

Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und hetero- chromen Photometrie¹⁾.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Fortsetzung.)

19. Abhängigkeit der Messungsergebnisse an Farb- filtern von der zur Beleuchtung der Objekte dienenden sog. weißen Lichtquelle.

Ich hatte bereits oben — Abschnitt 14 — bei Gelegenheit der Besprechung unseres Verfahrens zur Untersuchung farbiger Schutzgläser darauf hingewiesen, daß das Verhältnis der von einem Farbglas hindurchgelassenen Lichtmenge zu der auffallenden Menge weißen Lichtes bei Anwendung verschieden heller Lichtquellen nicht immer das gleiche bleibt. Zu dieser Erkenntnis bin ich gelangt, als ich dazu überging, mit dem vorstehend beschriebenen Photometer die Lichtdurchlässigkeit verschiedener Farbfilter für sog. weißes Licht messen zu lassen. Als Lichtquelle benutzte ich eine Osramlampe mit matt geschliffener Birne und änderte ihre Helligkeit mit Hilfe eines in die Lichtleitung eingeschalteten Rheostaten von der Rotglut bis zur Weißglut. Hierbei erwiesen sich, wie bereits oben erwähnt, die Grünfilter und auch die Blaufilter indifferent gegen solche Helligkeitsänderungen der Lampe. Das Verhältnis der durch das Filter hindurchgegangenen Lichtmenge zur auffallenden war innerhalb der Messungsfehler immer das gleiche. Ich habe den gleichen Versuch mit dem gleichen Erfolg auch mit einer alkoholischen Cyaninlösung ausführen lassen, die bekanntlich einen Absorptionsstreifen mit der Mitte bei der *D*-Linie besitzt und sowohl blau als auch rot durchläßt. Ganz anders aber verhielten sich die *Rotfilter*, die nur Rot durchlassen. Hier trat eine Änderung des Verhältnisses der durchgelassenen Lichtmenge zur auffallenden ein, und zwar immer in dem Sinne, daß der verhältnismäßige Anteil der durchgelassenen Lichtmenge an der auffallenden mit zunehmender Helligkeit der Lampe *immer kleiner* wurde. Die Änderungen sind keineswegs gering. War z. B. bei einem Rotfilter, das die rote Seite des Spektrums bis zu 600μ durchließ, die Lampe auf eine mittlere Helligkeit eingestellt, und hatte die Einstellung auf Geradlinigkeit der Bewegung der Marke die Ablesung 40 : 100 ergeben, so fing die Marke sofort an zu kreisen, wenn die Helligkeit gesteigert oder vermindert wurde. Durch Neueinstellung auf Geradlinigkeit der Bewegung wurde für die angewandte größte Helligkeit der Lampe der Wert 20 : 100 und für die angewandte kleinste Helligkeit der Wert von 70 : 100 abgelesen.

Die gleiche Abhängigkeit von der Helligkeit der Lampe zeigten die dem *Lovibondschen*

Tintometer beigegebenen *rosaroten* und *gelbbraunen* Farbfilter.

Die Erklärung für dieses auffallende Verhalten der Rotfilter ist wohl die, daß mit steigender Temperatur der Lampe das Energiemaximum sich immer mehr nach dem blauen Ende des Spektrums zu verschiebt. An der Steigerung der Helligkeit des ungehindert zum Auge gelangenden Lichtes sind also die blauen Strahlen sehr viel stärker beteiligt als die roten. In dem Rotfilter werden aber gerade diejenigen Teile des Spektrums, die die stärkere Helligkeitszunahme aufzuweisen haben, vollständig absorbiert. Gewiß erfährt die durchgelassene rote Lichtmenge auch eine Steigerung, die sehr wahrscheinlich proportional ist der des auffallenden roten Lichtes, aber im Verhältnis zu der gesamten Menge des auffallenden weißen Lichtes doch weit hinter dieser zurückbleibt. So erklärt es sich auch, daß Grün- und Blau-Filter, die ja das gesteigerte grünblaue Licht in gesteigertem Maße durchlassen, die beim Rot- und Gelb-Filter beobachtete Erscheinung nicht zeigen.

Nach den an Farbfiltern im durchfallenden Lichte erhaltenen Resultaten war es von weiterem Interesse, zu sehen, wie sich *der verhältnismäßige Anteil der an farbigen Flächen reflektierten Lichtmenge an dem auffallenden weißen Licht*, also die *Albedo* farbiger Flächen, verhält, wenn man die Helligkeit der zur Beleuchtung dienenden Lichtquelle ändert. Wir benutzten zu diesen Versuchen wieder den in Figur 22 abgebildeten Apparat und gaben ihm unter Verwendung der beiden weißen Reflektoren R_1 und R_2 seine Nullstellung, bei der also Geradlinigkeit der Bewegung beobachtet wird. Dann ersetzten wir den einen der beiden weißen Schirme, beispielsweise R_1 , durch die zu untersuchende farbige Fläche und stellten mit Hilfe der Mikrometerschraube M_2 wieder auf Geradlinigkeit ein. Die Albedo ist dann durch das Verhältnis der beiden Ablesungen an den Mikrometerschrauben M_2 und M_1 bestimmt. Zu den Versuchen wurden nur glanzlose farbige Flächen benutzt, die von meinem Kollegen, Herrn Dr. *Gundlach*, hergestellt waren. Es wurden dieselben Farbstoffe benutzt, die auch zur Herstellung der farbigen Filter dienen. Das Ergebnis der Untersuchung war im wesentlichen das gleiche, wie bei der Untersuchung der Farbfilter im durchfallenden Licht. Die grünen und blauen Papiere zeigten keinen Unterschied, das rote und rosarote Papier dagegen Abweichungen wie oben in dem Sinne, daß die Angaben der Mikrometerschraube M_2 mit zunehmender Helligkeit kleiner wurden, m. a. W., die Albedo roter Flächen nimmt mit abnehmender Leuchtkraft unserer Osramlampe immer mehr zu. Wie sich solche Flächen bei Anwendung anderer Lichtquellen, insbesondere bei wechselnder Tageslichtbeleuchtung, verhalten, habe ich nicht weiter untersucht. Die Sache verdient weiter untersucht zu werden, da bekanntlich nach dem *Purkinjeschen Phänomen*

¹⁾ Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. September 1921.

die Leuchtkraft roter Flächen mit abnehmender Helligkeit des Tageslichtes schneller abnimmt als die von blauen Flächen.

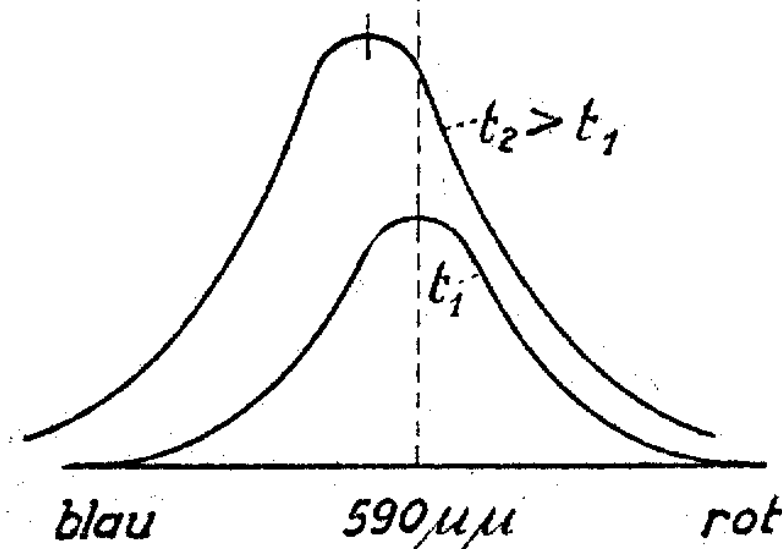
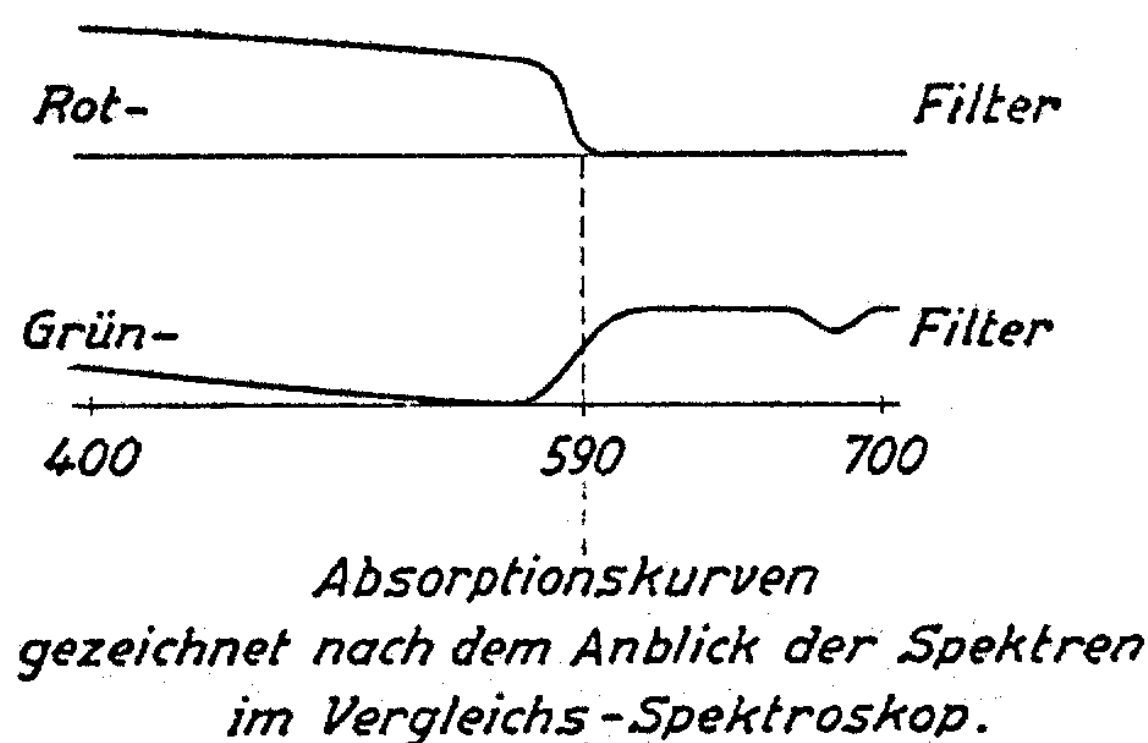
Für die Anwendung unseres Photometers als Meßapparat für die Durchlässigkeit und Reflexionsfähigkeit farbiger Körper im spektral unzerlegten Licht ergibt sich nach den vorstehenden Resultaten mit Notwendigkeit die Forderung, daß man sich, wenn die von verschiedenen Beobachtern gemachten Messungen miteinander vergleichbar sein sollen, nicht allein auf eine bestimmte Lichtquelle, sondern auch auf eine bestimmte Temperatur dieser Lichtquelle einigen muß. Vielleicht genügt es, daß man sich mit dem Licht einer Petroleumlampe von einer bestimmten Größe des Rundbrenners und von einer bestimmten Flammenhöhe behilft. Eine solche Flamme strahlt nicht allein mehrere Stunden hintereinander, sondern nach erfolgter sorgfältiger Reinigung des Dochtes auch immer mit der gleichen Helligkeit.

20. Das Stereophotometer im Dienste der Pyrometrie.

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Erscheinungen legen den Gedanken nahe, unsere Stereomethode unter Anwendung von passend gewählten Farbfiltern auch in den Dienst der Temperaturbestimmung glühender Körper zu stellen. Nach dem Wienschen Verschiebungsgesetz $\lambda_m \cdot T = \text{konst.}$ wird die dem Energiemaximum zukommende Wellenlänge λ_m mit zunehmender absoluter Temperatur immer kleiner. In gleicher Weise muß sich daher auch das Maximum der Sichtbarkeit, die in erster Linie von der Empfindlichkeit der Netzhaut, dann aber auch von der auffallenden Strahlungsenergie in den einzelnen Teilen des Spektrums abhängt, mit wachsender Temperatur nach dem blauen Ende zu verschieben. Wenn man also bei einer bestimmten Temperatur der Lichtquelle dem einen Auge die eine Hälfte des Spektrums und dem anderen Auge die gleichhelle andere Hälfte zuführt (siehe Fig. 23), so muß bei einer Änderung der Temperatur die vorher geradlinige Bewegung der Marke in eine kreisende übergehen, rechts oder links herum, je nachdem die Temperatur steigt oder fällt, und es kann dann die zur Neueinstellung auf Geradlinigkeit erforderliche Verstellung unserer Meßschraube M nach einer voraufgegangenen empirischen Graduierung als Maß der Temperaturänderung benutzt werden. Ein solches Verfahren hat den Vorteil, daß die sonst in der Pyrometrie übliche Vergleichslichtquelle und die zu ihrer Normalisierung dienenden Hilfseinrichtungen in Wegfall kommen.

Über die Aufgabe, ein Spektrum in zwei gleichhelle Teile zu teilen, hat der im Jahre 1916 verstorbene Hans Lehmann eine sehr interessante Arbeit „Beiträge zur Theorie und Praxis der Farbenstereoskopie“ verfaßt, die nach seinem Tode in der Z. f. wiss. Photographie Bd. 17, S. 49

bis 68, 1917 veröffentlicht wurde. Bekanntlich hat das sog. Anaglyphen-Verfahren für die Vorführung von stereoskopischen Bildern im Auditorium eine große praktische Bedeutung. Die beiden Bilder werden in zwei verschiedenen Farben — meist grün und rot — so auf den Schirm geworfen, daß die zusammengehörigen Fernpunkte der Bilder zusammenfallen. Sie werden dann durch gleichgefärbte grünrote Brillen betrachtet. Mit dem einen Auge sieht man das grüne und mit dem anderen das rote Bild, die dann zu einem infolge der beidäugigen Farbmischung meist farblosen Raumbild verschmelzen. Der stereoskopische Effekt ist jedenfalls ein guter, und ich habe mich bei Vorträgen über stereoskopische Dinge wiederholt und



Verschiebung des Maximums der Helligkeit mit wachsender Temperatur der Lichtquelle.

Fig. 23. Verwendung von Farbfiltern für die Zwecke der stereoskopischen Projektion und der stereoskopischen Pyrometrie.

mit bestem Erfolg der von meinem Kollegen im Zeißwerk, Herrn Dr. Gundlach, hergestellten grün-roten Bilder und Brillen bedient. Um den Effekt in bezug auf beidäugige Farbmischung zu einem vollkommenen zu machen, hat Lehmann in der erwähnten Arbeit die Forderung aufgestellt, daß die von den beiden Filtern durchgelassenen Lichtmengen gleichgroß sein müssen und sich zum Gesamtspektrum ergänzen sollen. Er hat dann mit Hilfe eines auf die Untersuchung des schwarzen Körpers gegründeten Rechenverfahrens diejenige Stelle im Spektrum für verschiedene Temperaturen zu ermitteln gesucht, bei der das Spektrum jedesmal in zwei gleichhelle Teile zerlegt wird. Leider hat der frühe Tod von Lehmann die endgültige Fertigstellung der in der Arbeit angekündigten sog. komplementären Zweifarbenfilter für die Zwecke der stereoskopischen Projektion verhindert.

Für die Zwecke der stereoskopischen Projektion hat die Bereitstellung von solchen komplementären Farbfiltern, diese bezogen auf das zur Projektion benutzte Bogenlicht, immer noch einen Wert. Solange sie aber noch nicht vorliegen, wird man sich mit den oben erwähnten grün-roten Filtern begnügen müssen, die, wenn auch nicht vollkommen — siehe die in Fig. 23 gezeichneten Absorptionskurven der beiden Filter —, so doch in erster Annäherung den gestellten Anforderungen entsprechen.

Für die Zwecke der stereoskopischen Pyrometrie hingegen haben diese komplementären Filter bei weitem nicht die Bedeutung wie für die stereoskopische Projektion. Nach den im vorigen Abschnitt beschriebenen Versuchen ist es sogar nicht einmal erforderlich, zwei Farbfilter zu verwenden. Wir können uns mit dem Rotfilter begnügen, da nur bei diesem, nicht aber bei dem Grün- oder Blaufilter das Verhältnis zwischen der durchgelassenen und der auffallenden Lichtmenge mit der Temperatur sich ändert. Die Verwendung unserer Stereophotometers für die Aufgaben der optischen Pyrometrie hätte demnach in der Weise zu erfolgen, daß wir die von der Lichtquelle ausgehenden Strahlen beiden Objektiven in gleicher Stärke zuführen, vor das eine Objektiv ein Rotfilter setzen und mit dem vor dem anderen Objektiv befindlichen Objektivspalt-Mikrometer das Verhältnis der durchgelassenen Lichtmenge zur auffallenden messen. Vielleicht lohnt es sich, eine Untersuchung darüber anzustellen, an welcher Stelle des Spektrums man die Absorptionswirkung des Rotfilters zweckmäßig beginnen läßt, damit für unser Rotfilter-Stereophotometer das Optimum der Wirkung erzielt wird.

21. Apparat zur Bestimmung derjenigen Stelle im Spektrum einer Lichtquelle, welche das Spektrum in zwei physiologisch gleich helle Teile zerlegt.

Die im vorigen Abschnitt besprochene Aufgabe, ein Spektrum in zwei gleich helle Hälften zu teilen, muß sich außer auf theoretischem Wege, wie das Hans Lehmann getan hat, mit Hilfe unserer Stereomethode auch experimentell lösen lassen. Es ist zu dem Ende nur nötig, eine Einrichtung zu treffen, welche dem einen Auge die eine Hälfte und dem anderen Auge die andere Hälfte des Spektrums zuführt. Indem man dann die Trennungslinie zwischen den beiden Hälften zum Verschieben einrichtet, sucht man diejenige Wellenlänge auf, bei der die kreisende Bewegung der Marke in eine geradlinige übergeht. Von dieser Wellenlänge werden wir dann sagen, daß sie das Spektrum in zwei physiologisch gleich helle Hälften teilt.

In dem Bestreben, hierfür einen geeigneten Apparat zusammenzustellen, fand ich mich zusammen mit meinem Kollegen im Zeißwerk,

Herrn Dr. Aug. Köhler. Unsere Besprechungen führten zu der nachstehend beschriebenen und in Fig. 24 skizzierten Anordnung.

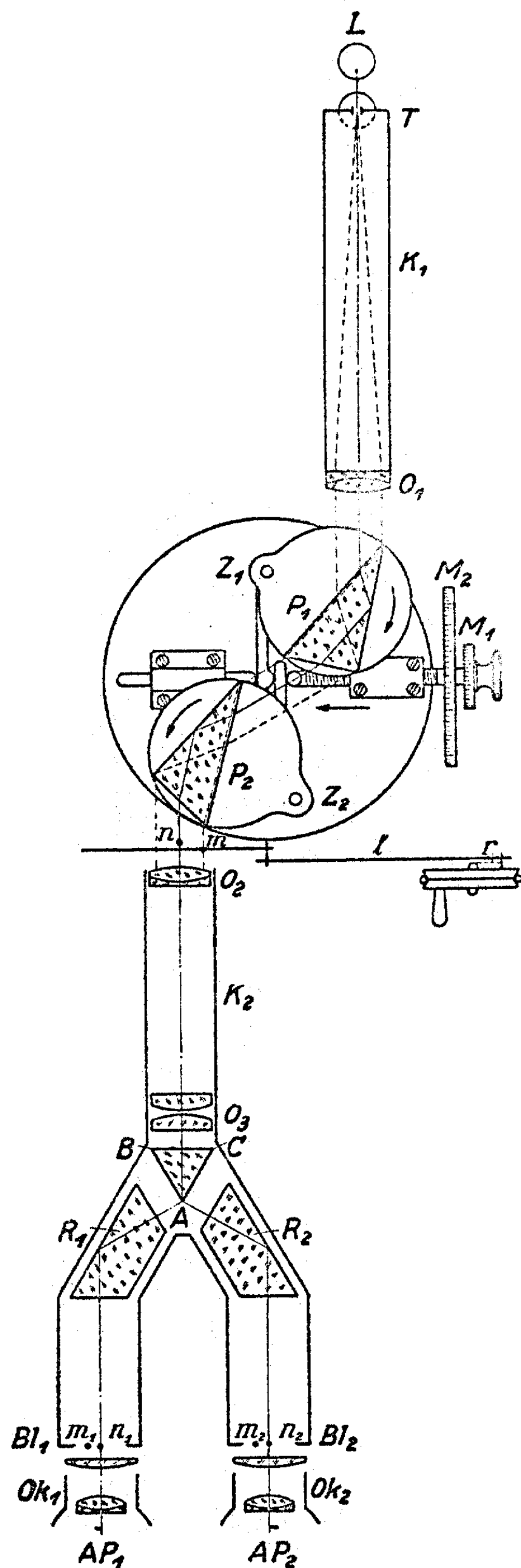


Fig. 24. Apparat zur Bestimmung derjenigen Stelle im Spektrum einer Lichtquelle, welche das Spektrum in zwei physiologisch gleich helle Teile zerlegt (Stereopyrometer).

Zur Erzeugung des Spektrums wird ein sog. festarmiger Spektralapparat nach Löwe (Z. f. Instr. Kde. 7, S. 271, 1907, und Physik. Z. 8, S. 837, 1907) benutzt. Der Apparat besteht aus dem Kollimatorrohr K_1 mit dem symmetrisch sich schließenden Spalt T , vor den die zu untersuchende Lichtquelle oder ein Bild derselben gebracht wird, aus zwei hintereinander angeordneten, tunlichst farblosen Prismen mit konstanter Ablenkung für die spektrale Zerlegung (nach

Abbe (1870), Ges. Abh. Bd. I, S. 4) mit Mikrometerschraube, Trommelteilung und Umdrehungszähler für die Wellenlängenbestimmung und dem Beobachtungsrohr K_2 . An Stelle des hier befindlichen auswechselbaren Spaltkopfes wird ein *dreiseitiges sechziggradiges Glasprisma* (ABC in Fig. 24) eingesetzt und so gerichtet, daß die Fläche BC dem Objektiv zugewandt ist und die vordere scharfe Schneide A in die Ebene des Spektrums zu liegen kommt und den Spektrallinien genau parallel gerichtet ist. Damit der Zweck dieses Prismas, die Zerlegung des Spektrums in zwei Teile entlang einer Spektrallinie, in größter Vollkommenheit erreicht wird, haben wir ein Interesse daran, statt der gekrümmten Spektrallinien vollkommen gerade zu verwenden. Man erzielt diesen Effekt bekanntlich in der Weise, daß man an die Stelle des lichtgebenden

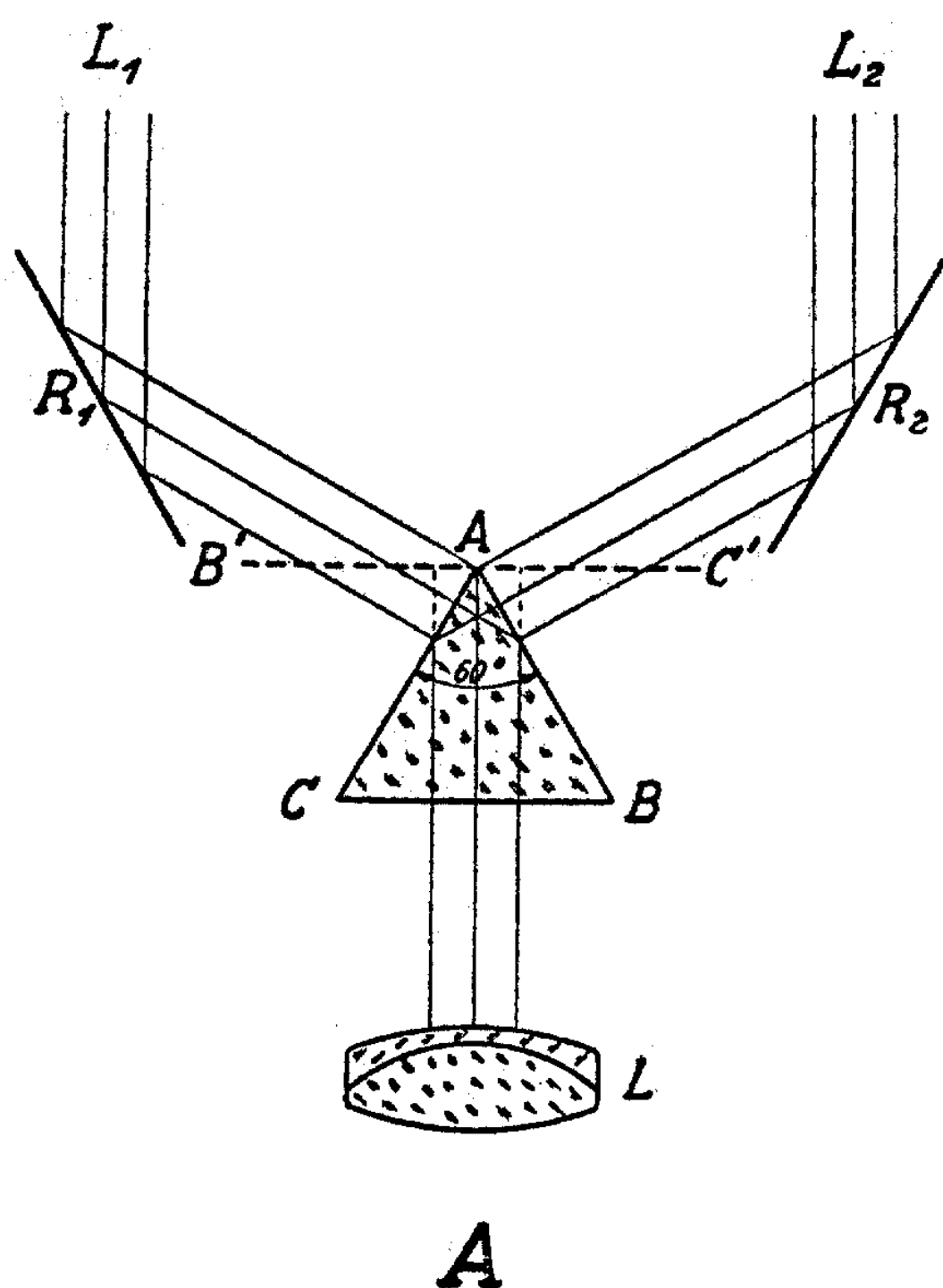


Fig. 25. Verwendung eines 60gradigen Reflexionsprismas zur Herstellung einer scharfen Trennungslinie zwischen zwei auf ihre Helligkeit miteinander zu vergleichenden Flächen.

geraden Spaltes T einen Spalt mit entsprechend gekrümmten Spaltbacken setzt.

Das Glasprisma ABC ist, allerdings im umgekehrten Strahlengang, bereits mit bestem Erfolg in der Photometrie benutzt worden (siehe Fig. 25). Es vermeidet mit einem Schlage die bei Photometern anderer Art immer wieder zu beklagende Störung, die dadurch entsteht, daß es außerordentlich schwierig ist, eine scharfe Trennungslinie zwischen den beiden miteinander zu vergleichenden Feldern herzustellen. Bei Anwendung des Prismas ABC ist zur dauernden Erreichung dieses Zweckes nur nötig, daß die beiden eben polierten Flächen AB und AC in scharfer Kante A aneinander stoßen und einen Winkel von 60° einschließen. Man sieht dann beim Einblick durch das auf die Schneide A eingestellte Okular

in AC das Spiegelbild AB' der von L_2 beleuchteten Fläche AB und in AB das Spiegelbild AC' der von L_1 beleuchteten Fläche AC . Infolge des 60° -Winkels kommen die beiden Spiegelbilder somit unmittelbar nebeneinander in eine senkrecht zur Blickrichtung gelegene Ebene zu liegen. Die scharfe Trennungslinie zwischen den beiden Feldern hängt ausschließlich und allein von der Sauberkeit der Kante A ab und bleibt erhalten, solange die Kante intakt bleibt.

Bei unserer jetzigen, in Fig. 24 dargestellten Anordnung treten die das Spektrum ($r'-A-b'$ in Fig. 26) erzeugenden Strahlen durch die Fläche BC in das Prisma ein. Es findet also jetzt durch Reflexion an den in A zusammenstoßenden

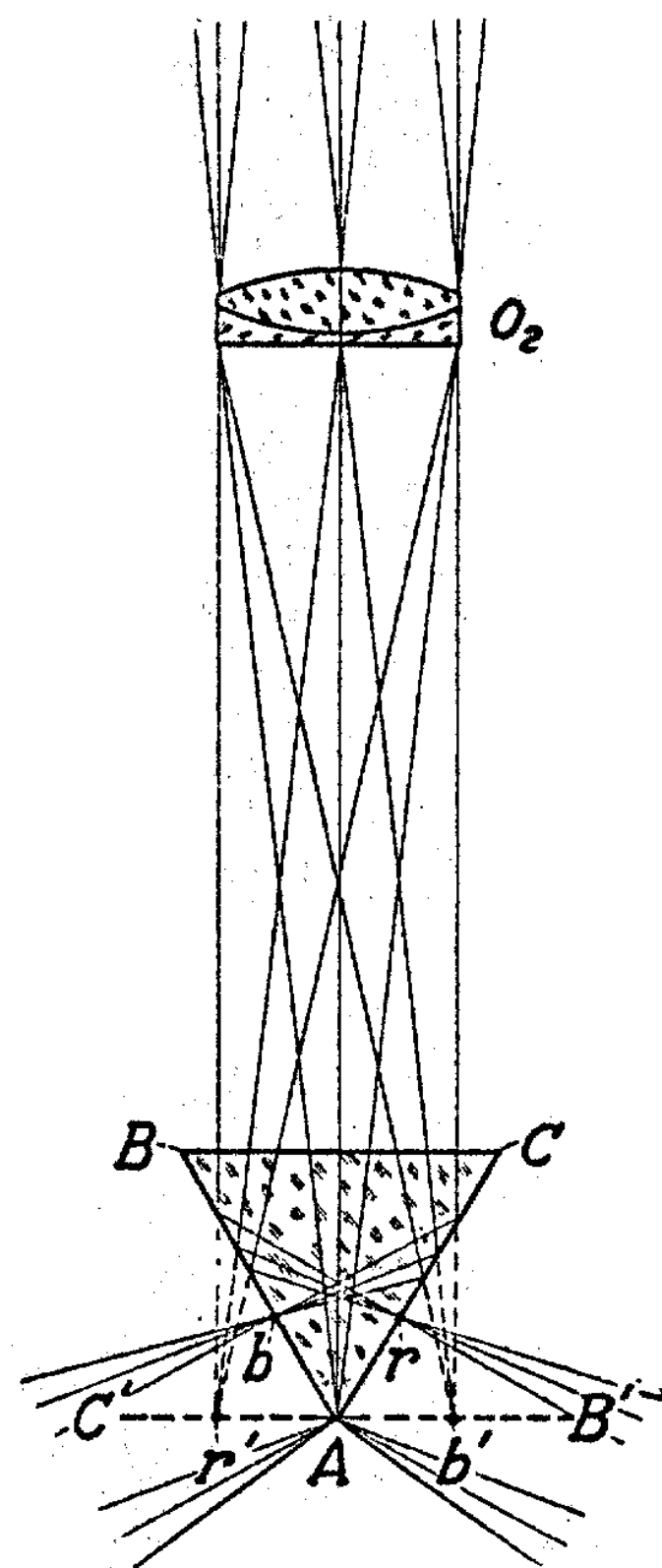


Fig. 26. Dasselbe Prisma in umgekehrter Reihenfolge des Strahlenganges für die Zerlegung eines Spektrums in zwei Teile. In der Figur ist auf die Strahlenbrechung im Glase absichtlich keine Rücksicht genommen worden.

Spiegelflächen des Prismas eine *Aufteilung des Spektrums durch die scharfe Kante A* in der Weise statt, daß die eine Hälfte durch Reflexion an AC auf die Fläche AB und die andere Hälfte durch Reflexion an AB auf die Fläche AC zu liegen kommen. Die Wahl dieses Prismas in Verbindung mit einem festarmigen Spektralapparat ist besonders deshalb eine glückliche zu nennen, weil, abgesehen von der scharfen Trennung der beiden Hälften des Spektrums, das Prisma seine Lage unverändert beibehalten kann, während die zur Messung notwendige relative Verschiebung von Spektrum und Prismenkante A hier allein durch seitliche Verschiebung des Spektrums mit Hilfe der Mikrometerschraube M vorgenommen wird. Auch können die Angaben der Mikrometerschraube ohne weiteres zur Ermittlung der Lage

der Prismenkante A innerhalb des Spektrums benutzt werden¹⁾).

Es muß daher zunächst eine Graduierung der Angaben der Mikrometerschraube nach Wellenlängen vorgenommen werden. Wir beleuchten zu dem Ende den Spalt T mit Lichtquellen, die Spektrallinien von bekannter Wellenlänge aussenden, benutzen zur Beobachtung der beiderseitigen Spektrumshälften eine an der Prismenfassung angebrachte, um die Kante A zum Drehen eingerichtete Lupe und stellen auf jede einzelne Spektrallinie so ein, daß der auf der Fläche AB liegende Teil des Spaltbildes ebenso breit ist wie der auf der Fläche AC liegende. Die den einzelnen Spektrallinien zugehörigen Wellenlängen werden in tunlichst großem Maßstab auf Millimeterpapier als Abszissen und die Ablesungen am Mikrometerwerk als Ordinaten aufgetragen. Aus der die Endpunkte der Ordinaten verbindenden Kurve kann man dann später zu jeder Ablesung am Mikrometerwerk die zugehörige Wellenlänge entnehmen.

Nach erfolgter Graduierung des Mikrometerwerks wird die Lupe zur Seite geschlagen und der für die Betrachtung der kreisenden Marke dienende Stereoskopapparat an den Spektralapparat herangerückt und zu ihm in eine solche Lage gebracht, wie sie in Fig. 24 dargestellt ist.

Der Stereo-Betrachtungsapparat besteht aus zwei mit Anpassung an den Augenabstand eingerichteten Okularen mit kreisförmigen Blenden in der Ebene des Gesichtsfeldes, ferner aus zwei Reflektoren R_1 und R_2 , durch die die von den Spektren kommenden Strahlen beiderseits in die Blickrichtung des Beobachters gebracht werden. Dazu kommt noch ein Objektiv O_3 , welches die zwischen O_2 und P_2 eingesetzten Marken m und n beiderseits in den Bildfeldebene der Okulare abbildet. Die Marken hätten ebensogut als Halbbildmarken ($m_1 n_1$ und $m_2 n_2$) in die Bildfeldebene der Okulare eingesetzt werden können. In beiden Fällen erscheinen die Marken dunkel auf hellem Grunde, und zwar *in dem Farbgemisch der zugehörigen Hälfte des Spektrums*.

Bei dem Aufbau des Apparates ist auch darauf Rücksicht genommen worden, daß das in der Austrittspupille (AP in Fig. 24) links und rechts zustandekommende Bild der Hälfte des Spektrums so stark verkleinert wird, daß es bequem von der Pupille des Auges umfaßt wird.

Während das im nächsten Abschnitt zu beschreibende Stereo-Spektral-Photometer schon seit länger als einem Jahre zu Versuchen in Benutzung ist, war das vorbeschriebene Instrument kurz vor der Niederschrift dieser Zeilen nur soweit gediehen, daß ich mich bis jetzt nur von dem

richtigen Funktionieren der einzelnen Teile habe überzeugen können. Über die mit ihm vorzunehmenden Versuche soll später berichtet werden.

Das nächste wird sein, daß wir den von *Hans Lehmann* auf theoretischem Wege abgeleiteten Zusammenhang zwischen der Temperatur der Lichtquelle und der Lage der Spektrumsmitte *das Ergebnis unserer Messung an einer Reihe von Lichtquellen gegenüberstellen*. Da mit wachsender Temperatur der Lichtquelle die dem Maximum der Helligkeit entsprechende Stelle des Spektrums eine Verschiebung in der Richtung vom roten zum blauen Ende erleidet, so muß eine gleichgerichtete Verschiebung mit wachsender Temperatur auch für die Spektrumsmitte stattfinden. Um also unseren Apparat für die Temperaturbestimmung glühender Körper verwendbar zu machen, haben wir vorher unsere Wellenlängenskala empirisch zu graduieren, was in erster Annäherung mit Hilfe des schwarzen Körpers geschehen kann.

Ob die jedesmalige Spektrumsmitte mit dem jedesmaligen Maximum des Spektrums zusammenfällt, ist noch eine offene Frage, die aber mit dem in diesem Abschnitt beschriebenen Apparat und dem im nächsten Abschnitt beschriebenen Stereo-Spektral-Photometer beantwortet werden kann. Für die Beantwortung dieser unserer Frage ist zu berücksichtigen, daß das mit dem Stereo-Spektral-Photometer gefundene Maximum vor dem Vergleich mit der Spektrumsmitte auf das Normalspektrum reduziert werden muß (siehe dieserhalb weiter unten), während für die mit dem vorliegenden Apparat gefundene Spektrumsmitte eine solche Reduktion m. E. nicht erforderlich ist.

Auch auf verschiedene Fragen der physiologischen Optik wird der Apparat eine eindeutige Antwort geben können, so z. B., ob für ein und dieselbe Lichtquelle die Spektrumsmitte ihre Lage unverändert beibehält, wenn man die Helligkeit des Spektrums durch Einengung des Lichtspaltes T immer mehr herabdrückt. Von besonderem physiologischen Interesse wird es auch sein, die Ergebnisse der Messungen an farben-tüchtigen Personen mit den Ergebnissen der Messungen an Farbenblinden zu vergleichen.

22. Das Stereo-Spektral-Photometer,

mit dessen Einrichtung und Handhabung wir uns im folgenden etwas näher befassen wollen, beansprucht in theoretischer und praktischer Hinsicht ein besonderes Interesse deshalb, weil es die Möglichkeit bietet, das dem einen Auge dargebotene Gesichtsfeld *mit jeder beliebigen Farbe des Spektrums einer Lichtquelle* und das dem anderen Auge dargebotene Gesichtsfeld *mit jeder beliebigen Farbe des Spektrums derselben oder einer anderen Lichtquelle zu erhellen* und hierbei das Verhalten der „kreisenden Marke“ zu einer *alle einzelnen Teile des sichtbaren Spek-*

¹⁾ Die beiden das Spektrum erzeugenden Prismen P_1 und P_2 müssen natürlich hinsichtlich ihrer Dispersion so gewählt werden, daß das Spektrum voll von den beiden Flächen des Prismas ABC aufgenommen wird. Im anderen Falle schaltet man P_1 aus und stellt das Kollimatorrohr K_1 zu P_2 neu ein.

trums umfassenden heterochromen Photometrie zu verwerten.

Der Aufbau des Stereo-Spektral-Photometers ist aus der Schnittzeichnung Fig. 27 und aus der

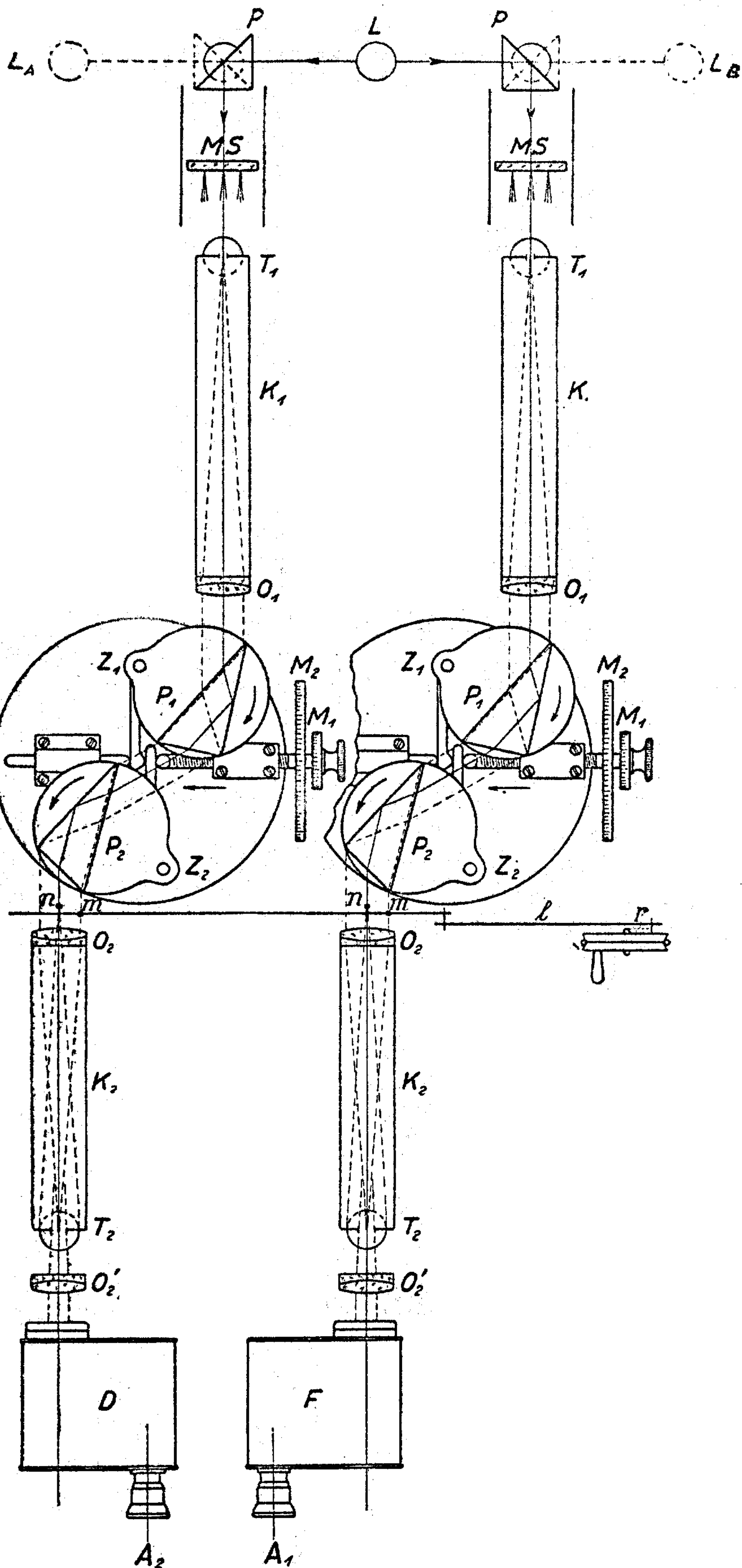


Fig. 27. Horizontalschnitt durch das Stereospektral-photometer.

nach einer Photographie des Apparates hergestellten Fig. 28 zu ersehen. Es wurden zwei festarmige geradsichtige Spektralapparate (nach Löwe l. c.), auch Monochromatoren genannt, nebeneinandergestellt und in feste Verbindung

miteinander gebracht. Die beiden T_1 sind die lichtgebenden Spalte, vor denen die zu untersuchenden Lichtquellen in der weiter unten angegebenen Weise aufgestellt werden. Die beiden T_2 sind die ebenfalls mit Meßvorrichtungen versehenen Durchlaßspalte für die zu untersuchenden Spektralbezirke.

Die Einstellung jedes der beiden Spektralapparate auf einen bestimmten von T_2 durchgelassenen Spektralbezirk geschieht durch mikrometrische Drehung der Prismen P_1 und P_2 um ihre zugehörigen Achsen Z_1 und Z_2 . Die mit einem Umdrehungszähler und einer 100 teiligen Trommel versehene Mikrometerschraube M_1 mißt die Drehungswinkel der Prismen. Die Scheibe M_2 dient zur Aufnahme der in Einheiten von $\mu\mu$ geteilten Wellenlängenskala in Spiralform. In Fig. 28 ist die Spiralteilung für den rechten Apparat gut zu sehen, auch die Schnurlaufübertragung, welche es dem Beobachter ermöglicht, mit der auf dem Tisch ruhenden rechten Hand die Meßschraube M_1 zu bewegen. Aus den weiter unten angegebenen Gründen wurde es für nicht erforderlich gehalten, eine ebensolche Schnurlaufübertragung auch an der Mikrometerschraube M_1 des linken Apparates anzubringen. Die Ermittlung der $\mu\mu$ -Skala geschieht in bekannter Weise auf graphischem Wege nach den Winkelangaben der Meßschraube M_1 für eine größere Anzahl von Spektrallinien bekannter Wellenlänge. Die fertige Skala läßt sich dann noch in der Weise revidieren und nötigenfalls berichtigen, daß man für eine größere Anzahl von bekannten Spektrallinien die Abweichungen in den Angaben der Skala von den wahren Werten $\mu\mu$ feststellt. Man trägt dann die gefundenen Abweichungen als Ordinaten auf und entnimmt aus der durch die Endpunkte gezogenen Kurve die an den einzelnen Strichen der $\mu\mu$ -Skala anzubringende Korrektur.

m und n in Fig. 27 sind unsere Halbbildmarken, wieder wie früher Nähnadeln. Sie befinden sich beiderseits zwischen dem Prisma P_2 und dem Objektiv O_2 . Ihre Beobachtung geschieht in einem Doppelfernrohr DF , bei dem die Anpassung an den Augenabstand des Beobachters durch eine gleichmäßige, aber entgegengesetzt gerichtete Drehung der Einzelrohre um die mit T_2 zusammenfallende Objektivachse vorgenommen wird. Damit die Marken m und n in dem auf Unendlich eingestellten Fernrohr zur Abbildung gelangen, ist dem Fernrohr beiderseits noch ein Objektiv O_2' vorgesetzt worden, das die von den einzelnen Punkten der Marken m und n ausgehenden divergierenden Strahlen als parallele Strahlenbündel dem Fernrohr zuführt. Die Vergrößerung des Fernrohres ist so gewählt, daß das in der Austrittspupille liegende Spaltbild von T_2 kleiner ist als die Pupille des Auges.

Der Beobachter sieht dann in jedem der beiden Rohre das Objektiv O_2 ausgefüllt durch Licht von der Spektralfarbe des von T_2 hindurch-

gelassenen Spektralbezirkes und darin die dunklen Marken m und n . Die übereinstimmende Höhenlage der beiden Markenbilder im DF wird durch Vertikalverschiebung des einen Objektivs O_2' , und der für die stereoskopische Betrachtung passende Abstand der beiderseitigen Markenbilder voneinander durch mikrometrische Verschiebung des anderen Objektivs O_2' in horizontaler Richtung erreicht. Bei dem in Fig. 28 wiedergegebenen Apparat befinden sich diese Objektive O_2' im Innern des Kollimatorrohres K_2 und unmittelbar vor dem Spalt T_2 , eine Anordnung, welche für die Justierung des Apparates eine Einschränkung bedeutet, die bei der vorbeschriebenen neuen Anordnung vermieden wird.

scharf zu erscheinen, in einer Ebene liegen müssen, mußte die eine Marke m so über der anderen n angeordnet werden, daß sich die Spitzen nicht berühren. Bei dem vorliegenden Stereospektral-Photometer sind wir an diese Bedingung nicht gebunden. Wir können die Marken m und n dank der Strahlenbegrenzung durch den Spalt T_2 auch in zwei hintereinander gelegenen Ebenen unterbringen, ohne daß die Markenbilder aufhören gleichmäßig scharf zu erscheinen. Wir können also jetzt die Höhenlage der beiden Marken zueinander auch so wählen, daß die beiden Nadeln mit einem Teil ihrer Länge *neben-*einander zu liegen kommen, ohne befürchten zu müssen, daß sie sich gegenseitig weh tun. Es ist

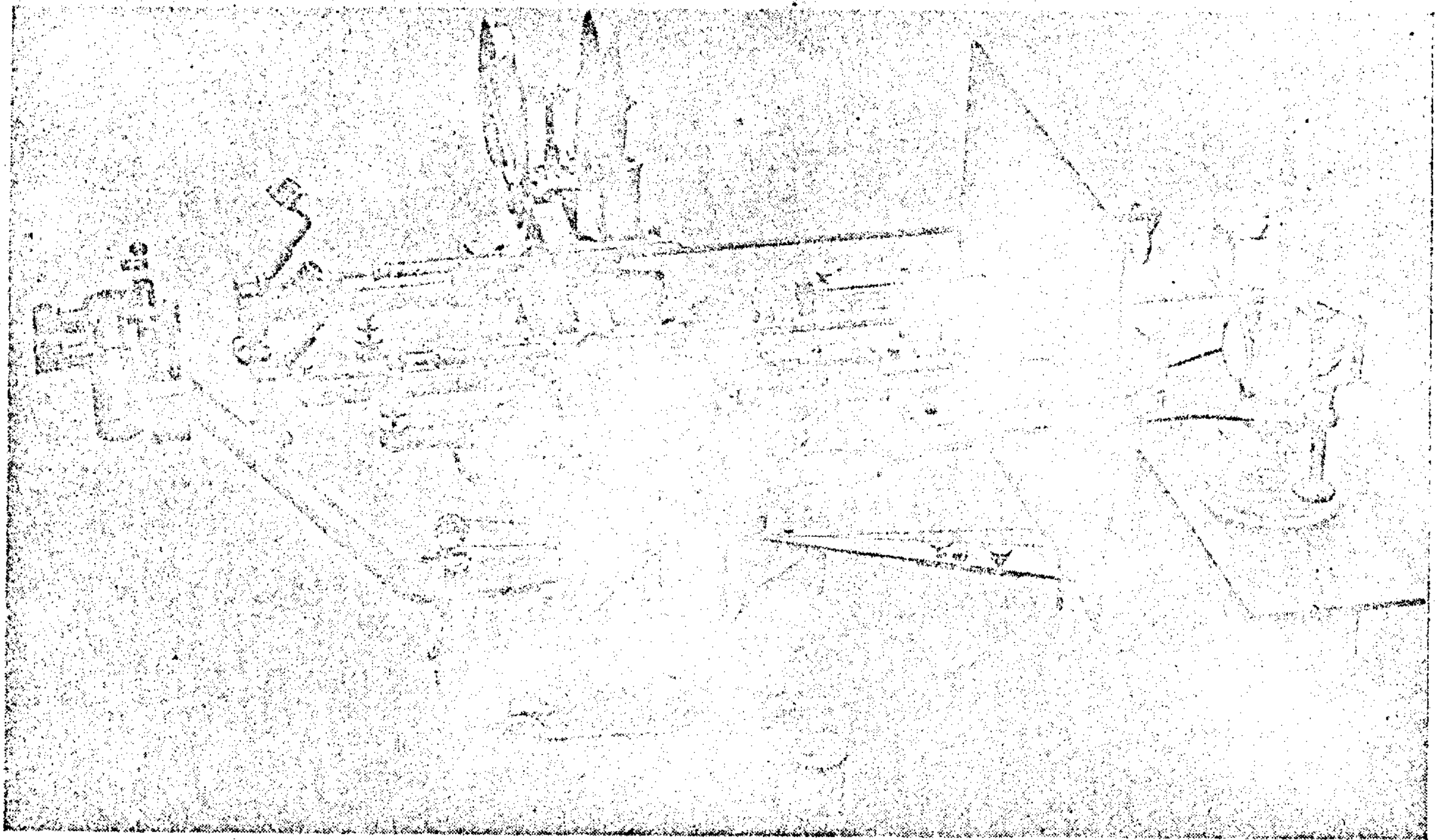


Fig. 28. Das Stereospektralphotometer (nach einer Photographie).

Von den in obiger Fig. 13 dargestellten und durch die Anordnung in Fig. 16 verwirklichten Bewegungsmöglichkeiten der Marken m und n ist hier nur zum Teil Gebrauch gemacht worden. Die Marken n bleiben stehen, und nur die Marken m werden bewegt und zwar durch den oben erwähnten, in Fig. 28 mitabgebildeten Heißluftmotor. Im übrigen kann hier, wie früher angegeben, durch Veränderung des Radius r der Drehscheibe (siehe Fig. 27) der Ausschlag der hin- und hergehenden Marke m verändert und durch Veränderung der Länge l der Kurbelstange der Mittelpunkt der kreisenden Marke zur feststehenden seitlich verschoben werden. Der Beobachter hat also die Möglichkeit, die Marke in verschieden großem Abstand um n als Mittelpunkt kreisen zu lassen (siehe Fig. 13a), oder sie in der Blickrichtung (siehe Fig. 13c) an n vorbeifliegen zu lassen.

Bei den in den Abschnitten 15, 17, 18 und 20 beschriebenen Stereophotometern waren die Marken m und n in der Bildfeldebene des Okulars untergebracht. Da sie, um gleichzeitig

nicht ausgeschlossen, daß diese Anordnung von Personen, die besonders gut stereoskopisch sehen können, bei Einstellung der Marke m nach Fig. 13c als ein Vorzug gegenüber den übereinander angeordneten Marken beurteilt wird.

Zur *Begrenzung und Einengung des Gesichtsfeldes* ist zwischen den Marken und dem Objektiv O_2 je eine Schieberblende mit einer Reihe von paarweise links und rechts gleichgroßen, sonst aber verschieden großen kreisförmigen Öffnungen vorgesehen. Im allgemeinen wird man die Messung mit links und rechts gleichgroßen Blenden ausführen und den Schieber so einstellen, daß das Raumbild der Blendenöffnung *vor* das Raumbild der kreisenden Marke zu liegen kommt, wie das auch bei den stereoskopischen Landschaftsbildern der Firma der Fall ist, wo man durch die Bildumrahmung wie durch ein Fenster vom Zimmer aus auf die Landschaft draußen hinausschaut. Macht man in den Blendenrand ringsum kleine, links und rechts genau gleiche Einkerbungen, so ist die Möglichkeit gegeben, die verschiedenen Teile der Netz-

haut auf ihre Reaktionsfähigkeit der Erscheinung der kreisenden Marke gegenüber zu untersuchen. Diese Einkerbungen dienen hierbei dazu, die Blickrichtung des Beobachters festzuhalten. Bei den kleinsten Blendenöffnungen kann man diese Anhaltspunkte auch außerhalb der Blendenöffnung anbringen.

Noch ein anderes physiologisches Arbeitsgebiet soll hier kurz erwähnt werden, das sich auf die gleichzeitige Anwendung ungleichgroßer Blenden links und rechts bezieht. Es fragt sich nämlich, ob die Erscheinung der kreisenden Marke nicht durch die überschießende Randzone der durch die größere Blendenöffnung beleuchteten Netzhaut beeinflusst wird. Ich habe bisher einen solchen Einfluß nicht konstatieren können. Hatte ein gut stereoskopisch sehender Beobachter vorher bei gleichgroßen Blenden auf gleiche Helligkeit — Geradlinigkeit der Bewegung des Raumbildes der Marke m — eingestellt, so blieb die Erscheinung der Geradlinigkeit der Bewegung erhalten, wenn die eine der beiden Blendenöffnungen durch eine größere ersetzt wurde. Im ersten Augenblick ist man geneigt, zu glauben, daß die geradlinige Bewegung des Raumbildes in eine kreisende übergehen müsse, da ja durch die größere Blendenöffnung mehr Licht in das Auge gelangt als durch die kleinere. Dieses Licht verteilt sich aber auf der Netzhaut auf eine größere Fläche, wobei die Flächenhelligkeit die gleiche bleibt. Eine etwaige Änderung der Erscheinung kann daher nur durch den Einfluß der vorbezeichneten überschießenden Zone der beleuchteten Netzhaut hervorgerufen werden. Die Sache verdient weiter untersucht zu werden, doch ist hierzu nicht unbedingt das Stereo-Spektral-Photometer erforderlich. Derartige Untersuchungen können auch mit einem einfacheren Apparat gemacht werden, sofern man diesen ebenfalls mit auswechselbaren Blendenöffnungen ausrüstet.

23. Die Regulierung der Beleuchtung.

Für den Vergleich der Helligkeiten zweier Spektralbezirke des Spektrums einer Lichtquelle ist es von größter Bedeutung, daß die Helligkeiten in beiden Gesichtsfeldern für einen und denselben Spektralbezirk genau gleich sind. Zwar kann man durch Vertauschen von links und rechts den Einfluß einer ungleichen Beleuchtung unschädlich machen, doch ist es von Vorteil, auf die Wiederholung dieses Vergleichs verzichten zu können, was auch der Fall ist, wenn man die Beleuchtung für beide Spalte T_1 genau gleich macht.

Zunächst haben wir also dem Apparat selbst seine Nulleinstellung zu geben, d. h. man stellt die vier Spalte T_1 und T_2 auf genau die gleiche Spaltbreite und mit Hilfe eines nachträglich vor T_2 angebrachten verstellbaren horizontalen Spaltes T_2 auch auf gleiche Länge ein. Alsdann darf, wenn in beiden Apparaten links und rechts auf den gleichen Spektralbezirk eingestellt wird —

bei diskontinuierlichen Spektren benutzt man die gleiche Spektrallinie links und rechts —, das Raumbild der hin und her gehenden Marke *kein Kreisen mehr* erkennen lassen. Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, daß die beiden Prismen P_1 und P_2 in der Werkstatt so eingestellt sind, daß die in T_2 sichtbaren Bilder von T_1 im linken und im rechten Apparat genau die gleiche Breite erhalten, wie der lichtgebende Spalt, eine Forderung, die beim Justieren des Apparates in der Werkstätte in ausreichendem Maße erfüllt ist.

Die *ersten Versuche* mit dem Stereo-Spektral-Photometer habe ich an dem Licht einer *Petroleumlampe* mit Rundbrenner vornehmen lassen. Die Lampe wurde einfach zwischen zwei rechtwinkelige Reflexionsprismen gestellt, die außen auf die Spaltköpfe von T_1 aufgesetzt waren. Nach sorgfältigem Reinigen des Doctes gelang es durch Drehen und Verschieben der Lampe eine ausreichend gleichmäßige Beleuchtung in beiden Bildfeldern herzustellen. Die Anordnung versagte aber vollständig, als ich daran ging, zur Beleuchtung der beiden Spalte T_1 Gasglühlicht oder das Licht einer elektrischen Glühlampe oder einer Quecksilberlampe zu verwenden.

Ich bin dann zu der aus Fig. 27 und 28 ersichtlichen neuen Versuchsanordnung übergegangen und darf nach den damit gemachten Erfahrungen wohl sagen, damit das Richtige getroffen zu haben. Die Lampe und die beiden Reflexionsprismen habe ich hierbei auf einen Abstand von etwa 15 cm vom Apparat fortgerückt, um Platz zu gewinnen für eine beiderseits zwischen dem Prisma und dem Spalt einzusetzende mattgeätzte Glasplatte (MS in Fig. 27), deren Abstand vom Spalt vom Beobachtungsplatz aus innerhalb der angegebenen Grenzen beliebig variiert werden kann. Auf diese Weise wird die Glasplatte zu einer sekundären Lichtquelle, die nicht allein eine vollkommen gleichmäßige Erhellung des Gesichtsfeldes gewährleistet, sondern auch ermöglicht, die Helligkeiten links und rechts einander genau gleich zu machen, was, wie gesagt, daran erkannt wird, daß die Bewegung des Raumbildes der Marke als eine geradlinige erscheint.

Die Verschiebung der Mattscheibe MS geschieht, wie aus Fig. 28 ersichtlich, mittels Zahn und Trieb. Ein neben der Triebstange befindlicher mm-Maßstab gibt dem Beobachter an seinem Platz jederzeit Aufschluß darüber, wo sich die Glasplatte befindet. Gegen seitlich auffallendes Licht ist die Glasplatte durch die aus Fig. 27 erkennbare Blende — in Fig. 28 absichtlich weggelassen — geschützt. Auch kann die Glasplatte durch Drehen der Stange in der vorderen nahe dem Spalt T_1 gelegenen Anschlagstellung nach oben gestellt und somit aus dem Strahlengang ausgeschaltet werden. In dieser Lage läßt sich die Glasplatte MS ganz hinter den Spaltkopf zurückziehen, so daß jetzt der Spalt T_1 für die Anbringung einer Geißlerschen Röhre z. B. vollständig frei liegt. Das Ausschalten der

Glasplatte aus dem Strahlengang ist besonders wichtig für die erstmalige Einstellung der Lampe und der beiden Reflexionsprismen, die so zu erfolgen hat, daß eine tunlichst gleichmäßige Erleuchtung beider Gesichtsfelder erreicht wird.

Jedes der beiden vorgenannten Reflexionsprismen ist auf einem am Apparat angeschraubten Arm befestigt und um die Vertikalachse zum Drehen eingerichtet, so daß wir bei dem Vergleich von zwei Lichtquellen eine derselben oder auch beide von außen vor die Prismen stellen können.

(Schluß folgt.)