieht das ziemlich entfernte Auge des Beobachters bloss $\frac{4}{5}$ der hin-
teren Spaltbreite in horizontaler Richtung. Der rechte Rand der
hinteren Spalte liegt genau in der Verlängerung der die Pendelstange
halbirenden Längslinie; der linke Rand der vorderen Spalte fällt
genau zusammen mit dem Nullpunkt des Kreisbogens α Fig. 3. Ist
die Sehlinie des Beobachters rechtwinklig gestellt zum linken vor-
deren Spaltrand, so deckt letzterer bei der Gleichgewichtslage des
Pendels genau den rechten Rand der hinteren Spalte. Schwingt

1) Legendre Traité des fonctions elliptiques. Band 2. Paris 1826.
Table IX Seite 291 bis 363.

das Pendel von Rechts nach Links, so kommt der linke Rand der hinteren Spalte am rechten vorderen Spaltrand für den Beobachter eben zum Vorschein, wenn das Pendel einen Winkel von $0^\circ 14' 7''$ mit seiner Gleichgewichtslage macht, während der rechte hintere Spaltrand zum Vorschein kommt, wenn das Pendel $0^\circ 6' 16''$ von der Vertikalen absteht. Am linken vorderen Spaltrand dagegen kommt der linke hintere Spaltrand zum Vorschein, wenn das Pendel einen Winkel von $0^\circ 7' 51''$ mit seiner Gleichgewichtslage beschreibt, wogegen der rechte hintere Spaltrand eben verschwindet, wenn das Pendel durch die Gleichgewichtslage hindurchgeht.

Berechnen wir nach obiger Formel die Werthe von t , d. h. die Zeit des Vorbeiganges der hinteren Spalte am rechten und linken Rand der vorderen Spalte, so ergeben sich für die in den genannten Versuchen gebrauchten Pendelexcursionen folgende Werthe, sowohl in absoluten Zeitgrössen, als in Bruchtheilen von T (= halbe Pendelschwingung).

t = Zeit des Vorübergangs der hinteren Spalte.

Pen- delex- cur- sion.	am linken	am rechten	Mittel beider Werthe.	Absolute Zeit in Bruch- theilen einer Secunde.
	Rand der vorderen Spalte.			
3°	0,0277108 T	0,0278798 T	0,0277953 T	0,0143768 = $\frac{1}{70}$
6°	0,013845	0,013855	0,0138670	0,0071725 = $\frac{1}{138}$
9°	0,0092294	—	—	0,0047738 = $\frac{1}{209}$
12°	0,006919	0,006938	0,006928	0,0035788 = $\frac{1}{280}$
15°	0,0055339	—	—	0,0028623 = $\frac{1}{349}$

Die Zeiten t verhalten sich also, bei gleichbleibendem T , umgekehrt wie die Pendelexcursionen. Gehen wir aus von dem t bei 3° , so haben wir

$$15^\circ = 5 \times 3^\circ = 0,0055339 \times 5 = 0,0276695$$

$$12^\circ = 4 \times 3^\circ = 0,006919 \times 4 = 0,027676$$

$$9^\circ = 3 \times 3^\circ = 0,0092294 \times 3 = 0,0276882$$

$$6^\circ = 2 \times 3^\circ = 0,013845 \times 2 = 0,027690$$

Wenn die hintere Spalte hinter dem rechten Rand der vorderen Spalte vorbeigeht, so ist das Pendel von der Ruhelage weiter entfernt, als beim Vorbeigang hinter dem vorderen linken Spaltrand. Daher die etwas grössere Zeit für den Vorübergang am rechten vorderen Spaltrand. Die Differenz ist aber so geringfügig, dass sie bei unseren Versuchen gar nicht in Betracht kommt; deshalb beschränkte ich mich in vorstehender Tabelle bei den Pendelexcursionen 9° und

15° je auf die Durchgangszeit am linken vorderen Spaltrand, welche bloss eine einzige Berechnung erfordert, wogegen für den rechten Spaltrand selbstverständlich t zweimal zu berechnen ist.

Nach meiner Ansicht kommt es bei der Berechnung der Durchgangszeit der hinteren Spalte immer nur auf die Frage an, wie lange wird jedes einzelne der überhaupt erregten Retinalelemente während des Vorübergangs des Pendels vom Lichtreiz getroffen; nicht aber auf die Zeit, welche verstreicht von dem Moment an, wo der linke hintere Spaltrand am rechten vorderen Spaltrand eben zum Vorschein kommt, bis zu dem Moment, wo der rechte hintere Spaltrand am linken vorderen Spaltrand eben verschwindet. Diese letztere Zeit beginnt in unseren Versuchen mit der Pendelstellung $0^\circ 14' 7''$ und endet, wenn das Pendel durch seine Gleichgewichtslage geht; sie ist erheblich grösser (um 1,8) als die Werthe der voranstehenden Tabelle.

Der etwaige Einwand, die Sehlinie könne unmöglich bei jedem Einzelversuch genau rechtwinklig zum linken vorderen Spaltrand gestellt werden — bei unseren Versuchen wurde der Kopf absichtlich nicht fixirt — wäre von keinem Belang; bei den gegebenen Versuchsbedingungen können nur sehr kleine Abweichungen der Sehlinie von der gedachten Richtung vorkommen, welche die Zeit des vom Beobachter bemerkten Durchgangs der hinteren Spalte hinter der vorderen Spalte nicht in merklicher Weise alteriren.

Tübingen 12. März 1869.

Versuche über die zu einer Farbenempfindung erforderliche kleinste Zeit.

Von

H. Burckhardt und **C. Faber**

in Tübingen.

Da die zu einer Farbenempfindung bei gegebener Lichtstärke erforderliche kleinste Zeit bis jetzt noch nie experimentell bestimmt worden ist, so haben wir uns auf Veranlassung von Herrn Professor Dr. v. Vierordt entschlossen, nach seinem Plane über diese Frage