

kennen zu lernen, die getroffenen Einrichtungen praktisch zu erproben, und um einen Fingerzeig zu erhalten, ob und welche Verbesserungen an den Instrumenten noch anzubringen waren. Die eigentliche Verwertung der Instrumente zu Untersuchungen, wo diese die Hauptsache sind, muß Anderen überlassen bleiben.

14. Apparate für spektralunzerlegtes Licht, bei denen die Projektionsbilder der Marken oder diese selbst beidäugig betrachtet werden.

Wir können mit der Konstruktion eines Stereo-Photometers an den oben S. 557 beschriebenen Versuch zur Demonstration des Meßverfahrens gleich anknüpfen, indem wir den Rauchkeil (S. 598) in eine Metallhülse von der doppelten Länge des Rauchkeiles setzen und seine Fassung mit Zahn und Trieb, einer Millimeterteilung und einem Index versehen. Die in der Mitte der Hülse angebrachte Durchblicksöffnung bedecken wir mit einem zweiten feststehenden Rauchkeil von dem gleichen aber entgegengesetzt gerichteten Keilwinkel und erzielen so in allen Lagen des Keiles für das Fenster eine gleichmäßige Verdunkelung. Auf der dem Trieb gegenüberliegenden Seite der Hülse bringen wir in gleicher Höhe mit dem Fenster die Hälfte einer Untersuchungsbrille an, wie sie der Augenarzt benutzt, nur mit dem Unterschied, daß die Halbbrille *vorn und hinten* mit je einem Halter für Einsteckgläser versehen ist. In den einen Halter bringt man ein Rauchglas, dessen Absorptionskraft nur wenig stärker ist, als die des Rauchkeiles an seiner dünnsten Stelle und erzielt damit für die Nullstellung des Apparates eine Ablesung, die zwar nicht vollkommen mit dem Nullpunkt der Millimeterteilung zusammenfällt, aber doch innerhalb der Teilung zu liegen kommt.

In den anderen Halter steckt man das zu untersuchende Rauch- oder Farbglas. So entsteht ein für den Gebrauch in *Augenkliniken* geeignetes *Stereo-Photometer für den Handgebrauch* (Fig. 14), das in Verbindung mit einer der beiden Projektionseinrichtungen (siehe Fig. 3 und 4) dem Ophthalmologen die Möglichkeit bietet, die *farbigen Schutzgläser* nach der Größe ihrer Helligkeit *in die Reihe der Umbralgläser einzuordnen*. Die Umrechnung der an der mm-Skala abgelesenen Werte in Prozente der absorbierten Lichtmenge geschieht hierbei zweckmäßig an der Hand einer graphischen Kurve, die man aus den Angaben des Apparates für eine Anzahl Umbralgläser von bekannter Absorption ableitet. Dem Wunsche des Herrn Prof. *Stock*, Tübingen, entsprechend hat der von Herrn Prof. *Goldberg*, Dresden, hergestellte Rauchkeil versuchsweise einen solchen Keilwinkel erhalten, daß die Angaben des Apparates für ein 80proz. Umbralglas nahezu an der dunkelsten Stelle des Rauchkeiles sich befinden. Um auch stärkere Absorptionen messen zu

## Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie<sup>1)</sup>.

Von C. Pulfrich, Jena.

(Fortsetzung.)

### II. Teil.

#### Anwendungen der neuen Methode.

Wenn ich jetzt dazu übergehe, über Apparate zu berichten, die im letzten Jahre auf Grund der neuen Methode hergestellt wurden, so bitte ich vor allem, diese Apparate als das anzusehen, was sie gewesen sind, nämlich *Versuchsinstrumente*, die nach Skizzen von mir in der der Meßabteilung der Firma angeschlossenen Lehrlings- und Versuchsabteilung unter der Leitung des Herrn Werkführers *A. Angelroth* zur Ausführung gelangten. Sie genügten für den Zweck, für den sie bestimmt waren, aber in ihrer äußeren Aufmachung entsprechen sie nicht den Anforderungen, die man an die katalogmäßigen Instrumente der Firma *Carl Zeiß* zu stellen gewohnt ist. Bei den nunmehr definitiv zu bauenden Stereo-Photometern werden natürlich auch diese mehr äußerlichen Mängel der Instrumente in Wegfall kommen.

Ich werde über nur wenige Messungsreihen zu berichten haben, einmal deshalb, weil ich selbst nicht in der Lage war und bin, mit den Instrumenten zu arbeiten, dann aber auch deshalb, weil die von anderen Personen auf meinen Wunsch hin ausgeführten Versuche meist nur zu dem Zwecke unternommen wurden, die Erscheinungen

<sup>1)</sup> Im Auszug vorgetragen auf dem Physikertag in Jena am 21. IX. 1921.

können, ist die Einrichtung getroffen, daß vor der Durchblicksöffnung für den Rauchkeil noch ein Halter angebracht wird, in den ein 80prozentiges Umbralglass eingesetzt werden kann. Der Wertbereich des Keiles wird dadurch auf das Doppelte erhöht: auch kann dieses Verfahren wiederholt werden.

In bezug auf die *Klassifizierung der farbigen Gläser* in die Reihe der Umbralgäser ist aber zu beachten, daß die für farbige Schutzgläser gefundenen Werte nur gültig sind für das bei der Projektion der bewegten Marke benutzte Licht der Projektionslampe, wegen der etwas anderen spektralen Zusammensetzung nicht auch für Tageslicht, und auch für dieses nicht für alle Tageszeiten.

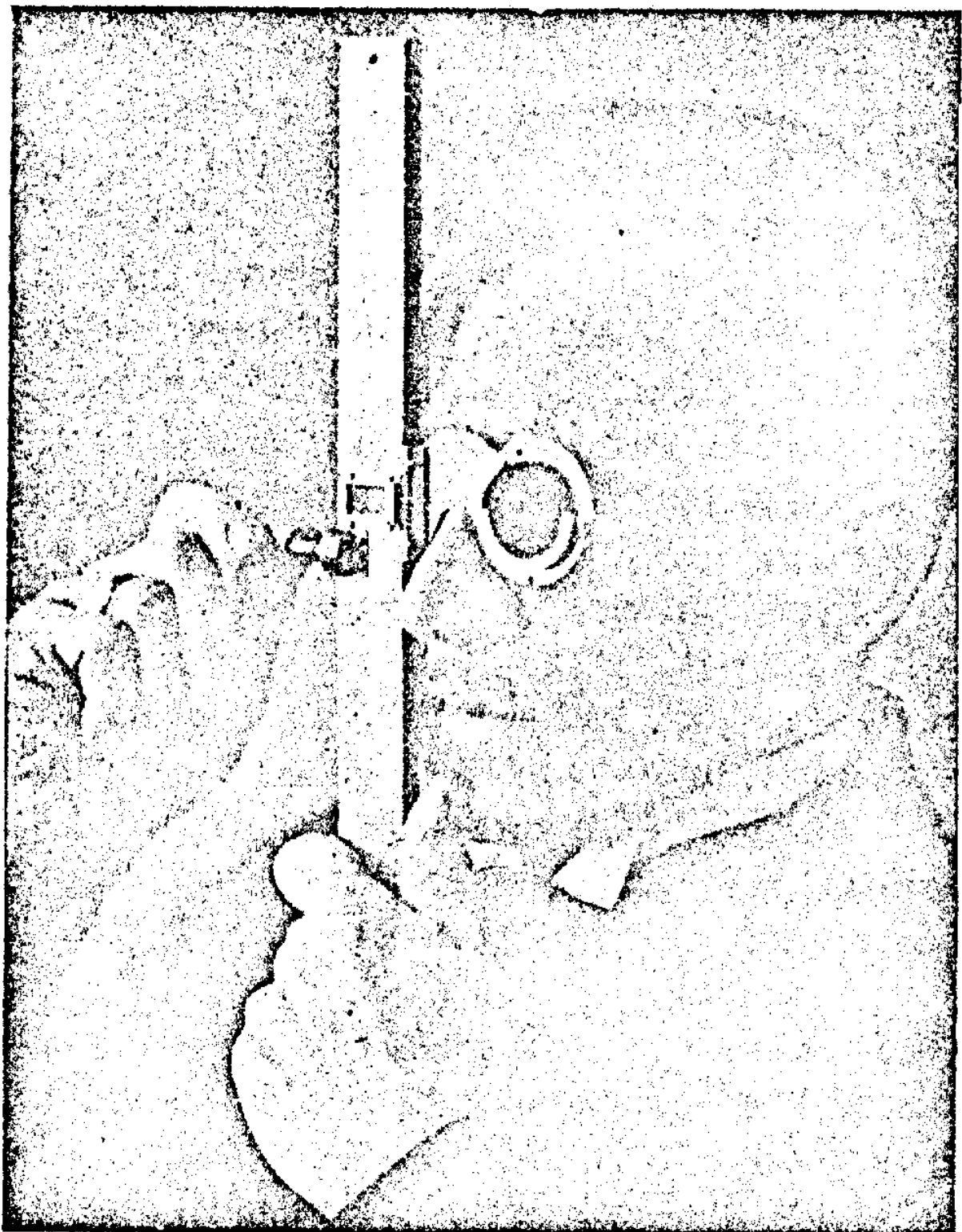


Fig. 14. Ein für den Gebrauch in Augenkliniken bestimmtes Stereo-Photometer für den Handgebrauch.

Diese Abhängigkeit von der Helligkeit der Lichtquelle macht sich aber nicht bei allen Farbfiltern in gleicher Weise bemerkbar. Ich habe darüber mit einem weiter unten beschriebenen Photometer Vergleichsmessungen anstellen lassen unter Benutzung einer Osramlampe, deren Leuchtkraft durch Anwendung eines Rheostaten von der Rotglut bis zur Weißglut gesteigert wurde. Hierbei hat sich ergeben, daß das Verhältnis der in Farbfiltern zurückgehaltenen Lichtmenge zur auffallenden bei *grünen und blauen* Farbgläsern mit zunehmender Helligkeit der Lichtquelle sehr nahe *konstant* bleibt, während bei *roten, gelben und braunen* Farbgläsern *dasselbe* Verhältnis mit zunehmender Helligkeit der Lichtquelle *sehr stark zunimmt*. Hieraus ergibt sich das für den Augenarzt bemerkenswerte Resultat, daß der durch rote, gelbe und braune Farbgläser ausgeübte relative Schutz der Augen

gegen blaues Licht mit zunehmender Helligkeit immer besser zur Geltung kommt. Es erscheint daher angebracht, bei Hochtouren Rotgläser zu verwenden.

Der Apparat kann statt mit einem Rauchkeil auch mit einem Stufenkeil ausgerüstet werden, oder man wählt die Anordnung so, daß man auf einer Drehscheibe einen Ringkeil (nach Prof. Goldberg) oder einen Satz von abgestuften Umbralgäsern am Auge vorbeiführt. Ist ein solcher Satz von losen Umbralgäsern vorhanden, so kann auch die Untersuchungsbrille des Augenarztes ohne weiteres als Photometer benutzt werden derart, daß man in die eine Hälfte der Brille das zu untersuchende Farbglas und in die andere Hälfte das Umbralglass steckt und dieses so lange wechselt, bis die größte Annäherung an die Geradlinigkeit der Bewegung erzielt ist.

Für die Messung ist das oben empfohlene Verfahren, die auf den Projektionsschirm geworfenen Bilder der Marken durch das Photometer zu betrachten, besonders deshalb zu empfehlen, weil das von den Markenbildern zurückgeworfene Licht infolge des sehr geringen Konvergenzwinkels der Blickrichtungen für beide Augen des Beobachters als gleich hell anzusehen ist, wobei nur vorausgesetzt wird, daß der Beobachter nicht allzuweit seitwärts vom Projektionsapparat sitzt. Am besten setzt sich der Beobachter so, daß er den Projektionsapparat hinter sich hat.

Unser früher beschriebenes einfaches Experiment mit dem an die Fensterscheibe geklebten

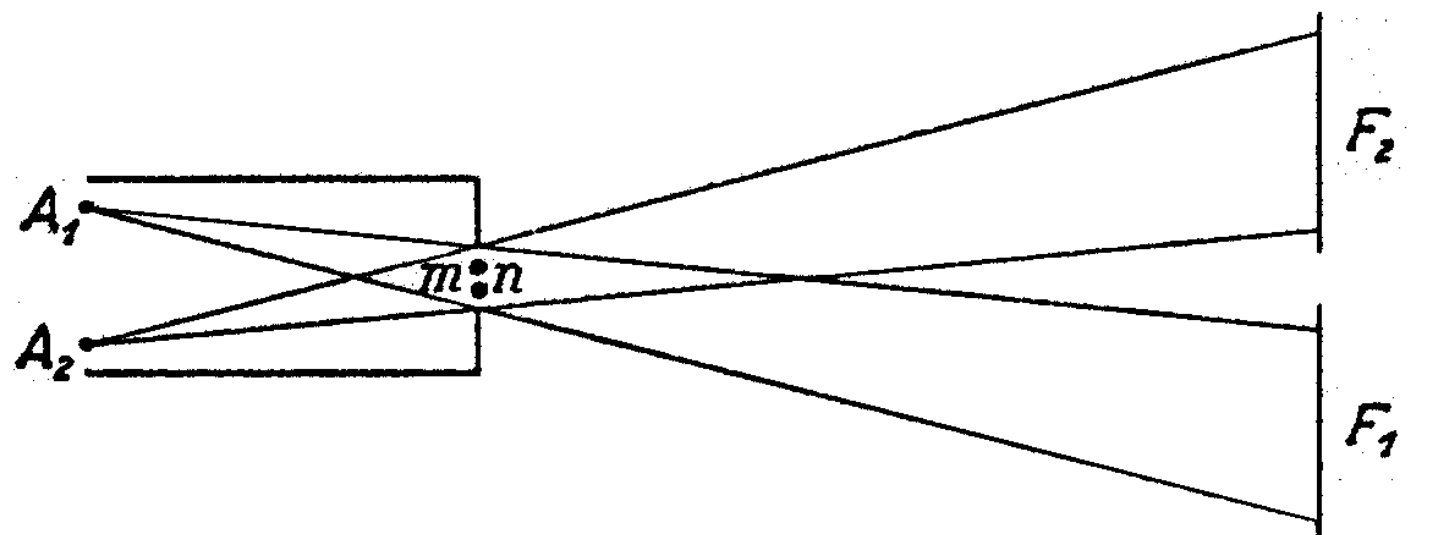


Fig. 15. Stereoskopische Betrachtung der am Ende eines Rohres befindlichen Marken, zum Zwecke des Vergleichs der Helligkeiten zweier Flächen  $F_1$  und  $F_2$ .

Bleistift eignet sich für genaue Messungen nur wenig, da es infolge des viel größeren Konvergenzwinkels der Blickrichtungen im allgemeinen schwer hält, in beiden Richtungen die gleiche Helligkeit für den Hintergrund zu erhalten.

Jedenfalls ist anzuraten, in allen Fällen jede Messung *zweimal*, einmal mit dem Rauchkeil links und dann mit dem Rauchkeil rechts vorzunehmen und durch Mittelbildung etwaige Differenzen in der Beleuchtung links und rechts auszugleichen.

Eine Anordnung, die mehr für Vergleichsbeobachtungen als für Messungen bestimmt ist und bei der statt der Projektionsbilder die Marken selbst benutzt werden, besteht darin, daß man mit beiden Augen durch ein 8 cm weites und ca. 30 cm langes Rohr hindurchschaut, an dessen anderem Ende die Marken diese nach Art der Anordnung in Fig. 4 angebracht sind. Wir

verwerten hierbei die durch die Konvergenzstellung der Augenachsen gegebene Strahlenbegrenzung (siehe Fig. 15) in derselben Weise, wie man mit über Kreuz gestellten Blickrichtungen zwei an der Wand befestigte Halbbilder einer Stereoaufnahme zu einem stereoskopischen Raumbild vereinigt. Der Unterschied ist nur der, daß im vorliegenden Falle die beiden Flächen  $F_1$  und  $F_2$  in Fig. 15 ausschließlich zur Beleuchtung der Marken  $m$  und  $n$  in den beiden Blickrichtungen dienen. Hierbei lenkt man zweckmäßig die in einer horizontalen Ebene gelegenen Blickrichtungen durch einen unmittelbar hinter den Marken angebrachten Spiegel nach unten auf den Tisch, auf den dann die miteinander zu vergleichenden Körper, z. B. zwei Papiersorten, dem Tages- oder Lampenlicht zugewandt, nebeneinander zu liegen kommen. Eine solche einfache Versuchsanordnung ist für mancherlei physiologische Studien, so z. B. für den Vergleich von roten und blauen Farben bei abnehmender Beleuchtung (Studium des Purkinjeschen Phänomens) verwendbar.

Um die vorstehende Anordnung auch zu Messungen verwendbar zu machen, führen wir die beiden horizontalen Blickrichtungen einzeln durch je ein in einem angemessenen Abstand hinter den Marken angebrachtes Reflexionsprisma, dessen vordere vertikal stehende Fläche auf der zugehörigen Blickrichtung senkrecht steht, vertikal nach unten. Wir sind dann in der Lage, die Einrichtungen zu verwenden, wie sie in der Kolorimetrie farbiger Flüssigkeiten benutzt werden und das dort angewandte Verfahren, Messung der Absorption durch Änderung der Höhe einer der beiden Flüssigkeitssäulen, zur Anwendung zu bringen.

Einen Nachteil haben die in diesem Abschnitt beschriebenen Stereophotometer. Denn zu den Anforderungen, die an den Beobachter hinsichtlich seiner Fähigkeit stereoskopisch zu sehen gestellt werden (siehe die Angaben in Abschnitt 13), kommt jetzt noch die weitere hinzu, daß die Pupillen der Augen des Beobachters die gleiche Größe und auch die gleiche Reaktionsfähigkeit gegen Lichtwechsel haben, da von der Größe der Pupille die Helligkeit des Netzhautbildes ebenfalls abhängt. Aus diesem Grunde kann ich den vorstehend bezeichneten Stereo-Photometer-Konstruktionen nicht die praktische Bedeutung zuerkennen, wie sie den im folgenden beschriebenen Konstruktionen, bei denen dieser Nachteil vermieden ist, zukommt.

### 15. Anwendung von Doppelfernrohren und Ersatz der Marken durch die stereoskopischen Halbbildmarken.

Bei den nachstehend beschriebenen Stereo-Photometern gelangen statt der Marken  $m$  und  $n$  die in den Bildfeldebene eines für den beid-  
 äugigen Einblick eingerichteten Doppelfernrohres oder eines ebensolchen Doppelmikroskops angebrachten Halbbildmarken zur Anwendung. Daß

das ausführbar ist, beweisen die im ersten Abschnitt beschriebenen am Stereokomparator und Stereoaufnahmegeräten gemachten Beobachtungen, von denen wir ausgegangen sind<sup>1)</sup>. Dadurch ist man in den Stand gesetzt, den am Schlusse des ?? Abschnittes erwähnten Nachteil zu vermeiden, wozu nur notwendig ist, die optische Einrichtung des Apparates so zu gestalten, daß die Austrittspupillen des Doppelfernrohres oder des Doppelmikroskops kleiner sind als die Augenpupillen des Beobachters, und dafür zu sorgen ist, daß diese Austrittspupillen auch voll und ganz von den Augen des Beobachters aufgenommen werden (siehe dieserhalb den nächsten Abschnitt).

<sup>1)</sup> Ergänzend zu den in den Abschnitten 1 und 6 beschriebenen Versuchen möchte ich bei dieser Gelegenheit noch bemerken, daß die Erscheinung der kreisenden Marke auch mit Hilfe des Stereo-Telemeters vorgeführt werden kann. Man braucht nur das Raumbild der zur Messung der Entfernung dienenden Marke auf einen freistehenden Gegenstand, z. B. auf eine Kirchturmspitze einzustellen und den Apparat hin und her zu bewegen. Erzeugt man dann durch Anwendung eines der in Abschnitt 1 Seite 555 angegebenen Mittel eine ungleiche Helligkeit links und rechts, so findet sofort ein Kreisen des Objektpunktes um die Meßmarke herum statt. Das Auftreten der kreisenden Marke bildet also auch hier ein willkommenes Reagens auf das Vorhandensein ungleicher Helligkeiten.

Sehr viel schwerer ist der Nachweis einer Helligkeitsdifferenz der beiden Bilder bei den monokularen Entfernungsmessern, und zwar aus dem Grunde, wie ich bereits an früherer Stelle (Seite 563 links unten) ausführte, weil es schwer hält, an den schnell vorüberziehenden Bildern Einzelheiten ihrer Form zu erkennen. Daher kommt es auch, daß beim monokularen Entfernungsmesser — im Gegensatz zur Stereo-Methode — die Unsicherheit der Einstellung auf Koinzidenz mit wachsender Geschwindigkeit der Bilder immer mehr zunimmt und daß selbst größere Abweichungen, die bei ruhenden Bildern als solche sofort erkannt werden, bei Bildern, die mehr oder weniger schnell das Gesichtsfeld passieren, sich gar leicht der Wahrnehmung entziehen. Daß man bei der Messung bestrebt sein wird, durch entsprechende Nachführung des Entfernungsmessers die Bilder des bewegten Zieles tunlichst in relative Ruhe zum Gesichtsfeld zu bringen, bedarf wohl kaum eines besonderen Hinweises.

Zum Nachweis der Tatsache, daß auch beim monokularen Entfernungsmesser die Empfindung des schwächeren Reizes hinter der des stärkeren Reizes zurückbleibt, benutzte ich den im Fig. 4 Seite 557 dargestellten Hilfsapparat  $B$  mit folgender Abänderung. Die beiden Marken wurden entfernt, am oberen Schlitten ein gerader vertikal stehender dünner Stab befestigt und das Fenster mit einem Rauchglase bedeckt, dessen obere Hälfte von der Rauchschiebt befreit war. Beim Projizieren des hin- und hergehenden Stabes sieht man dann, daß die obere Stabhälfte auf dem helleren Hintergrunde jedesmal der unteren Stabhälfte voran-eilt. Da die Verschiebung der beiden Stabhälften in der Mitte des Gesichtsfeldes am größten, in den Umkehrlagen aber gleich Null ist, so tut man gut, die Umkehrlagen durch Auflegen von Blenden der Beobachtung zu entziehen. Auf diese Weise vorgegangen, tritt dann das Zurückbleiben der einen Stabhälfte deutlich in die Erscheinung. Wie ich vor kurzem durch Herrn Geheimrat v. Heß erfahren habe, hat er schon im Jahre 1904 genau den gleichen Versuch mit etwas anderen Mitteln, aber mit dem gleichen Erfolg gemacht und darüber im Archiv für Physiol. Bd. 101[?] Seite 231, berichtet.

Weitere Anforderungen werden an das Doppelfernrohr nicht gestellt. Insonderheit können alle Einrichtungen zur Bildaufrichtung unterbleiben.

Die *Einrichtung der Halbbildmarken und die Vorrichtungen zu ihrer Betätigung* sind bei den nachstehend beschriebenen Instrumenten nicht immer die gleichen. Die in Zukunft zur einheitlichen Ausführung gelangende Anordnung ist so, wie sie in Fig. 16 schematisch wiedergegeben ist. Sie gewährt dem Beobachter die Möglichkeit, von jeder der früher beschriebenen vier Meßmethoden (*a, b, c* und *d* in Fig. 13) Gebrauch zu machen und diejenige zu wählen, welche ihm am besten zusagt. Die Meinungen darüber sind, wie gesagt, nicht immer die gleichen.

Wie beim Demonstrationsapparat (Fig. 4) dient die Schraube *E* zur Veränderung der Länge *l* der Kurbelstange. Außerdem ist hier eine Schraube *v* vorgesehen, welche den Radius *r* der Drehscheibe und damit den Ausschlag der bewegten Marke zur Seite zu verändern gestattet. Der bei der Anordnung in Fig. 4 für die Übertragung der Bewegung des oberen Schlittens auf

teren Marke mit dem Abstand der oberen Marke in Übereinstimmung zu bringen. Über den Erfolg entscheidet am besten der stereoskopische Anblick der Marken in ihrer Ruhelage.

Als Halbbildmarken habe ich zuerst schwache Keile, dann mit bestem Erfolg ausgesuchte gerade *Nähnadeln* benutzt. Neuerdings hat Herr *Angelroth*, der ein gutes stereoskopisches Sehvermögen besitzt und viele Beobachtungen und Messungen für mich ausgeführt hat, den Versuch gemacht, an den Nadelspitzen kleine *Kugeln* anzubringen, die, wie er und einige andere Beobachter behaupten, für die Beobachtung der kreisenden Marke und das Aufsuchen der Geradlinigkeit der Bewegung besser geeignet seien als die spitzen Marken. Nur ist die genaue Herstellung solcher Kugeln mit der hier erforderlichen Genauigkeit mit allzu großen Schwierigkeiten verbunden.

Bei allen nachstehend beschriebenen Photometern hat der Beobachter aus Gründen, auf die ich im nächsten Abschnitt zurückkommen werde, beim Einblick in das Stereookular seinen Kopf

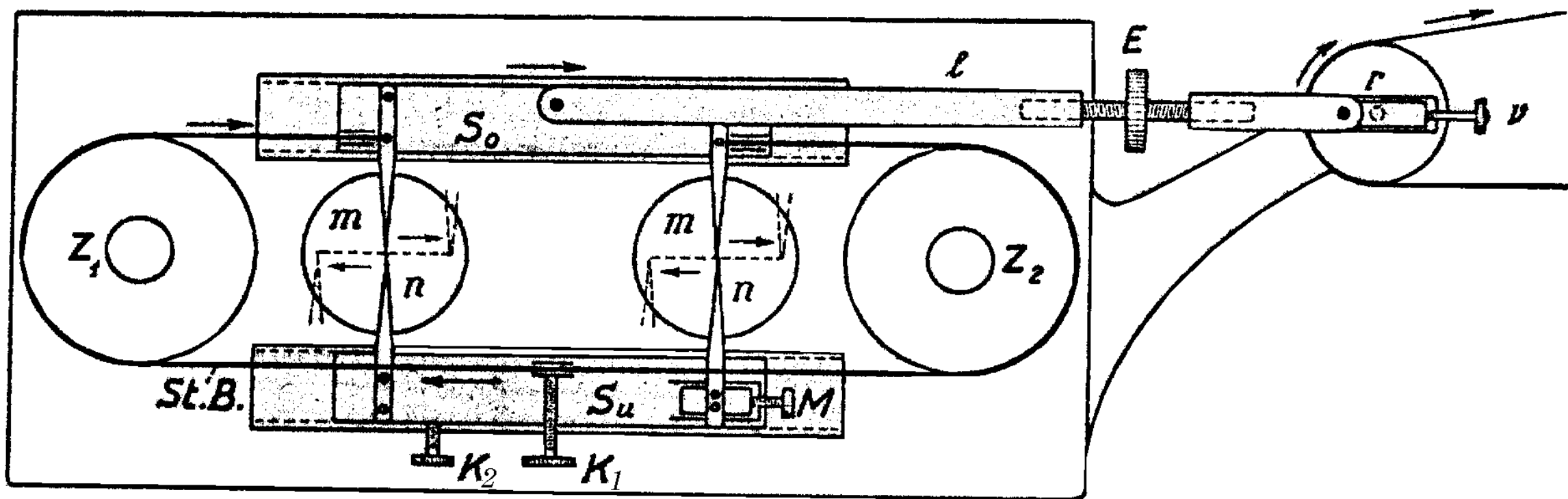


Fig. 16. Die Anordnung der Marken in der Bildfeldebene des Doppelfernrohres, welche dem Beobachter unter den durch Fig. 13 dargestellten Arten der Markenbewegung die Auswahl überläßt.

den unteren vorgesehene Doppelhebel hat sich für unsere Meßapparate als nicht recht geeignet erwiesen. Er wurde durch eine Anordnung ersetzt, die den Vorzug hat, daß sie in den Umkehrlagen der Marken, wo leicht ein Stocken der Bewegung eintritt, keinen toten Gang aufweist. Zu dem Ende wurde für die genannte Übertragung der Bewegung ein gespanntes *Stahlband* vorgesehen, das mit seinen Enden am oberen Schlitten *S<sub>o</sub>* dauernd befestigt ist, links und rechts über einen neben dem Okular angebrachten Zylinder auf Kugellager läuft und den unteren Schlitten *S<sub>u</sub>* mitnimmt, wenn die Klemme *K<sub>1</sub>* angezogen ist, oder ihn stehen läßt, wenn *K<sub>1</sub>* nicht angezogen und zur Sicherheit noch *K<sub>2</sub>* angezogen ist. Ferner ist noch die in Fig. 16 sichtbare Mikrometerschraube *M* zu erwähnen, welche es dem Beobachter ermöglicht, den Abstand der beiden unteren Marken voneinander zu verändern. Versieht man diese Schraube mit einer Meßtrommel, so kann sie zur Messung der Tiefenausschläge der kreisenden Marke benutzt werden. Im allgemeinen bleibt die Meßtrommel fort, und man benutzt die Schraube *M* nur dazu, den Abstand der un-

tunlichst ruhig zu halten. Daher wird man ihm auch nicht wohl zumuten dürfen, daß er das zum Bewegen der Marken dienende Kurbelrad etwa durch Drehen mit der Hand selbst in Bewegung setzt. Denn hierbei pendelt der Oberkörper des Beobachters und mit ihm der Kopf leicht hin und her. Ein Schwungrad mit Fußantrieb ist in der Hinsicht schon viel besser. Am besten aber überträgt man die Arbeit einem Gehilfen oder bei Dauerbeobachtungen einem der bekannten für solche Arbeitsleistungen besonders geeigneten *Heinricischen Heißluftmotoren*.

#### 16. Die Anpassung der Okulare an den Augenabstand des Beobachters

erfolgt in derselben Weise wie beim Stereokomparator, muß aber hier, wo es sich um Helligkeitsmessungen handelt, mit einer sehr viel größeren Sorgfalt vorgenommen werden als dort. Denn die Austrittspupillen des Doppelfernrohres sollen nicht nur, wie oben angegeben wurde, voll und ganz von den Pupillen des Beobachters aufgenommen werden, sie müssen auch in beiden Augen

gleichgelegen sein, so wie das in a der nachstehenden Figur 17 angedeutet ist. Die Pupille

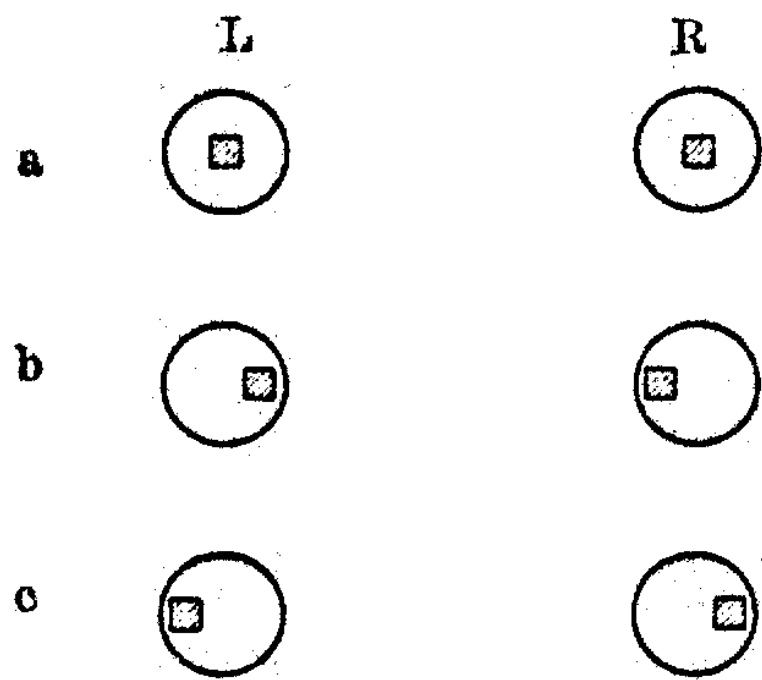


Fig. 17: Die Lage der Austrittspupillen des Doppel Fernrohres innerhalb der Pupillen des Beobachters a) bei richtiger, b) und c) bei falscher Einstellung des Okularabstandes.

des Auges ist dargestellt durch den Kreis. Das kleine Rechteck darin ist die Austrittspupille, das ist in diesem Falle das unmittelbar vor dem

rechts, so findet im ersten Falle sofort eine Abblendung der rechten, im zweiten Falle eine Abblendung der linken Austrittspupille statt. Im ersten Falle verwandelt sich die vorher geradlinige Bewegung des Raumbildes der Marke in eine kreisende links herum und im anderen Falle in eine kreisende rechts herum. Wenn man also hierauf achtet, weiß man auch sofort, wie die Einstellung der Okulare zu verbessern ist. Mit dieser Prüfung und Korrektur fahren wir so lange fort, bis kein Kreisen der Marke beim Hin- und Hergehen des Kopfes mehr eintritt.

Endlich ist noch zu empfehlen, daß Beobachter mit Brille diese beim Einblick in das Doppelokular herunternehmen.

Die *Einstellung der Okulare auf größtmögliche Bildschärfe* hat wie beim Stereokomparator für jedes Auge einzeln und vor der Nulleinstellung des Apparates (Regulierung der Beleuch-

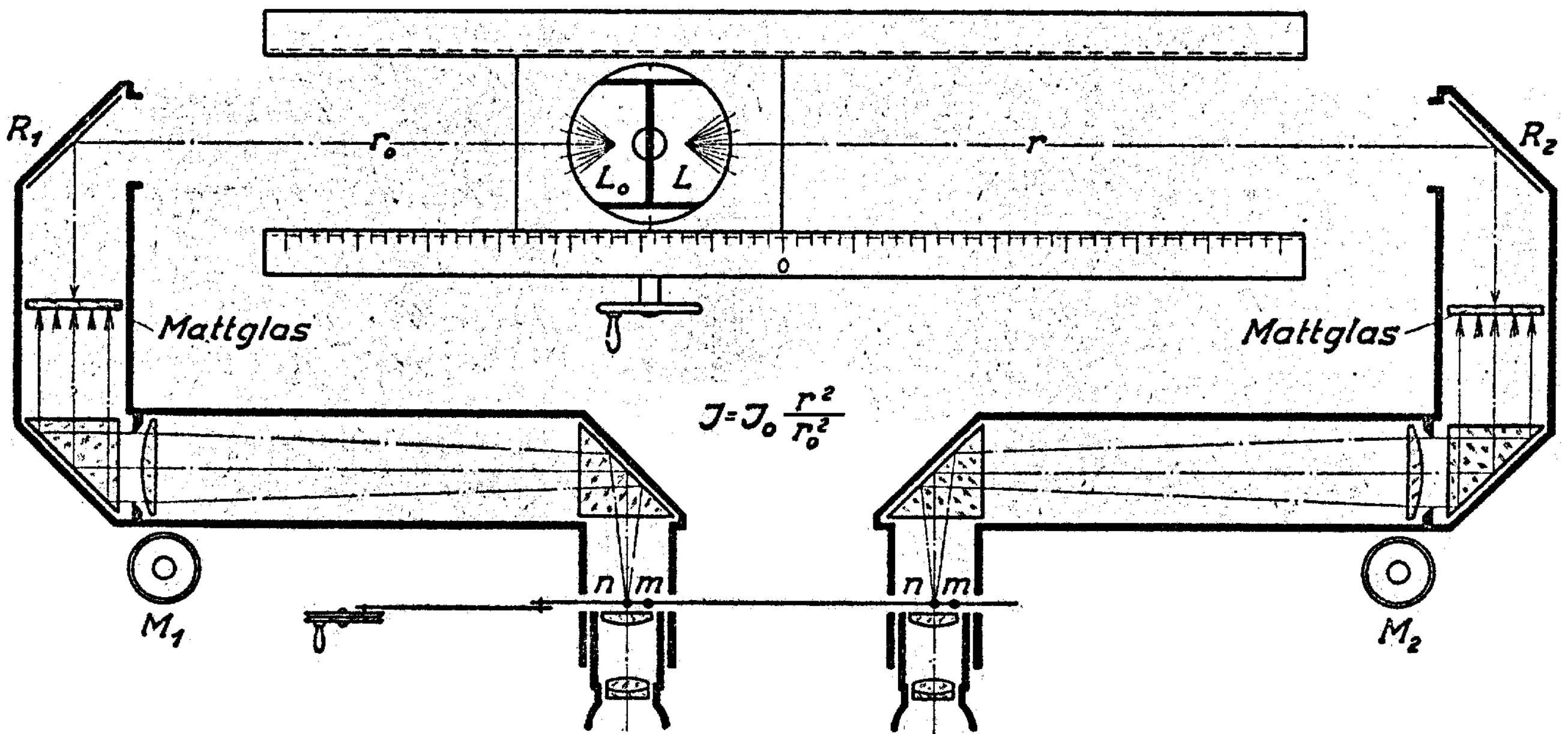


Fig. 18. Ein für den Vergleich zweier Lichtquellen  $L$  und  $L_0$  bestimmtes Stereophotometer.

Okular gelegene stark verkleinerte Bild der vor dem Fernrohrobjectiv angebrachten rechteckigen Öffnung, auf die ich im nächsten Abschnitt noch näher zu sprechen komme. Es ist klar, daß in diesem Falle, aber auch nur in diesem Falle, der Kopf des Beobachters aus der mittleren Lage um mehrere Millimeter nach links und nach rechts verschoben werden kann, ohne daß die Austrittspupille mit dem Pupillenrand des Auges zusammentrifft, und es ist ferner klar, daß selbst für den Fall, daß eine Abblendung eintritt, sie doch, gleichgroße Pupillen des Beobachters vorausgesetzt, für beide Austrittspupillen sehr nahe gleich groß ist. Das auf Geradlinigkeit der Bewegung eingestellte Raumbild der kreisenden Marke behält daher sein Aussehen beim Hin- und Hergehen des Kopfes fast unverändert bei.

Ganz anders aber liegt die Sache, wenn der Okularabstand entweder zu klein (Fig. 17 b) oder zu groß (Fig. 17 c) ist. Geht man jetzt aus der Mittelstellung mit dem Kopf beispielsweise nach

Rechts, siehe darüber weiter unten) zu erfolgen. Man hält diese Einstellung, um einer etwaigen Beeinflussung der Nulleinstellung zu entgehen, auch für die sich daran anschließende Messungsreihe *unverändert* bei.

17. Die beim Doppelfernrohr zur Messung der Helligkeiten dienende Vorrichtung, erläutert an einem Stereophotometer, das für den Vergleich zweier Lichtquellen bestimmt ist.

Das Photometer ist zur Zeit der Niederschrift dieser Zeilen noch in Arbeit. Seine Einrichtung ist aus der schematischen Zeichnung Fig. 18 ersichtlich. Das Doppelfernrohr ist ein solches mit erweitertem Objektivaabstand. Die beiden miteinander zu vergleichenden Lichter  $L$  und  $L_0$  stehen nahe beieinander, aber getrennt durch eine schwarze Scheidewand, auf einer Drehscheibe und diese auf einem Schlitten, der vom Beobachtungsplatz aus durch eine Kurbel hin und her ge-

schoben werden kann. Die durch die beiden Reflektoren  $R_1$  und  $R_2$  dem Doppelfernrohr zugeführten Strahlen treffen vor ihrem Eintritt in dasselbe beiderseits auf eine mattgeätzte Glasplatte, die dadurch zum Selbstleuchten gebracht wird.

Die Messung kann bei diesem Instrument auf zweierlei Art durchgeführt werden, zunächst in der bekannten Weise, daß man den Schlitten soweit verschiebt, bis Gleichheit der Helligkeiten eintritt. Alsdann entnimmt man den Angaben des Maßstabes die Werte für die Abstände  $r$  und  $r_0$  der Lichtquelle von der Mattscheibe und leitet daraus in bekannter Weise das Helligkeitsverhältnis ab.

Man wiederholt die Messung, nachdem man den Träger der beiden Lichter um  $180^\circ$  gedreht hat, und nimmt das Mittel.

Die andere Art der Helligkeitsmessung, so wie sie auch bei allen nachstehenden Photometerkonstruktionen, die sich auf die Anwendung von Doppelfernrohren gründen, zur Anwendung gelangt ist, beruht auf der Tatsache, daß jeder Lichtpunkt im Bildfeld eines auf unendlich eingestellten Fernrohres hervorgerufen wird durch ein Bündel paralleler Strahlen und daß jede Verminderung des Querschnittes dieses Bündels eine entsprechende Verminderung der Helligkeit des Gesichtsfeldes zur Folge hat. Zu dem Zweck ist vor jedem der beiden Objektive eine *rechteckige Öffnung* angebracht worden, links und rechts genau gleich groß und so beschaffen, daß zwei einander gegenüberstehende Seiten des Rechteckes *symmetrisch nach der Mitte* mit Hilfe einer *Meßschraube* verschoben werden können, während die beiden anderen Seiten ihren Abstand voneinander unverändert beibehalten. Die an der 100-teiligen Trommel abgelesene *Höhe des Rechteckes* ist somit ein Maß nicht nur für den Querschnitt der Öffnung, sondern auch für die von ihr durchgelassene *Lichtmenge*.

Bei allen diesen Doppelfernrohren ist die beschriebene Meßvorrichtung ( $M_1$  und  $M_2$  in Fig. 18) links und rechts deshalb vorgesehen, damit man die Messung durch Vertauschen von links und rechts wiederholen und durch Mittelbildung etwaige einseitige Fehler, die im Beobachter oder in einer fehlerhaften Nulleinstellung liegen, ausgleichen kann. Bei dem vorliegenden Instrument (Fig. 18) geschieht das Vertauschen der beiden Lampen, wie bereits erwähnt, einfach durch Drehen ihres Trägers um  $180^\circ$ . Die Mittelstellung ( $r = r_0$ ) bleibt natürlich hierbei die gleiche.

### 18. Einige weitere Photometerkonstruktionen für Helligkeitsmessungen im spektral unzerlegten Licht.

Eine andere Anordnung des Doppelfernrohres zeigt der in Fig. 19 dargestellte Apparat. Auch hier ist jedes Fernrohr ausgerüstet mit dem zur

Messung dienenden Objektivspalt  $Sp$  und der Mikrometervorrichtung  $M$ . Die Trommelteilungen von  $M_1$  und  $M_2$  werden beleuchtet durch eine Glühlampe  $B$ , die nach dem Beobachter zu mit einem Blendschirm versehen und jedenfalls gleich nach der Ablesung wieder auszuschalten ist. Die Reflexionsprismen  $P_1$  und  $P_2$  sind auf die Objektivenden aufsteckbar und um die Rohrachse zum Drehen eingerichtet.

In der in Fig. 19 gezeichneten Lage der Prismen ist der Apparat für den Vergleich der Beleuchtungsstärke zweier Lichtquellen verwendbar, nur muß man vorher noch zwischen Objektivspalt

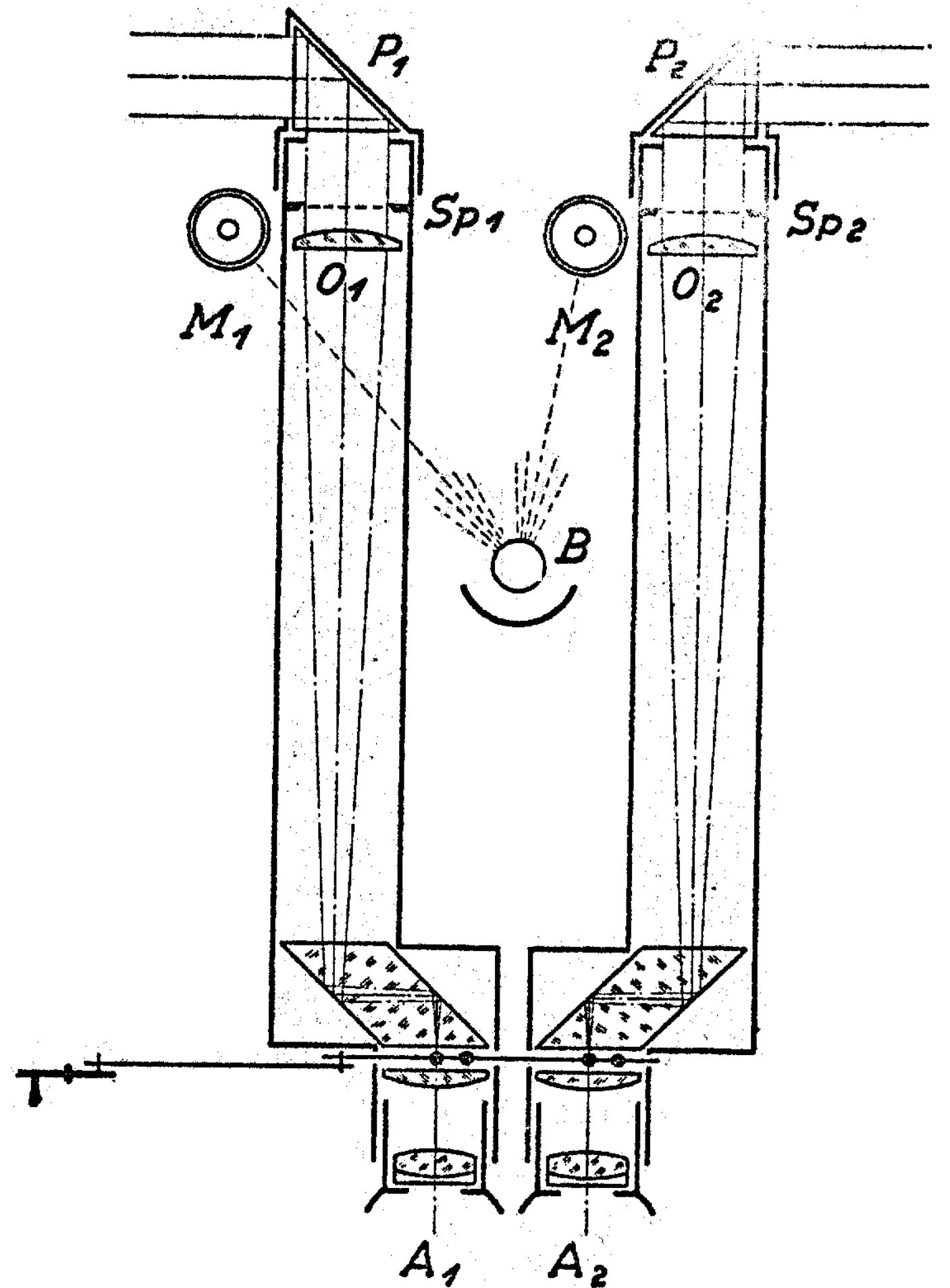


Fig. 19. Schnittzeichnung durch das in Fig. 20 wiedergegebene Stereophotometer.

und Prisma eine Mattglasplatte einfügen, die dann als sekundäre Lichtquelle wirkt.

Eine andere Verwendungsart besteht darin, daß man die Prismen nach unten richtet und auf den Tisch zwei ebene Flächen, z. B. zwei Papiersorten, nebeneinander legt, deren Helligkeitsverhältnis gemessen werden soll; ebenso kann man die Prismen auf verschiedene Stellen des *Himmels* oder die *Wände eines Zimmers* richten und deren Helligkeiten miteinander vergleichen.

Auch für die *Messung des Lichtverlustes in festen und flüssigen Körpern* ist der Apparat verwendbar. Farbige Glasplatten legt man einfach auf die nach oben gerichteten Prismen und beleuchtet von oben. Farbige Flüssigkeiten bringt man in die im 14. Abschnitt erwähnten Kalorimetergefäße und stellt diese unter die nach unten

gerichteten Prismen. Die Beleuchtung erfolgt in diesem Falle, wie üblich, von unten.

Fig. 20 zeigt dasselbe Instrument in der Anordnung, in der es von Herrn Geheimrat *Haber* bei seinen *obenerwähnten Messungen an kolloidalen Lösungen* mit größtem Erfolg benutzt wird. Unter jedes der beiden nach unten gerichteten Prismen ist ein an seinem unteren Ende durch eine ebene Glasplatte geschlossener Rohrstutzen befestigt, von denen der eine in die zu untersuchende Flüssigkeit, der andere in die Vergleichsflüssigkeit eintaucht. Damit sich keine größeren Luftblasen unter der Glasplatte ansammeln können, ist sie etwas schräg gestellt. Kleinere Luftblasen werden abgewischt, nachdem die Beobachtung der Austrittspupille mit einer Lupe die Existenz solcher Luftblasen auf der unteren Seite der Glasplatte dargetan hat. Beide

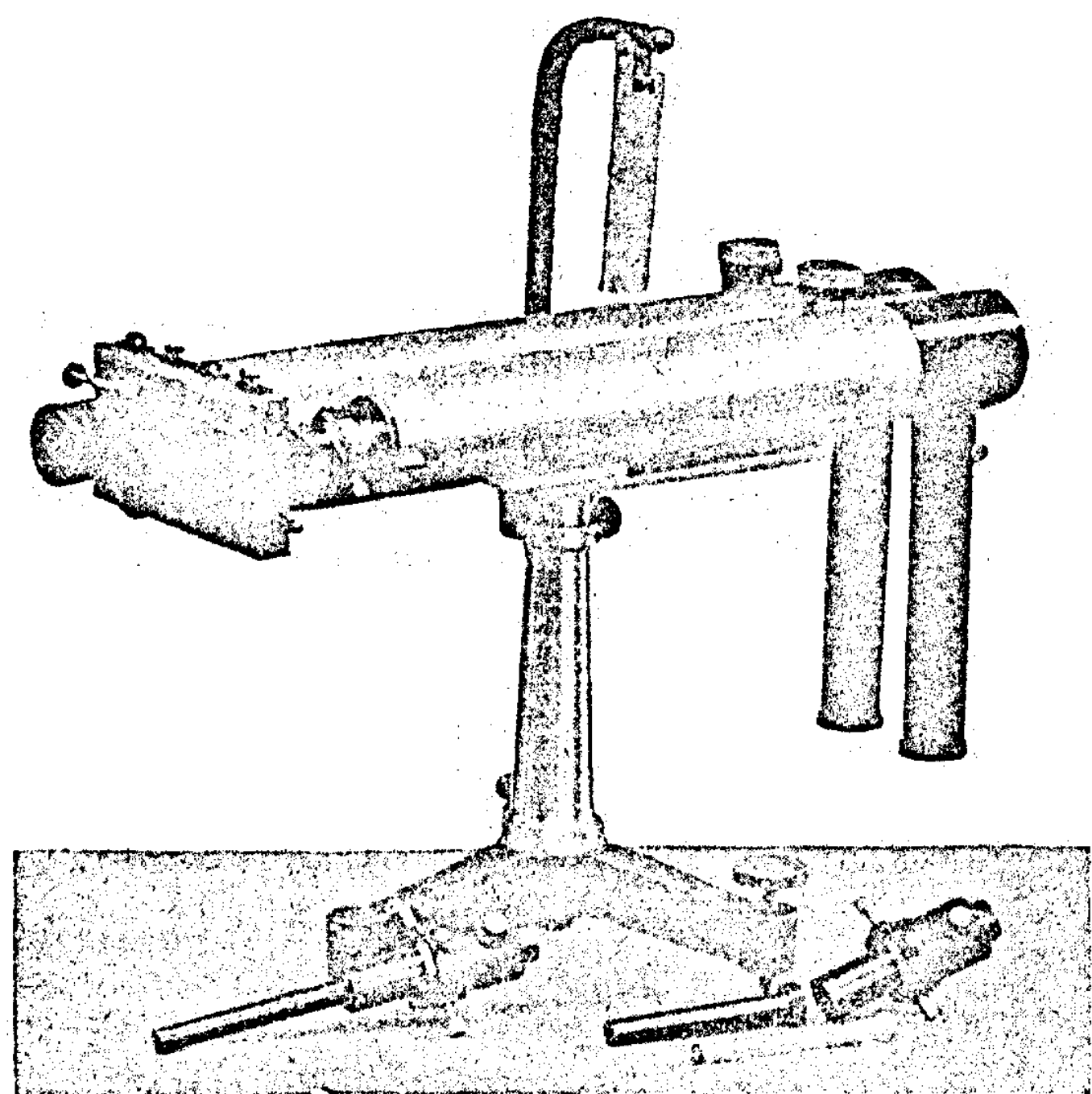


Fig. 20. Das Stereophotometer für physikalisch-chemische und photochemische Laboratorien.

Gefäße werden von oben durch eine Scheinwerferlampe beleuchtet, und man vergleicht jetzt die aus der Flüssigkeit heraus in die Rohre eintretenden Lichtmengen.

Eine weitere Verwendungsmöglichkeit des Photometers besteht darin, daß man die beiden langen Rohrstutzen in Fig. 20 entfernt und an ihre Stelle die in Fig. 20 neben dem Apparat gelegenen Zusatzteile einfügt. Diese bestehen aus zwei Objektiven in Fassung und zwei Kapillaren, diese von 10 cm Länge und 2—3 mm innerem Durchmesser. Die Objektive haben den gleichen Durchmesser wie die des Doppelfernrohrs, aber eine wesentlich kürzere Brennweite. Durch diese Zusatzobjektive wird also unter Doppelfernrohr zu einem *Doppelmikroskop* und das Photometer zu einem *Mikrophotometer*, mit dem man imstande ist, die von kleinen Flächen ausgehende Lichtmengen zu messen. Die Anordnung ist erstmalig von Herrn Geheimrat *Haber* in Gebrauch

genommen worden, dem es darauf ankam, die Lichtemission von Flüssigkeiten messend zu vergleichen, die ihm nur in kleinen Mengen zur Verfügung standen. Zur Aufnahme der Flüssigkeiten dienen die beiden vorerwähnten Kapillaren. Nach erfolgter Füllung wird das obere Ende durch eine Deckglasplatte geschlossen und die Kapillare so unter dem Objektiv befestigt, daß ihr oberes Ende in die vordere Brennebene des Mikroskopobjektivs zu liegen kommt. Von dem beleuchteten Querschnitt der Kapillare erscheint dann ein stark vergrößertes, das ganze Gesichtsfeld ausfüllendes Bild, dessen genaue Zentrierung mit Hilfe der an dem Mikroskopobjektiv angebrachten seitlichen Stellschrauben vorgenommen wird. Die Kapillaren werden von unten durchleuchtet.

Will man denselben Apparat in *photochemischen Laboratorien zur Messung der Licht-*

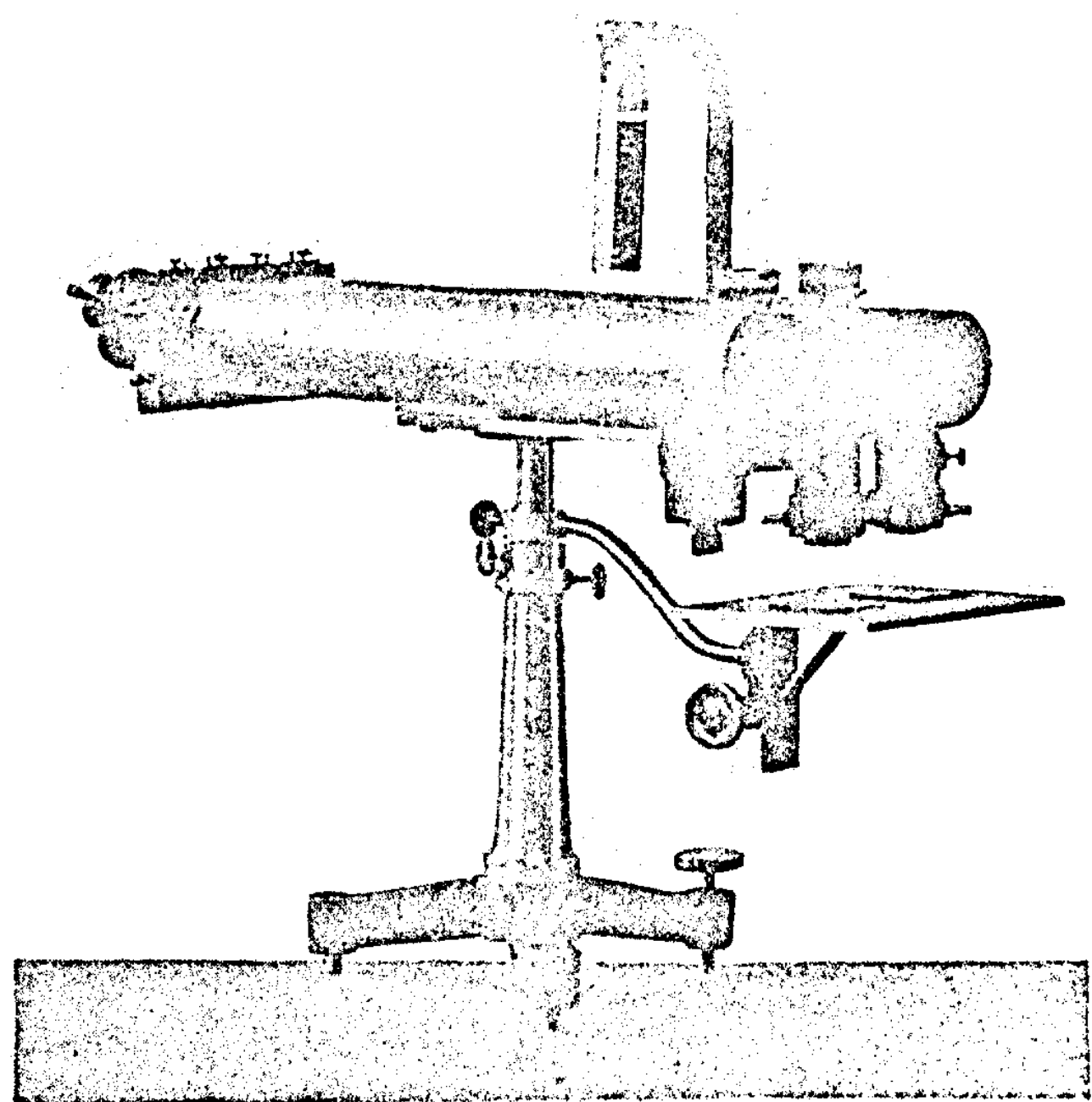


Fig. 21. Dasselbe Instrument in seiner Eigenschaft als Mikrophotometer.

*durchlässigkeit kleinerer Teile von photographischen Schichten* oder auf *Sternwarten zum Photometrieren der Gestirne* an photographischen Sternaufnahmen verwenden, so ergibt sich eine Anordnung, wie sie in Fig. 21 dargestellt ist. An der Stelle, wo sich vorher das obere Ende der Kapillare befand, ist jetzt ein in der Höhe verstellbarer Objektstisch mit zwei Durchblicksöffnungen angebracht, auf die dann die miteinander zu vergleichenden Präparate zu liegen kommen. Daß man den Apparat in dieser Form auch zur Messung der Absorption in farbigen Flüssigkeiten verwenden kann, bedarf wohl kaum eines besonderen Hinweises.

Bei den beiden vorbeschriebenen Versuchsinstrumenten liegen die beiden Fernrohrobjektive und demzufolge auch die beiden Rohre in Fig. 20 und die beiden Mikroskopobjektive in Fig. 21 ungefähr im Augenabstand nebeneinander. Bei den von jetzt an definitiv zu bauenden Apparaten ist

infolge der aus Fig. 19 ersichtlichen Anordnung dieser Abstand auf das Doppelte gebracht worden, so wie das bei dem jetzt zu beschreibenden weiteren Stereophotometer bereits der Fall ist.

Der in den Figuren 22 und 22a veranschaulichte Apparat ist hauptsächlich für den Gebrauch in *technischen Laboratorien* bestimmt und soll dazu dienen, die Messung der *Lichtdurchlässigkeit farbiger Flüssigkeiten* und auch solcher *fester Körper* (Paraffin z. B.) zu ermöglichen; die bei einer Erwärmung auf  $100^{\circ}\text{C}$  flüssig werden. Die Reflexionsprismen  $P_1$  und  $P_2$  in Fig. 19 sind vom Apparat heruntergenommen worden. An ihrer Stelle befinden sich jetzt die Träger für die beiden Absorptionsgefäße. Zur Aufnahme der zu unter-

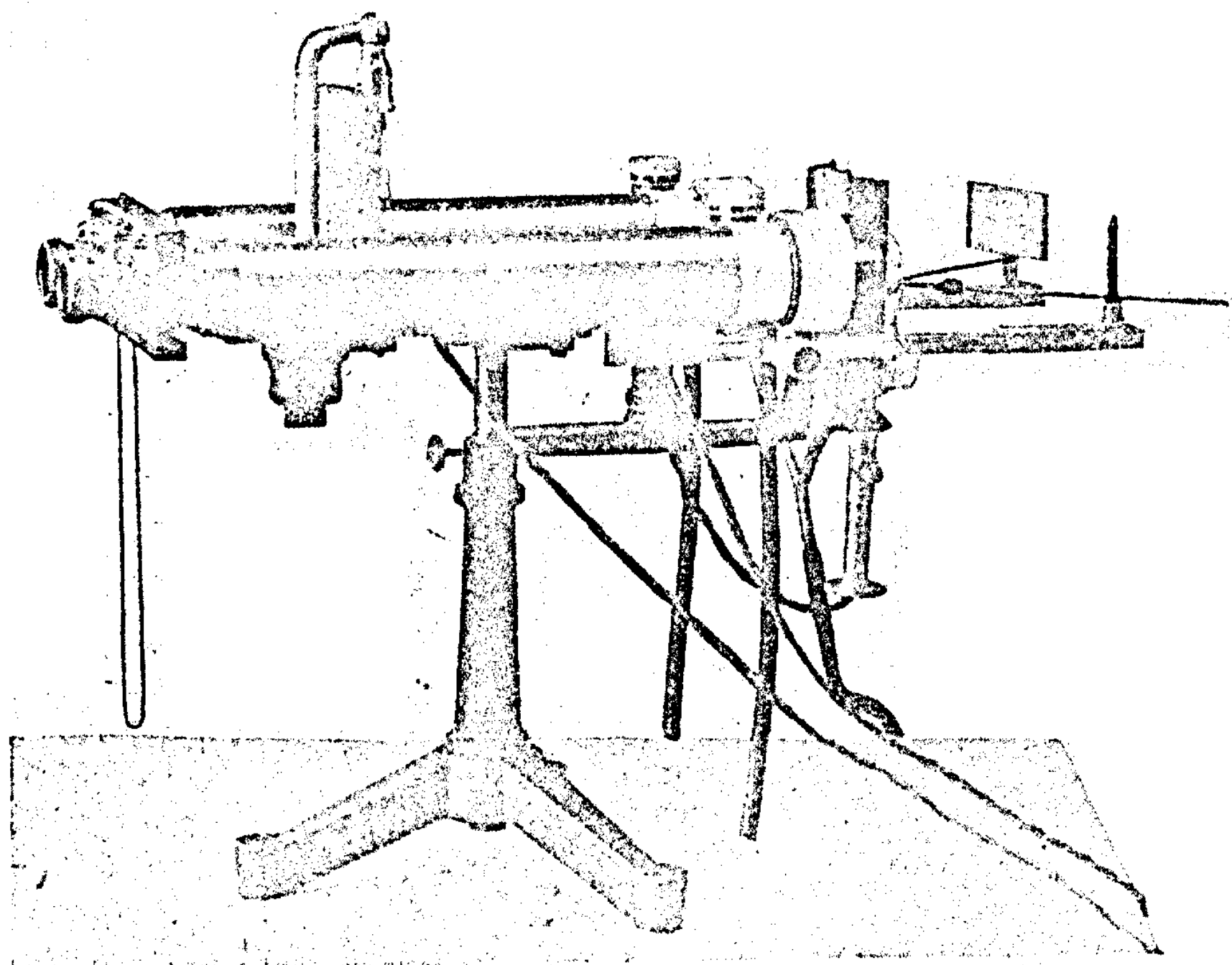


Fig. 22. Ein Stereophotometer für technische Zwecke, für die Messung des Lichtverlustes in flüssigen und flüssig gemachten Körpern mit durch Wasserdampf heizbaren Absorptionsgefäßen.

suchenden Körper dienen gläserne Hohlzylinder mit aufgeschmolzenen Verschlussplatten. Die Füllöffnung befindet sich im Mantel des Zylinders. Die gegenüberliegende Stelle des Mantels ist eben geschliffen, damit das für den horizontalen, axialen Durchblick bestimmte Gefäß eine sichere Auflage erhält.

Nach erfolgter Beschickung des Gefäßes mit dem zu untersuchenden Körper wird es auf einen ausziehbaren Schlitten gesetzt, bis vor den Objektivspalt vorgeschoben und die Verschlussklappe vorgelegt. Der erste Apparat dieser Art war noch ohne Heizeinrichtung. Bei den in Fig. 22 dargestellten Apparaten ist der Raum, in dem sich das Gefäß befindet, von einer Heizspirale umgeben, durch die man den Dampf siedenden Wassers hindurchleiten kann. Von dem Fortschritt der Schmelzung fester Teile im Gefäß überzeugt man sich zweckmäßig durch Betrachtung der Austrittspupille mit einer Lupe.

Zur Beleuchtung dienen zwei weiße, einsteckbare Zelluloidschirme ( $R_1$  und  $R_2$  in Fig. 22a), die

in der Verlängerung der Rohrachsen aufgestellt sind und von einer weißen Lichtquelle  $WL$  beleuchtet werden. Der Abstand der beiden Schirme  $R_1$  und  $R_2$  von dem zugehörigen Absorptionsgefäß kann verändert werden, so daß man nicht allein für die Zwecke der Nulleinstellung des Apparates das Helligkeitsverhältnis der beiden Schirme, sondern auch die Helligkeit selbst verändern kann. Gegen direkte von der Lampe ausgehende Strahlen sind die Gefäße sowohl als auch der Beobachter durch eine Blendvorrichtung geschützt. Mit dem so eingerichteten Apparat sind die im

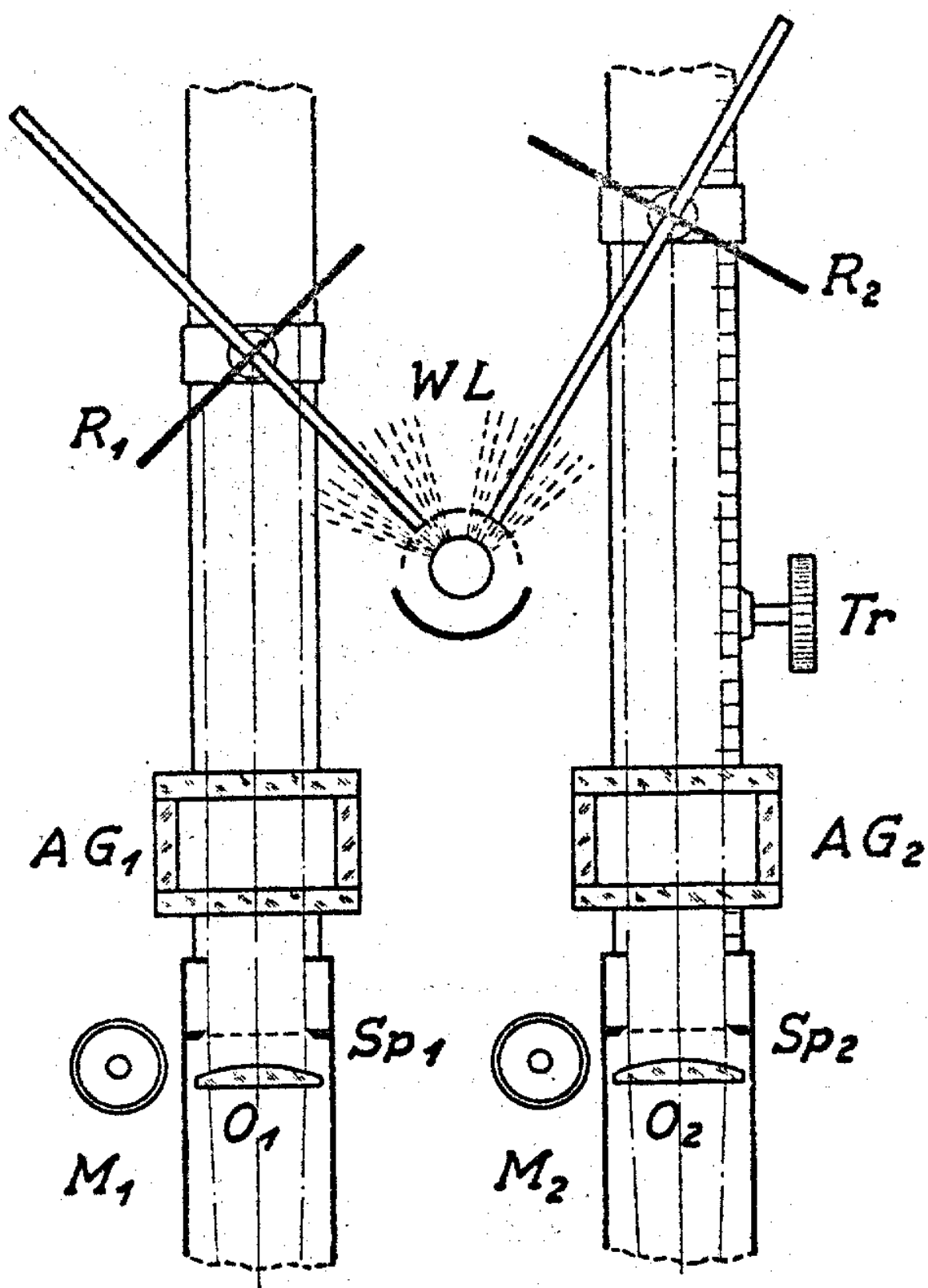


Fig. 22 a. Schnittzeichnung durch den in Fig. 22 wiedergegebenen Apparat.

nächsten Abschnitt beschriebenen Versuche ausgeführt worden. Als Lichtquelle diente eine Osramlampe mit mattgeschliffener kugelförmiger Birne. Bei dem vorerwähnten ersten Apparat — ohne Heizeinrichtung — wurde die Beleuchtung der beiden Schirme durch eine Petroleumlampe mit Rundbrenner bewirkt.

Die Anordnung vor den Objektivspalten des Doppelfernrohres kann auch so getroffen werden, daß man auf ein besonderes vor den Objektiven angebrachtes Gestell ein aus Glas angefertigtes Gefäß von würfelförmiger Gestalt setzt, jedes der beiden Gefäße durch eine Lampe beleuchtet, die aber um eine unter dem Gefäß angebrachte Vertikalachse zum Drehen eingerichtet ist. Die so getroffene Anordnung ist besonders für die *Untersuchung trüber Medien* und für das *Studium des Tyndalleffektes* zu verwenden.

Man sieht also, der Anwendungen für unser Doppelfernrohr sind viele, und die Einrichtungen hierzu ergeben sich in jedem Falle ganz von selbst.



Die Einrichtung des Doppelfernrohrs mit den Objektivspalten ist bei allen diesen Apparaten die gleiche und es ist darauf Rücksicht genommen, daß, je nach dem Zweck, dem der Apparat dienen soll, die Zusatzteile nachträglich daran angebracht und, wenn erforderlich, gegen andere Zusatzteile ausgewechselt werden können.

(Fortsetzung folgt.)