

PUBLICATIONS
DE
L'OBSERVATOIRE ASTRONOMIQUE DE L'UNIVERSITÉ DE TARTU
TOME XXVIII № 7

**ÜBER LICHTSTRAHLUNG
WÄHREND DER SONNENFINSTERNIS
AM 21. AUGUST 1914 IN ÜXKÜLL**

VON

J. WILIP

TARTU 1936

Acta et Commentationes Universitatis Tartuensis (Dorpatensis) A XXX.3.

K. Mattiesens Buchdr. Ant.-Ges., Tartu 1936.

Als Mitglied einer Expedition zur Beobachtung der totalen Sonnenfinsternis, welche am Dünaufer auf dem Gute Üxküll, unweit von Riga, am 21./VIII 1914 sichtbar war, habe ich damals eine Reihe von photometrischen Messungen ausgeführt, die eines allgemeinen Interesses nicht entbehren dürften, obgleich das Beobachtungsmaterial viele Jahre lang unbenutzt gelegen hat. Bekanntlich findet man in der wissenschaftlichen Literatur nur selten Publikationen über die Lichtstrahlung der Sonne.

Ogleich die Intensität der Beleuchtung im organischen und physikalisch-chemischen Leben unseres Planeten eine hervorragende Rolle spielt, ist die Lichtstärke unserer Hauptquelle der strahlenden Energie noch nicht genügend erforscht.

Für die Ermittlung der Wärmestrahlung der Sonne ist verhältnismässig mehr getan worden. Es gibt bereits eine ganze Reihe von Messapparaten zu diesem Zweck, und es werden auf manchen meteorologischen Hauptstationen systematische Beobachtungen ausgeführt. An dieser Stelle sind unbedingt die grossen Verdienste des russischen Meteorologen J. S. Savinov in Pavlovsk zu erwähnen, welcher die Messmethoden der Wärmestrahlung beträchtlich vervollkommnet hat. Diese Fragen gehören in das Gebiet der Aktinometrie.

Handelt es sich um die Lichtstrahlung der Sonne, so muss man zur Messung photometrische Apparate verwenden. Bis heutzutage ist aber noch immer kein passender Photometer-typus ausgearbeitet worden, welcher speziell nur zur Messung der Lichtstärke der Sonne dienen könnte.

Indem ich an dieser Stelle an den modernen Hilfsmitteln mit Stillschweigen vorübergehe, die uns die photoelektrischen Erscheinungen zur Konstruktion von selbstregistrierenden Photometern zur Verfügung gestellt haben, in einer Richtung,

welche damals noch fast gar nicht eingeschlagen war, will ich hier nur erwähnen, dass es 3 Photometertypen gab, die man für die Photometrie der Sonnenstrahlung hätte einrichten können, nämlich: Weber's Photometer, die Polarisationsphotometer und jene mit rotierendem Sektor.

Der erste Typus besitzt den Nachteil, dass er von ungenügender Empfindlichkeit ist und keine hohe Einstellungsgenauigkeit zulässt.

Unter den Polarisationsphotometern zeichnen sich durch besonders hohe Empfindlichkeit die von Wild konstruierten aus, der seinerzeit Mitglied der Russischen Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg und Leiter des Physikalischen Hauptobservatoriums war. Diese Apparate setzen bei der Messung reines natürliches Licht voraus und erfordern in Fällen, in denen man eine Beimischung von polarisierten Strahlen unter den zu messenden voraussetzen kann, eine Depolarisierung, die man durch Zwischenschaltung von besonderen absorbierenden Milchglasplatten erreicht, wobei aber das Kriterium für die Gleichheit der Lichtbündel, welche von den zu vergleichenden Lichtquellen das Auge treffen, in höchstem Grade geschwächt wird.

Hätte man jedoch photometrische Messungen zur Zeit einer totalen Sonnenfinsternis auszuführen, so würde der oben erwähnte Umstand zu sehr die Beobachtungen erschweren, ganz besonders noch in den Grenzzonen der Hauptphase der Finsternis.

In diesem Falle stände einem bloss eine Beleuchtungsstärke zur Verfügung, die weniger als 1 Lux betragen würde¹⁾.

Aus diesem Grunde sind die Polarisationsphotometer von gewöhnlicher Konstruktion zur Bestimmung der Intensität dieser schwachen, aber sehr charakteristischen Lichtquelle ungeeignet.

Am besten würde sich zu ähnlichen Messungen irgendein registrierendes Photometer eignen, wie solche neuerdings von dem Prinzip des photoelektrischen Effektes her ausgearbeitet worden sind.

Es möge hier erwähnt werden, dass für visuelle Beobachtungen schon längst von Elster und Geitel ein ähnlicher Apparat konstruiert und zur Zeit der Sonnenfinsternis des

¹⁾ Die Beleuchtung 1 Lux oder Meterkerze entsteht von einer Lichtstärke 1 HK in 1 m Entfernung bei senkrecht auf die Fläche fallenden Strahlen.

Jahres 1912 verwendet worden war. Ein solcher Apparat gestattet bereits Beleuchtungsstärken bis zu 0,0001 Lux zu ermitteln.

Bei einer automatischen Registrierung hat man ausserdem den Vorteil, dass man alle möglichen Beobachtungsfehler zu vermeiden vermag.

Der vorliegende Aufsatz behandelt das sogenannte Kristallphotometer des Akademikers Wild¹⁾, welches sich in der Sammlung von Apparaten des physikalischen Laboratoriums der Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg vorfand und zum

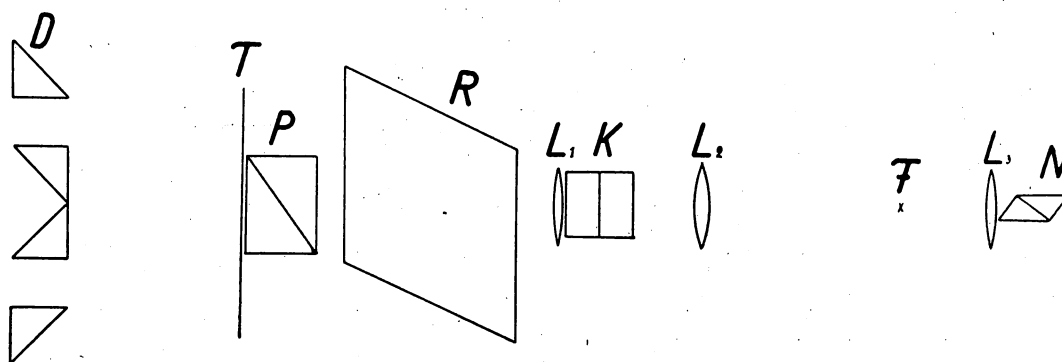


Fig. 1.

Zweck der Photometrierung der Sonnenstrahlung auf dem Beobachtungsort Üxküll bei Riga zur Zeit der totalen Finsternis am 21. August des Jahres 1914 eingerichtet wurde.

Es mögen hier der Grundgedanke der Konstruktion und die Theorie dieses sehr empfindlichen Apparates etwas erörtert werden. Dieses ist um so mehr am Platz, da dieser Photometertypus zu den Seltenheiten der Sammlungen physikalischer Apparate gehört und sich vielleicht nur ganz zufällig in einigen Laboratorien vorfinden dürfte.

Der Apparat stellt ein Polarisationsphotometer dar, auf dem Prinzip basierend, dass 2 gleich starke in zueinander senkrechten Ebenen polarisierte Lichtbündel sich wie gewöhnliches natürliches Licht verhalten, über dessen Vorhandensein man mit Hilfe eines Polariskops urteilen kann; bei der geringsten Beimischung von polarisierten Strahlen oder bei Ungleichheit der obenerwähnten polarisierten Lichtbündel zeigt das Polariskop Interferenzstreifen.

In Fig. 1 ist der Durchschnitt der Hauptteile dargestellt.

¹⁾ Ann. d. Ph. u. Ch., Bd. 118, p. 193. 1863.

In D ist ein Prismensystem zur Aufnahme der beiden zu vergleichenden Lichtbündel angedeutet. Von den 4 Prismen dieses Systems gelangen die Strahlen zum Polarisator P, der mit einem Teilkreis T verbunden ist; letzterer lässt sich gegen einen festen Nonius drehen. R bedeutet einen unbeweglichen Doppelspat.

Das weitere System der optischen Teile stellt ein Savart'sches Polariskop dar, welches, zur Analysierung dienend, in seinem Hauptteil von einem Quarzplattenpaar K gebildet wird, dessen Bestandteile unter einem Winkel von 45° zur optischen Haupt-

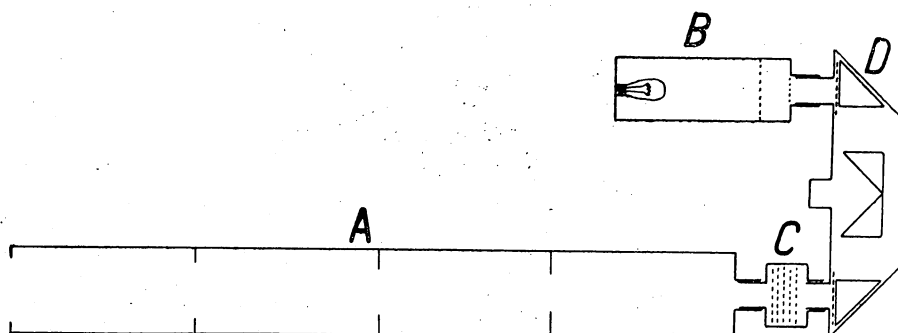


Fig. 2.

achse des Kristalls geschnitten und kreuzweise übereinandergelegt sind. Weiter erkennt man 3 Linsen L_1 , L_2 , L_3 und zum Schluss ein Nicol'sches Prisma N.

Der ganze Apparat kann auch als Polarimeter dienen, wobei man in diesem Falle zwischen D und T noch einen zweiten Doppelspat einzuschalten hat.

Um diesen Apparat zur Messung der Sonnenstrahlung verwendbar zu machen, wurden einige Zusatzteile angefertigt, und zwar folgende (vgl. Fig. 2): die Laterne B für eine elektrische Lampe, als normale Lichtquelle, die Kapsel C zur Schwächung des Sonnenlichtes mittels einer Serie von Milchglasplatten, sowie eine ca. 1 m lange Röhre A mit eingesetzten Diaphragmen, die nach dem offenen Ende zu allmählich breiter wurden. Diese Diaphragmen sollten die Strahlung des offenen Himmelsgewölbes ausschliessen und ebenso falsches reflektiertes Licht beseitigen. Ausserdem wurde ein besonderes Visierrohr seitlich am Photometer befestigt, welches an dem einen Ende eine kleine Öffnung aufwies und am anderen Ende mit einem matten Glase zugedeckt war. Dieses Rohr diente zur genauen Einstellung des Apparats auf die Sonne.

Die Diaphragmen im Rohre A waren so gewählt, dass der räumliche Winkel am Himmelsgewölbe einen Kreis von 30°

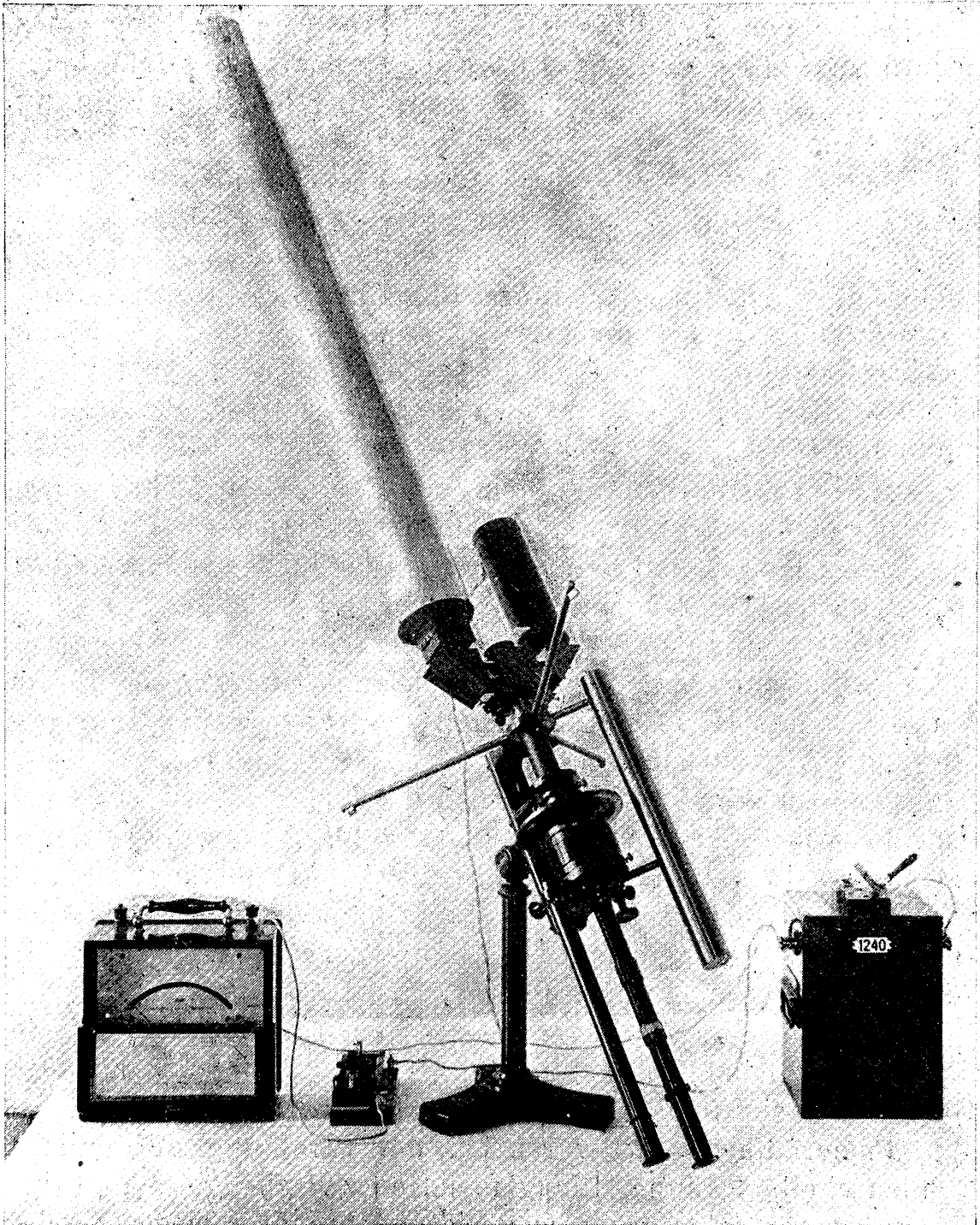


Fig. 3.

Durchmesser begrenzte. Die Wahl eines solchen Raumwinkels war zu dem Zweck getroffen, um eventuell die Strahlung der Sonnenkorona zu umfassen.

In Fig. 3 ist dieser Apparat in der Zusammensetzung, wie er zur Zeit der Sonnenfinsternis in Üxküll verwendet wurde, dargestellt.

Auf einem Metallfuss ist durch Zwischenschaltung eines Scharniergelenkes das ganze oben beschriebene System befestigt, so dass man ihm zum Horizont eine beliebige Neigung geben kann.

Der in 360° geteilte Kreis, welcher den Polarisator einschliesst, kann um seine Achse mittels eines Zahnrades von einem Schraubenkopf aus gedreht werden und verschiebt sich gegen einen Nonius, der ganze Bogenminuten abzulesen gestattet. Zum Ablesen dient ein spezielles Mikroskop (in Fig. 3 links erkennbar).

Daneben ist alles übrige Zubehör abgebildet, das bei den photometrischen Messungen nötig war.

In der Laterne befindet sich eine kleine elektrische Lampe, welche bei einer Stromstärke von 0.980 Ampere bei 2.3 Volt Spannung nach einem Beglaubigungsschein der Reichsanstalt in Charlottenburg eine Lichtstärke von 1.5 HK liefert.

Der Stromkreis wird von 2 Akkumulatoren gespeist, wobei ein Rheostat und ein Präzisionsamperemeter der Firma Hartmann & Braun eingeschaltet waren, welches Tausendstel Ampere abzulesen gestattete.

Das Amperemeter wurde mit Hilfe eines Silbervoltameters geprüft, wobei sich eine minimale und als irrelevant vernachlässigbare Korrektur herausstellte. Bei der Photometrie spielt weder diese Korrektur noch die absolute Lichtintensität der Lampe eine merkliche Rolle; die Hauptsache ist dabei, dass die Angaben des Amperemeters unverändert bleiben.

Innen in der Abteilung D vor den Prismen, auf welche die zu vergleichenden Lichtbündel fallen, befinden sich matte Gläser mit sehr feinem Korn.

In der Kammer C waren bei der Strahlung der ganzen Sonnenscheibe 5 dünne Milchglasplatten zwischengeschaltet (bei den grössten Lichtstärken wäre es angebracht gewesen 6 oder 7 Platten zu benutzen).

Die Milchglasplatten, wie man sie im Handel vorfindet, geben meistens ein schwach grünliches Licht. Um diesen unerwünschten Einfluss zu kompensieren, wurde auch auf der anderen Seite in der Laterne ein schwach grüngesetztes Glas

eingeschoben. Auf diese Weise erreichte man für eine sehr grosse Anzahl von Messungen ein recht gleichfarbiges Gesichtsfeld, welches beim Arbeiten vom Auge als sehr wohltuend empfunden wurde und bei der Einstellung eine ausserordentliche Schärfe zuliess.

Da dieser Apparat, — wie wir später sehen werden, — mit Hilfe einer speziellen, dem Sonnenlicht sehr ähnelnden Lichtquelle graduiert worden war, so konnte er in dieser Hinsicht keinen schädlichen Einfluss auf die Beobachtungsergebnisse ausüben.

Zur Abschwächung des Lichtes der elektrischen Vergleichslampe konnte durch einen besonderen Spalt der Laterne in den Weg der Lichtstrahlen noch ein abschwächendes Milchglas eingeschoben werden. Diese Massregel erweist sich als notwendig, wenn man die Helligkeit der Sonnenkorona messen will.

Es möge nun kurz die Theorie dieses Apparates erörtert werden.

Wir wollen annehmen, dass wir 2 Lichtquellen haben, die nach A und B ihr Licht strahlen. Die von A und B kommenden Lichtbündel durchdringen die absorbierenden Glasplatten, — wobei das A -Bündel, im Falle es polarisierte Strahlen enthält, durch einen Milchglaseinsatz in der Kammer C depolarisiert wird, — und werden mit Hilfe von rechtwinkligen Prismen bei Totalreflexion durch ein rundes Diaphragma zum Polarisator P gesandt. Dieses Diaphragma wird durch die Linie, die durch die Berührungsstelle der Kanten der beiden inneren Prismen gebildet wird, in 2 gleiche Felder geteilt. Der Polarisator lässt von beiden Bündeln nur die eine Hälfte durch, wodurch bereits 2 polarisierte Lichtbündel entstehen. Ein jedes dieser beiden Bündel fällt auf den isländischen Spat und zerfällt nach dem Malus'schen Gesetz in je 2 Komponenten mit zueinander senkrechten Schwingungsebenen. Aus dem Spat treten folglich 4 Strahlen hervor: 2 ordentliche und 2 ausserordentliche.

Da die nebeneinander stehenden Prismen das hinter ihnen befindliche runde Diaphragma in 2 Hälften teilen, wobei durch die eine und die andere Hälfte Strahlen aus verschiedenen Lichtquellen dringen, so erhält man im Gesichtsfelde im Zentrum einen ordentlichen Lichtstrahl von der einen und einen ausser-

ordentlichen von der anderen Lichtquelle, wobei diese Strahlen einander überlagern.

Die beiden anderen Komponenten kommen weiter an den Rändern zu stehen, und lassen sich, im Falle sie störend einwirken sollten, mit Hilfe von speziellen Diaphragmen beseitigen.

Durch Drehen des Polarisators kann man die Intensitäten der beiden inneren Felderteile, die sich überlagern, soweit verändern, bis sie gleich geworden sind, worüber das Polariskop sofort Auskunft erteilt.

Angenommen, dass die zu untersuchende Lichtquelle von der Stärke J sich in der Entfernung R von der äusseren Glasplatte der Kammer C befindet, die Normallampe von der Stärke J_0 in der Entfernung R_0 von der Mattscheibe auf der anderen Seite, so sind die Intensitäten der Lichtbündel vor dem Eintritt in die Platten proportional

$$\frac{J}{R^2} \text{ und } \frac{J_0}{R_0^2},$$

wenn man von der abschwächenden Wirkung der schwachgrünlichen Glasplatte bei der normalen Lichtquelle J_0 absieht.

Nach dem Passieren der Strahlen durch die Gläser kann man ihre Intensitäten als

$$K_1 \cdot \frac{J}{R^2} \text{ und } K_2 \frac{J_0}{R_0^2}$$

berechnen, wobei K_1 und K_2 Koeffizienten darstellen, deren Grösse von den absorbierenden Eigenschaften der Platten abhängt.

Beim Durchgang durch den Polarisator P werden diese Lichtbündel von neuem geschwächt, so dass man etwa

$$K_1 \cdot K'_1 \cdot \frac{J}{R^2} \text{ und } K_2 \cdot K'_2 \cdot \frac{J_0}{R_0^2}$$

schreiben kann.

Diese Bündel durchdringen den Doppelspat, und jedes von ihnen zerfällt nach dem Malus'schen Gesetz in eine ordentliche und eine ausserordentliche Komponente.

Wollen wir voraussetzen, dass der Hauptschnitt des Spates mit der Durchschnittsebene des Apparates zusammenfällt (Fig. 1), wobei der Winkel zwischen dem Hauptschnitt des Spates und dem des Polarisators β sein möge.

Wenn wir von der Lichtquelle J_0 den ausserordentlichen Strahl haben, auf den sich der ordentliche Strahl von J lagert, so kann man die Komponenten beider Lichtbündel folgendermassen ausdrücken:

$$K_1 K'_1 D_0 \frac{J}{R_2} \sin^2 \beta \quad \text{und} \quad K_2 K'_2 D_e \frac{J_0}{R_0^2} \cos^2 \beta,$$

wo D_0 und D_e den Verlust der Lichtenergien im Spat selbst darstellen mögen.

Da man β so zu wählen hat, dass beide Lichtbündel gleich stark werden, so kann man schreiben:

$$J = K \cdot R^2 \cotg^2 \beta, \quad (1)$$

wo in K alle Grössen enthalten sind, die sich während der Messung nicht ändern.

Ein zweiter Fall trifft ein, wenn der Spat eine solche Stellung einnimmt, dass der ordentliche Strahl von J_0 sich auf den ausserordentlichen von J legt.

Dann ist

$$J = K \cdot R^2 \cdot \text{tg}^2 \beta, \quad (2)$$

wo K und β von denen in (1) verschieden sind.

In dem von mir verwendeten Exemplar war die Anordnung des Spates nach (1) gegeben, dafür aber gab der geteilte Kreis die Winkel $\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right)$, so dass β beim Zunehmen von J sich vergrösserte. Daher war die Formel (2) zu verwenden.

In Fällen, wo K von der Intensität der Lichtquelle J nicht abhängt, ermässigt es sich besonders genau auf die Lage des Nullteilstrichs des Kreises in bezug auf den Polarisator zu achten.

Bei Verwendung irgendeiner starken konstanten Lichtquelle kann die Indexkorrektion empirisch ermittelt werden, wobei man R variiert und den Drehungswinkel des Polarisators abliest.

Bezeichnen wir diese Korrektion mit δ , so erhalten wir eine Reihe von Gleichungen von folgender Form:

$$J = K \cdot R_1^2 \text{tg}^2(\beta_1 + \delta)$$

$$J = K \cdot R_2^2 \text{tg}^2(\beta_2 + \delta),$$

⋮

⋮

aus denen man nach der Methode der kleinsten Quadrate K und δ ermitteln kann.

Bei meinem Photometer aber änderte sich mit der Lichtstärke K ganz bedeutend. Aus diesem Grunde war man, wie wir später sehen werden, gezwungen eine andere Methode zu verwenden.

Bei der Justierung des Apparates verfuhr man auf folgende Weise: Nachdem man das Photometer von allen seinen Zusatzteilen, bis auf die schwachmatten Glasplatten, befreit hatte, richtete man es senkrecht auf einen weissen Schirm und orientierte den Polarisator in seiner Fassung so, dass das Kriterium für die Gleichheit der beiden Lichtbündel beim Teilstrich 45° statthatte. Beim Apparat fehlte aber jegliche Schraube für diese Prozedur. Dabei musste der Polarisator so eingerichtet sein und eine solche Stellung einnehmen, dass beim Drehen der austretende Strahl senkrecht zur Ebene des Teilkreises blieb und mit dessen Drehachse zusammenfiel. Unter diesen Bedingungen bleiben die Bilder des ordentlichen und ausserordentlichen Strahles beim Drehen des Teilkreises unbeweglich.

Die Durchführung dieser Aufgabe erwies sich infolge des Fehlens von bequemen Schrauben als ziemlich schwierig, obgleich ausser den 4 am Apparat vorhandenen Schrauben noch 4 weitere angebracht wurden.

Am Fernrohr besteht eine Vorrichtung zur seitlichen Verschiebung, und man muss es so orientieren, dass von den beiden zu vergleichenden Lichtquellen jene Strahlen mit seiner optischen Achse zusammenfallen, welche sich überlagern.

Da das Diaphragma vor dem inneren Prismenpaar von jeder Lichtquelle nur ein Bündel von halbkreisförmigem Querschnitt durchlässt, so erhält man nach der Zerlegung durch den Spat im Gesichtsfelde ein Bild, wie es auf Fig. 4 skizziert ist, wo die gestrichelten Felder von der normalen Lichtquelle herkommen, die beiden übrigen Hälften aber von der zu untersuchenden.

Im Fernrohr sind diese natürlich in umgekehrter Reihenfolge sichtbar.

Blickt man auf dieses Bild durch das Savart'sche Polarisoskop, so erweist sich das ganze Gesichtsfeld von dunklen und hellen Streifen durchzogen.

Der Doppelspat behält ständig seine konstante Lage, und zwar eine solche, bei der die Gerade durch die Mittelpunkte beider Kreise (Fig. 4) horizontal orientiert ist.

Eine spezielle Schraube gestattet eine unbedeutende Drehung des Spates in seiner Fassung zu bewerkstelligen. Auf der Fassung der Savart'schen Doppelplatte findet sich eine Marke, welche andeuten soll, wie diese Platte in bezug auf das Nicol'sche Prisma eingestellt sein muss.

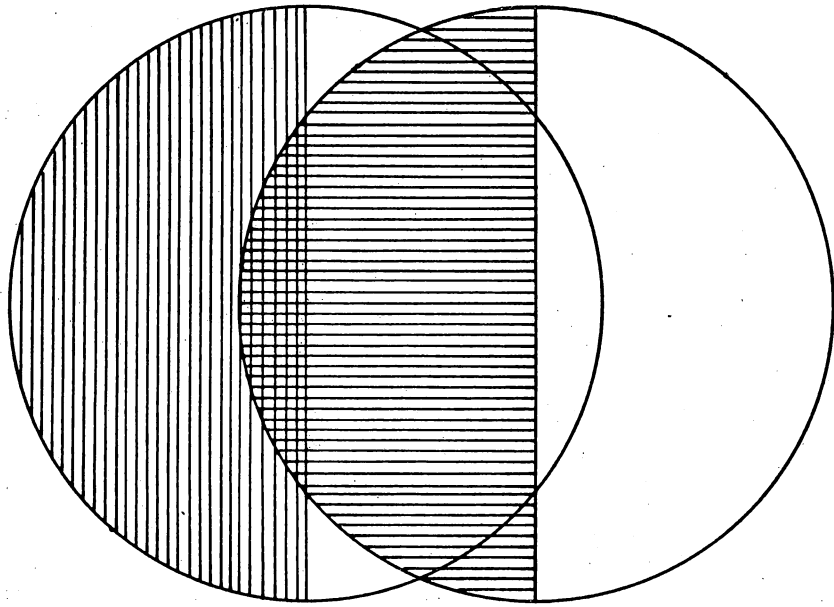


Fig. 4.

Vor den Beobachtungen wird zunächst das Okular so lange verschoben, bis die Interferenzstreifen am allerdeutlichsten erscheinen. Darauf wird das Fadenkreuz in die richtige Sehweite eingestellt, und man dreht das Fernrohr um seine optische Achse so, dass der stumpfe Winkel zwischen den Fäden gegen die Gerade gerichtet ist, welche die Lichtscheiben halbiert. Dann ist das Photometer zur Messung vorbereitet.

Da sich die Grösse K bei diesem Apparat nicht als konstant erwies, so musste man den Teilkreis einfach für bestimmte Helligkeiten graduieren.

Aus Gleichung (2) folgt:

$$\frac{J}{R^2} = K \cdot \operatorname{tg}^2 (\beta + \delta) = E, \quad (3),$$

wo noch eine mögliche Indexkorrektur δ hinzugefügt ist.

Die Gleichung (3) drückt direkt die Beleuchtung in Lux aus, wenn hierbei die Lichtstärke J in Hefnerkerzen gegeben ist, die Entfernung R aber in Metern.

Indem man eine konstante starke Lichtquelle benutzt und die Entfernung R variiert, kann man die Kreisteilung in Lux graduieren, was beim heutigen Stande der elektrischen Beleuchtungsapparaturen eine einfache Sache ist.

Zur Graduierung des Apparates verwendete man eine Metallfadenlampe der Firma Philipps von 3000 Kerzen bei 110 Volt, die ein äusserst weisses Licht entwickelte, welches dem Sonnenlichte sehr ähnlich war. Deren Lichtstärke wurde mit Hilfe von 3 kleinen elektrischen Lampen zu je ca. 1.5 HK, welche in der Reichsanstalt in Charlottenburg geprüft waren, ermittelt.

Diese Versuche wurden im Hauptgebäude der Marineakademie in St. Petersburg ausgeführt. Indem man die grelle Lampe im Physikalischen Laboratorium aufstellte und von dort durch den Spalt der geöffneten Tür das Lichtbündel in einen langen Korridor leitete, gelang es jegliches schädliche reflektierte Licht zu vermeiden und sehr grosse Entfernungen vom Photometer (über 56 Meter) zu erreichen, was sich wegen der Schwäche der zur Verfügung stehenden normalen Lichtquelle als notwendig erwies. Die Vergleichung wurde mit Hilfe eines genauen Photometers der Firma „Société Genevoise“ (System Lummer und Brodhuhn) ausgeführt.

Die Spannung bei der zu untersuchenden Lampe wurde mit Hilfe eines speziellen Rheostats und eines Präzisionsvoltmeters konstant gehalten. Im Stromkreise der Normallampen war ein Rheostat und ein Präzisionsamperemeter eingeschaltet, welches nach den Angaben eines Silbervoltmeters geprüft war.

Die 3 benutzten 1,5-Kerzenlampen ergaben folgende Lichtstärke für die starke Philipps'sche:

Lampe a	2500	HK.
„ i	2526	„
„ k	2476	„

Aus diesen Zahlen nahm man das Mittel 2500.7 HK, und dieser Wert wurde bei der Zusammenstellung von speziellen Tabellen für das Photometer zugrunde gelegt.

Der ganze Vorgang der Graduierung erwies sich als sehr

einfach. Man hatte die Lampe in messbaren Entfernungen bis zu irgendeiner Marke am Photometer aufzustellen. Nachdem man die Angaben des Voltmeters einerseits und die des Amperemeters andererseits für die Laterne richtig einreguliert hatte, orientierte man den Teilkreis auf das Verschwinden der Interferenzstreifen und machte die Ablesung. Darauf wiederholte man dieses, nachdem man in der Schwächungskammer die Anzahl der Glasplatten je um eine verkleinert hatte, u. s. w.

Bei der Graduierung war es von Bedeutung, für jede Entfernung mehrere Male die Einstellung zu wiederholen und die Beobachtungen für viele Entfernungen zwischen Lampe und Photometer auszuführen.

Bei einem derartigen Polarisationsphotometer gibt es 4 Stellungen, bei denen die Bedingung, dass die Intensitäten senkrecht zueinander polarisierter Lichtbündel gleich seien, befriedigt werden kann. Die zweite Lage des Polarisators hat statt, wenn sein Hauptschnitt unter einem bestimmten Winkel symmetrisch zu der anfänglichen Lage zu stehen kommt, von der anderen Seite des Hauptschnittes des Spates gezählt. Die beiden übriggebliebenen Stellungen unterscheiden sich von den 2 ersten um 180° .

Bei der Verwendung des Photometers zur Messung von Sonnenstrahlung war es zweckmässiger, den Apparat nur für einen einzigen Quadranten zu graduieren, da es sich bei der Beobachtung einer Erscheinung, die Veränderungen unterworfen ist, wegen Zeitverlustes als überflüssig und schädlich erwies, Messungen in allen Quadranten durchzuführen.

Tabelle 1.

β	5 Pl.	4 Pl.	3 Pl.	2 Pl.	1 Pl.	Ohne Pl.	Ohne Pl. Milch-gl.-Pl.
25 ⁰	$0.74 \cdot 10^4 Lx$	$0.34 \cdot 10^4 Lx$	$0.20 \cdot 10^4 Lx$	$0.10 \cdot 10^4 Lx$	$0.05 \cdot 10^4 Lx$	$6.0 Lx$	—
30	0.94	0.45	0.26	0.14	0.07	7.7	$0.15 Lx$
35	1.20	0.62	0.33	0.17	0.09	10.1	0.19
40	1.51	0.83	0.44	0.21	0.12	13.2	0.26
45	1.89	1.08	0.59	0.29	0.16	17.1	0.34
50	2.35	1.40	0.79	0.39	0.21	22.3	0.45
55	2.93	1.77	1.03	0.54	0.27	29.4	0.58
60	3.77	2.23	1.33	0.74	0.36	40.8	0.73
65	4.95	2.84	1.69	0.99	0.50	—	0.89
70	6.79	3.65	2.12	1.33	0.70	—	—
75	8.67	4.83	2.66	1.80	0.96	—	—

In der Tabelle (1) sind die Messresultate zusammengestellt; die Werte sind aus den Beobachtungen graphisch gefolgert, wobei die den Kreisteilstrichen entsprechenden Helligkeiten in Lux gegeben sind, und zwar bei verschiedenen Dicken der schwächenden Schicht der Milchglasplatten.

Hier hat man die Aufmerksamkeit auf folgenden Umstand zu richten. In den 5 ersten Fällen, wo die Milchglasplatten zwischengeschaltet waren, dienten diese letzteren als Depolarisatoren und der Apparat war einwandfrei auch beim Photometrieren von polarisiertem Licht zu verwenden.

Gewöhnliches Sonnenlicht ist nicht polarisiert. Dafür aber ist das Licht der Sonnenkorona aller Wahrscheinlichkeit nach zum Teil polarisiert.

Wegen der Schwäche dieser geheimnisvollen Lichtquelle ist die Anwendung des Polarisationsphotometers wohl kaum zu empfehlen.

Ungeachtet dessen wurde dieser Apparat auch für schwächeres Licht graduiert, und zwar für jenen Fall, wo die depolarisierenden Platten ganz ausgeschaltet waren und man sich nur einer matten Glasplatte bediente. Das Resultat für diesen Fall ist in der siebenten Rubrik eingetragen.

Um die Grenze der Messmöglichkeit noch weiter zu vergrössern, wurde in den Weg der Lichtstrahlen der Laterne eine Milchglasplatte eingeschaltet; in der achten Rubrik sind die gefundenen Werte zusammengestellt, aus denen man ersieht, dass die Möglichkeit gegeben ist, bei den Messungen bis auf 0.15 Lux hinabzusteigen.

Man plante nämlich eventuell die Intensität des Hauptteiles des Koronalichtes zu ermitteln.

Bei dieser Absicht liess man sich von folgenden Gesichtspunkten leiten. Erstens depolarisiert die Mattscheibe einen Teil des vorausgesetzten polarisierten Lichtes. Zweitens ist der Charakter des Koronalichtes ein solcher, dass die Strahlen aus der äussersten Oberfläche der Sonne austreten. Man kann voraussetzen, dass die Polarisations Ebenen dieser Strahlen symmetrisch um die Sonnenscheibe orientiert sind und als Summe zwei senkrecht zueinander schwingende Resultantstrahlenbündel von gleicher Stärke ergeben, die im Photometer denselben Effekt hervorrufen, wie gewöhnliches Licht.

Dieses würde natürlich nur eine erste Annäherung zur Wirklichkeit ergeben haben, weil die Koronastrahlen um die Sonne herum nicht von gleicher Länge und zudem noch zur Sonnenoberfläche gebogen sind.

Wie wir später sehen werden, kamen die Werte der beiden letzten Rubriken der Tabelle I überhaupt nicht zur Verwertung.

Bei der Messung der Sonnenstrahlung kamen meist 5 Absorptionsplatten zur Verwendung, und nur in der Nähe der Hauptphase bediente man sich 4, 3 und 2 Platten.

Ein sehr grosser Vorzug dieses Photometers besteht darin, dass bei der Beobachtung der Sonnenstrahlung keine verdunkelten Räumlichkeiten erforderlich sind. Man kann direkt auf offenem Felde arbeiten. Dabei muss man aber das Auge mittels einer besonderen schwarzen Schutzbrille von dem äusseren Licht absperrern; dann tritt das Kriterium für die Gleichheit beider Lichtbündel, d. h. das Verschwinden der Interferenzstreifen im Polariskop, ausserordentlich scharf hervor, und das Beobachten ermüdet das Auge nicht im geringsten, sogar bei länger andauerndem Arbeiten.

Wollen wir nun weiter erwägen, welche Messgenauigkeit mit diesem Apparat für E erreicht werden kann. Dabei wollen wir annehmen, dass bei der Einstellung ein Fehler von $10'$ gemacht wird, eine Grösse, die nur bei einem ungeübten Beobachter denkbar ist.

Der Erfinder dieses Photometers, Akademiker Wild, hält für ein unermüdetes Auge einen Ablesefehler von nur $1-2'$ für möglich.

In unserem Falle dürften wegen der Konstanz der zu untersuchenden Lichtquelle und des Umstandes wegen, dass ausserhalb der Epoche der Finsternis je 3 Ablesungen gemacht wurden, die Abweichungen bedeutend geringer als $10'$ sein und sich bei der Anwendung der graphischen Methode zur Bearbeitung des Beobachtungsmaterials im höchsten Grade ausgleichen.

Vernachlässigen wir in der Grundgleichung (3) die Indexkorrektur δ , so können wir schreiben:

$$E = K \operatorname{tg}^2 \beta.$$

Nach der Differenzierung erhalten wir:

$$\Delta E = \frac{2 K \cdot \operatorname{tg} \beta}{\cos^2 \beta} \cdot \Delta \beta,$$

$$\text{oder:} \quad = \frac{2 E \cdot \Delta \beta}{\cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \beta},$$

$$\text{oder:} \quad = \frac{4 E \cdot \Delta \beta}{\sin 2 \beta}. \quad (4)$$

Wollen wir ΔE für 3 Werte von β bei $\Delta \beta = \frac{1^\circ}{6}$ für den Fall mit 3 Absorptionsplatten berechnen. Dabei ergibt sich die folgende Tabelle:

β	E	ΔE
25°	$0.74 \cdot 10^4 \text{ Lux}$	112 Lux
45°	1.89 "	220 "
75°	8.67 "	2018 "

Aus der Formel (4) ersieht man, dass ΔE bei $\beta = 45^\circ$ am kleinsten ist. Folglich erweist sich dieses Gebiet des Ableitungswinkels für Messungen als am günstigsten. Daher ist es wünschenswert die Anzahl der absorbierenden Platten so zu wählen, dass die Messungen im Bereiche dieses Teilstriches zustande kommen. Dann machen sich die Ablesungsfehler am wenigsten geltend.

Was die Korrektur jenes Teils des Himmelsgewölbes um die Sonne anbelangt, der von dem Schutzrohr begrenzt wird und dessen Helligkeit mit zu der zu messenden Grösse hinzukommt, so kann der entsprechende Zusatz jedesmal empirisch ermittelt werden, indem man das Photometer gegen den blauen Himmel ausserhalb der Sonnenscheibe richtet und dabei die Anzahl der Absorptionsplatten bis zur möglichen Messgrenze vermindert. Im gegebenen Fall wurde diese Korrektur einfach vernachlässigt, da sie sich von der Grössenordnung von 0,1 % erwies, wie ein Probeversuch dieses erkennen liess. Um so mehr war man zu einem Absehen von dieser Korrektur berechtigt, als zur Zeit der Finsternis die Notwendigkeit vorlag, möglichst viele Beobachtungen auszuführen, und wenig Zeit zur Bestimmung dieser Korrektur übrigblieb.

Wir gehen nunmehr zur Besprechung der Beobachtungen in Üxküll über.

Das Photometer wurde auf einem gewöhnlichen Gaussstativ montiert, an welchem zugleich alles übrige Zubehör angebracht war, nämlich: ein Präzisionsamperemeter, ein Rheostat und Stromschlüssel für die Laterne nebst 2 Akkumulatoren.

Dieser ganze zusammengestellte Apparat war transportabel und befand sich zur Zeit der Beobachtungen auf offenem Felde; für die Nacht und bei Regen wurde er in die allgemeine Scheune getragen, in welcher auch alle übrigen Apparate der Expedition untergebracht waren.

Die Beobachtungen wurden am 19./VIII begonnen und am 24./VIII abgeschlossen.

Man bediente sich nur solcher klarer Augenblicke, wo man mit blossem Auge wahrnehmen konnte, dass die Sonnenscheibe von reinem blauem Himmel umgeben war.

Jedesmal führte man 3 Einstellungen aus, von denen das Mittel genommen wurde. Nur während der Zeit der Finsternis selbst musste man sich wegen der schnellen Veränderlichkeit der Erscheinungen mit je einer einzigen Ablesung begnügen, wobei die Zeitmomente mit einer Genauigkeit von 1^s notiert wurden.

Tabelle 2.
19./VIII 1914.

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>Z</i>
6 ^h 37 ^m	5.83 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	74 ^{0.1}
7 37	5.97	66 .0
9 0	6.64	55 .6
10 47	7.09	46 .2
12 57	7.32	45 .0
1 22	6.87	46 .9
1 57	6.65	49 .4
4 37	5.07	68 .6

20./VIII 1914.

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>Z</i>
5 ^h 37 ^m	2.60 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	82 ^{0.6}
11 37	8.54	44 .5
11 52	7.52	44 .2
1 12	7.51	46 .6
1 47	7.21	49 .0

21./VIII 1914.

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>Z</i>
8 ^h 50 ^m	7.86 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	57 ^o .5
9 2	7.80	56.1
11 25	7.23	45.0
11 53	7.16	44.5
12 7	7.36	44.5
12 32	7.39	45.0
12 42	7.31	45.2
12 ^h 55 ^m 2 ^s		I. Kontakt.
1 8.8	6.76	46.4
1 14.8	6.32	46.9
1 19.8	6.01	47.2
1 24.8	5.11	47.6
1 30.8	4.33	48.0
1 32.8	4.20	48.1
1 34.8	3.82	48.2
1 37.8	3.56	48.6
1 39.8	3.31	48.7
1 41.3	3.03	48.8
1 44.8	2.57	48.9
1 47.3	2.35	49.2
1 49.8	2.09	49.4
1 53.8	1.51	49.6
1 56.8	1.06	49.8
1 59.3	0.72	50.0
2 0.8	0.43	50.1
2 ^h 5 ^m 1 ^s		II. Kontakt.
2 ^h 7 ^m 7 ^s		III. Kontakt.
2 9.3	0.18 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	50 ^o .6
2 13.8	0.92	51.3
2 15.3	1.21	51.6
2 17.3	1.39	51.9
2 19.8	1.70	52.0
2 23.0	2.25	52.4
2 27.8	2.92	52.8
2 31.8	3.17	53.1
2 33.2	3.51	53.4
2 36.8	3.92	53.7
2 40.8	4.52	54.3
2 43.8	5.08	54.5
2 46.3	5.87	54.7
2 53.8	6.27	55.5
2 56.8	6.39	55.8
3 2.3	6.78	56.3
3 4.8	7.01	56.7
3 8.8	7.27	57.2
3 ^h 13 ^m 55 ^s		IV. Kontakt.
3 21.8	7.28	58.7
3 54.8	6.58	62.9
4 59.8	5.44	71.6
5 39.8	4.26	77.1
5 54.8	4.07	79.2
6 24.8	2.65	83.0
6 42.8	1.75	85.3
6 46.8	1.45	85.9
6 51.8	1.22	86.7

22./VIII 1914.

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>Z</i>
6 ^h 46 ^m	5.51 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	73 ^o .8
7 36	6.66	67.0
7 56	6.82	64.4
8 56	7.09	56.9
9 21	7.22	54.3
9 59	7.32	50.5
11 15	7.43	45.6
12 0	7.48	44.8
1 5	7.49	46.6
1 50	7.16	49.7
2 20	6.89	52.4
2 55	6.97	55.9
3 10	6.75	57.9
4 5	5.94	64.5
4 55	5.25	71.1
5 20	4.62	74.6
5 40	3.85	77.3
6 1	2.90	80.1
6 25	1.97	83.2
6 31	1.50	84.0
6 36	1.25	84.8
6 41	0.97	85.5

23./VIII 1914.

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>Z</i>
11 ^h 0 ^m	6.21 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	46 ^o .6

24./VIII 1914.

<i>t</i>	<i>E</i>	<i>Z</i>
10 ^h 35 ^m	6.84 · 10 ⁴ <i>Lx</i>	48 ^o .6
11 5	6.80	46.6
11 35	6.73	45.7
12 5	6.57	45.5
12 35	6.43	46.1
1 5	6.58	47.3
1 35	4.99	49.4
2 5	5.00	51.6

In der Tabelle (2) ist das ganze Beobachtungsmaterial zusammengestellt, wobei in der ersten Rubrik die Zeitmomente nach der mittleren Üxküll'schen Zeit angegeben sind, in der zweiten die Beleuchtungen in Lux, in der dritten aber die Zenitdistanzen der Sonne, welche mit Hilfe von astronomischen Tabellen gefunden wurden.

Ausführlicher habe ich das Beobachtungsmaterial vom 21./VIII (Tag der Finsternis) und vom 22./VIII (ein ganz besonders klarer Tag) bearbeitet.

In Fig. 5 sind die Kurven der Lichtstrahlung für diese Tage dargestellt, wobei als Ordinaten die Beleuchtungsergebnisse, als Abszissen aber die mittleren Üxküll'schen Zeiten eingetragen sind.

Aus Tab. 2 und Fig. 5 ersieht man, dass zur Zeit der Kontakte keine photometrischen Beobachtungen ausgeführt worden sind. Dieses ist dem Umstande zuzuschreiben, dass mir ausser der photometrischen Aufgabe noch die visuelle Bestimmung der Kontaktmomente oblag. Die Ausführung dieser zweiten Messung war auch ganz besonders störend bei der photometrischen Bestimmung des Lichteffects der Korona selbst, auf die man zu verzichten gezwungen war.

Bei einem Versuch diese Grösse zu ermitteln, glaubte man ganz zuerst ohne jegliche Absorptionsplatte auskommen zu können; es stellte sich aber heraus, dass man die Interferenzstreifen nicht zum Verschwinden bringen konnte. Daraus war zu folgern, dass die Beleuchtung von der Sonnenkorona geringer als 6 Lux gewesen sein muss (7. Rubrik der Tab. 1).

Weiter blieb nur gerade noch Zeit zur Bestimmung des Moments des III. Kontaktes übrig. Um eine Messung auf Grundlage der Hilfsplatte bei der Laterne auszuführen (8. Rubrik der Tab. 1), hätte man die Ermittlung des Moments für den III. Kontakt auslassen müssen. Es fehlte also der ausgerüsteten Expedition noch ein Mitglied¹⁾.

Aus dem angeführten Grunde musste man sich mit einer groben Schätzung der Koronabeleuchtung auf Grundlage des Beobachtungsheftes und der Vergleichslampe begnügen.

Da der Eindruck über die Beleuchtungsstärke des Heftes zur Zeit der Hauptphase erhalten blieb, führte man am Abend

1) Bei der Bestimmung der Kontakte erwies mir die Tochter des Gutswalters Helmut nützliche Hilfe.

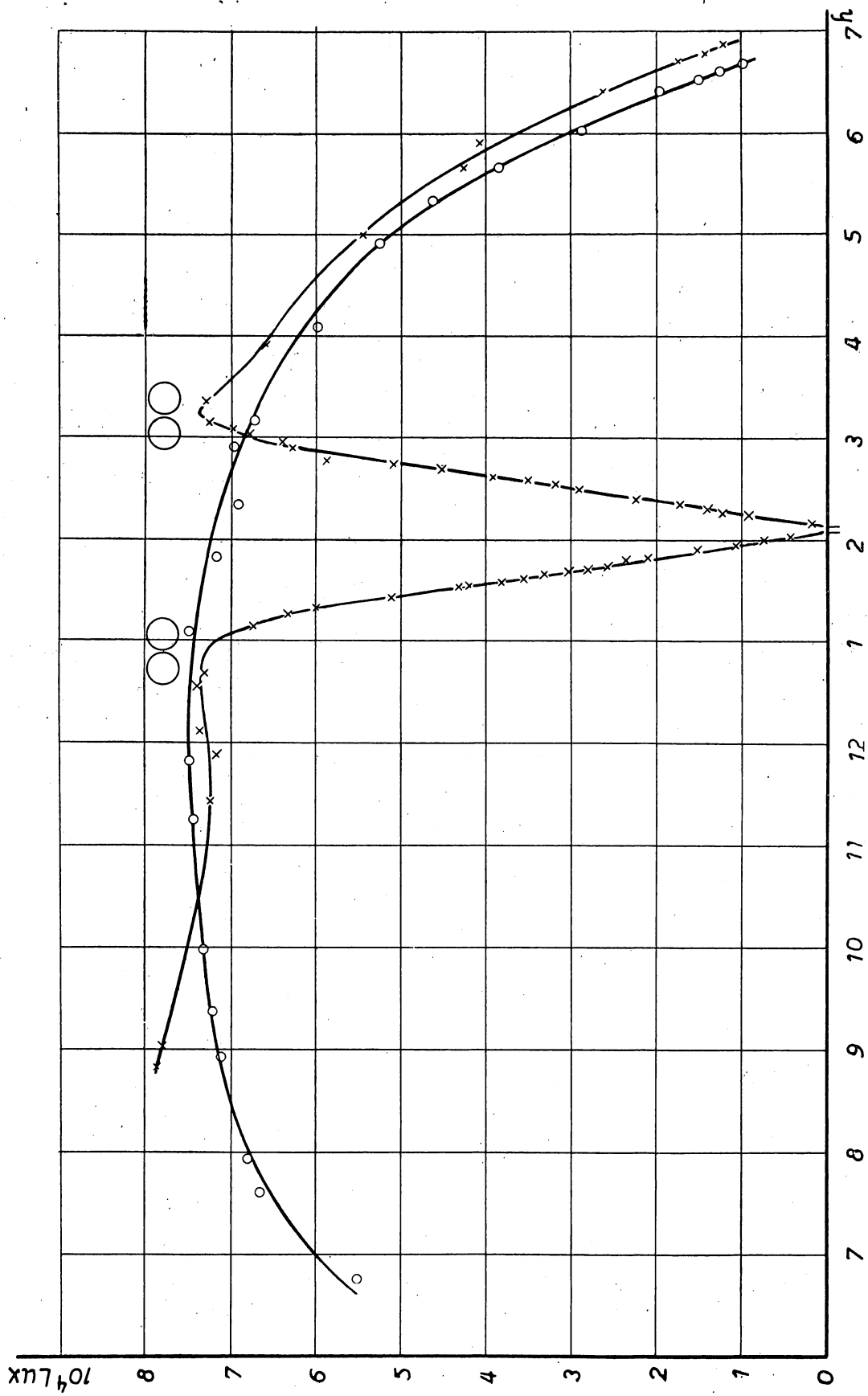


Fig. 5.

in der Scheune, in der die Instrumente geborgen waren, folgenden Versuch aus. Indem man das Heft von der 1.5 HK starken Vergleichslampe des Photometers entfernte und ihr näherte, suchte man eine solche Entfernung auf, in der die eingetragenen Beobachtungen mit derselben Schärfe zu entziffern waren, wie zur Zeit der vollen Phase. Auf diese Weise ergab sich eine Entfernung von 2 Metern. Folglich war die annähernde Beleuchtung des Koronalichtes in Üxküll 0.4 Lux.

Hierbei möge noch folgendes beachtet werden. Zur Zeit der vollen Phase wurde das Heft auch vom Himmelsgewölbe beleuchtet; das wird aber durch den Umstand kompensiert, dass das Auge am Abend in der Dunkelheit überhaupt schwaches Licht als stärkeres empfindet, so dass 0.4 Lux immerhin als eine ziemlich gute Annäherung für die Stärke des Koronalichtes gelten dürfte.

Die Kurve der Beobachtungsergebnisse vom 22./VIII stellt den normalen Gang der Stärke der Sonnenstrahlung an einem ganz heiteren Tage dar, an dem die Lichtintensität von der Zenitdistanz der Sonne und den absorbierenden Eigenschaften der Atmosphäre abhängt, von welcher letzterer man weiss, dass sie die kurzwelligeren Strahlen ganz besonders stark absorbiert. Bezeichnen wir die von der Sonnenscheibe herrührende Beleuchtung, welche bei einer willkürlichen Zenitdistanz ermittelt sein mag, mit E , so gilt folgende Beziehung:

$$E = E_0 \cdot e^{-kF(z)}, \quad (5)$$

wobei E_0 die Beleuchtungsstärke der Sonne ohne jegliche Erdatmosphäre, e die Basis der natürlichen Logarithmen und k den Absorptionskoeffizienten bedeuten, $F(z)$ aber den von den Strahlen in der Atmosphäre durchlaufenen Weg ausdrückt.

Für $z = 0$ wird $F(z) = 1$ angenommen.

An Stelle von e^{-k} kann man eine andere Konstante p einführen, die man Transmissionskoeffizient der Atmosphäre nennt. Dann nimmt (5) folgende Gestalt an:

$$E = E_0 \cdot p^{F(z)}. \quad (6)$$

Die Theorie dieser Frage ist ausführlich von A. Bemporad¹⁾ entwickelt worden, der eine besondere Tabelle für die

1) Winkelmann, Handbuch der Physik, Bd. VI, Tabelle auf Seite 581.

Werte von $F(z)$ in Abhängigkeit von der Zenitdistanz zusammengestellt hat.

Auf Grundlage der Kurve vom 22./VIII kann man die unbekanntenen Grössen E_0 und p sehr genau berechnen, indem man Bemporad's Werte für $F(z)$ benutzt.

Zu diesem Zweck wollen wir die Gleichung (6) zunächst folgendermassen schreiben:

$$\lg E = \lg E_0 + F(z) \cdot \lg p. \quad (7)$$

Setzen wir in (7)

$$\lg E_0 = x \text{ und } \lg p = y$$

und führen wir aus der Kurve verschiedene E und ihnen entsprechende Funktionen $F(z)$ ein, die einer speziellen Tabelle entnommen werden können, so ergibt sich ein Gleichungssystem in folgender Form:

$$\begin{aligned} x + F(z_1) y &= \lg E_1 \\ x + F(z_2) y &= \lg E_2 \\ \vdots & \\ x + F(z_n) y &= \lg E_n, \end{aligned} \quad (8)$$

aus dem sich x und y leicht ermitteln lassen.

Derartige Gleichungen kann man am leichtesten nach folgender Methode lösen. Indem man x und y z. B. aus der ersten und letzten Gleichung der Gruppe (8) errechnet, erhält man annähernde Werte x_0 und y_0 für die Unbekannten.

Darauf setze man in das Gleichungssystem ein:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \xi \\ y &= y_0 + \eta, \end{aligned}$$

wobei ξ und η im Falle guter Beobachtungen kleine Grössen sind.

So erhält man ein Gleichungssystem für ξ und η , welches sich leicht nach der Methode der kleinsten Quadrate behandeln lässt.

Ich ermittelte auf diese Weise aus 11 Gleichungen zwischen 12 und $6\frac{1}{2}^h$ x und y mit grosser Genauigkeit.

Es ergab sich aus diesen Berechnungen:

$$\begin{aligned}x_0 &= 5.00470 \\y_0 &= -0.09186 \\ \xi &= -0.00018 \\ \eta &= 0.00005 \\ \text{und } x &= 5.00452 \\ y &= -0.09181, \\ \text{oder } E_0 &= 101050 Lx \\ p &= 0.8095.\end{aligned}$$

Der Koeffizient p ist eine für unsere Atmosphäre sehr charakteristische Konstante. Je grösser p ist, um so durchsichtiger ist die Luft. Allem Anscheine nach ändert sich diese Grösse in ziemlich weiten Grenzen. Ihr mittlerer Wert wird $= 0.835$ angegeben. Auf hohen Bergen ist sogar 0.930 beobachtet worden.

Wenn wir weiter den Gang der Kurve vom 22./VIII verfolgen, so fällt bereits ohne jegliche Berechnungen auf, dass der Zweig vor 11^h zu hoch zu liegen kommt; d. h. die Durchsichtigkeit der Atmosphäre muss am Vormittag grösser gewesen sein als nachher.

Benutzt man den Wert für E_0 , der sich aus der übrigen Kurve folgern liess, so kann man p für die Morgenstunden berechnen.

Tabelle 3.

t	E	$F(z)$	p
7 ^h	$6.05 \cdot 10^4 Lx$	3.195	0.852
8	6.80	2.259	0.839
9	7.13	1.817	0.825
10	7.32	1.568	0.814
11	7.42	1.461	0.810

In der Tabelle (3) ist das Resultat dieser Berechnungen zusammengestellt. Am Morgen um 7^h ergibt sich die grösste Durchsichtigkeit der Luft, welche später allmählich abnimmt und von 11^h ab einen für diesen Tag konstanten Grad erreicht.

Der Charakter der Witterung am Tage der Finsternis war ein wenig von dem oben beschriebenen verschieden. Fröh Morgens war der Himmel bewölkt, darauf trat wechselnde Bewölkung ein. Trotz-

dem weisen 2 Beobachtungen am Vormittag auf sehr starke Durchsichtigkeit hin, welche nachher abnimmt. Der Charakter der Witterung änderte sich schon nach dem I. Kontakt, worauf der Himmel bis zum Abend fast wolkenlos blieb, und dann auch die letzten Spuren von Bewölkung verschwunden waren.

Einen sehr interessanten Gang zeigt die Strahlungskurve zur Zeit der Finsternis. Nach dem Beginn der Finsternis senkt sich die Kurve anfangs allmählicher, darauf steiler und vor der Hauptphase wiederum allmählicher. Die Erhebung der Kurve nach der Hauptphase ähnelt dem entsprechenden Teil vor derselben. Aber es fällt sofort auf, dass ungeachtet der bedeutend grösseren Zenitdistanzen die Erhebung der umgekehrten Hälfte der Kurve viel steiler ist, als vor der Finsternis. Die Kurve überschreitet beträchtlich die Grenze der Kurve des nachfolgenden Tages und bleibt bis zum Abend höher als diese.

Die schwache Biegung der Kurve vor und nach der Hauptphase ist durch den bekannten Umstand bedingt, dass der Rand der Sonnenscheibe, infolge von Absorption durch die Sonnenatmosphäre, weniger Licht ausstrahlen kann, als der mittlere Teil. Dieses ist bereits an der rötlichen Färbung des Lichtes der Sonnensichel erkenntlich. Bei der Photometrieung wird durch Beobachtungen die allgemeine mittlere Grösse der Beleuchtung der Sonnenscheibe gemessen.

Um zur Zeit der Finsternis den Gang der erwähnten Erscheinung und die Veränderung der Durchsichtigkeit der Luft zu verfolgen, benutzte man folgende Methode.

In Zeitabständen von je 5 Min. berechnete man die Fläche des unbedeckten Teiles der Sonnenscheibe. Die Lichtintensität setzte man dieser strahlenden Fläche proportional. Indem man auf dieser Grundlage die fiktiven Beleuchtungen der ganzen Sonnenscheibe ausrechnete, ermittelte man die fiktiven Transmissionskoeffizienten.

Bei der Flächenberechnung ist in jedem Zeitmoment der Wert der Finsternisphase erforderlich, d. h. die Entfernung zwischen den Tangenten zu der Mond- und Sonnenscheibe, welche senkrecht zu der Verbindungslinie der Zentren beider Scheiben stehen.

Die relative Geschwindigkeit des Fortrückens dieser Tangenten berechnete man auf Grundlage der Kontaktmomente. Indem man durch die mittleren Geschwindigkeiten vor und

nach der Hauptphase eine Gerade zog, entnahm man graphisch für jede Phase die mittlere Geschwindigkeit, nach der man die Phase s berechnete, d. h. man nahm als erste Annäherung an, dass die Geschwindigkeit proportional mit der Zeit anwächst.

Der Astronom Witram¹⁾ gibt für die Geschwindigkeit der relativen Verrückungen der Zentren der Mond- und Sonnen-

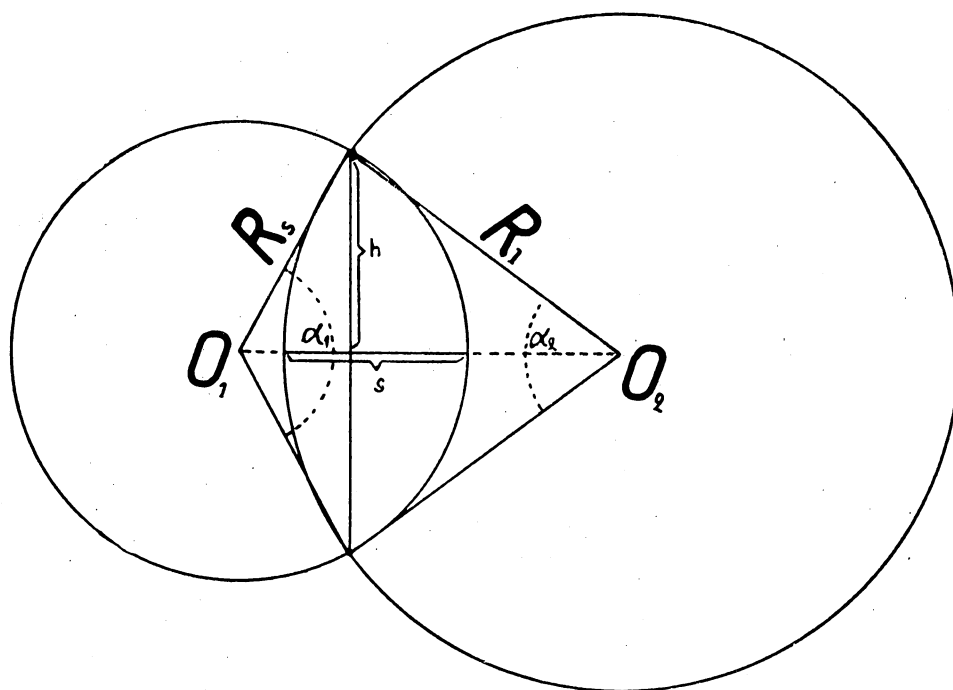


Fig. 6.

scheibe beim I. und IV. Kontakt $0''.444$ und $0''.487$ an. Die Gerade durch diese Punkte ist parallel zu meiner Geraden gelegen.

Die Dauer der Hauptphase ergab sich bei den Beobachtungen um $5-6^s$ kürzer, als die von den Astronomen vorausberechnete. Die Abweichung ist aller Wahrscheinlichkeit nach dem Umstande zuzuschreiben, dass der Mondradius im „Nautical Almanac“ zu gross angegeben ist²⁾.

Um auch für die Dauer der Hauptphase eine Übereinstimmung mit der Geschwindigkeit der relativen Weiterrückung der Tangenten zu erzielen, wie sie aus meiner Geraden sich folgern liess, sah ich mich gezwungen, überall bei meinen Berech-

1) Fürst B. B. Golicy n, Berichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg 1915, p. 280.

2) Th. Witram, Berichte der Kaiserl. Akademie der Wissenschaften zu St. Petersburg 1914, p. 892.

nungen den scheinbaren Mondradius um 0'.023 zu verkleinern. Der scheinbare Mondradius nahm bei dieser Finsternis allmählich ab, anfangs langsamer, später schneller. Man kann bei der Berechnung der Fläche den mittleren Wert benutzen, welcher in der Umgebung der Hauptphase statthat. Falls man den Sonnenradius, wie gewöhnlich, = 1 (15'.813) annimmt, so ist der oben bezeichnete Radius = 1.030.

Bei der Berechnung der Flächen muss man die Summe zweier Kreissegmente ermitteln, wozu die ihnen zugehörigen Zentriwinkel erforderlich sind.

Für die Berechnung dieser Winkel kann man, auf die Abhängigkeit von den scheinbaren Radiussen der Mond- und Sonnenscheibe und der Phase der Finsternis Bezug nehmend, verschiedene Formeln entwickeln.

Aus der Fig. 6 folgen die Beziehungen:

$$h = R_s \sin \frac{\alpha_1}{2} = R_l \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2}$$

$$s = h \left(\operatorname{tg} \frac{\alpha_1}{4} + \operatorname{tg} \frac{\alpha_2}{4} \right).$$

Hieraus kann man folgende Ausdrücke für α_1 und α_2 ableiten:

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_1}{4} = \frac{s(2R_l - s)}{4R_s(R_l + R_s - s) - s(2R_l - s)}$$

$$\operatorname{tg}^2 \frac{\alpha_2}{4} = \frac{s(2R_s - s)}{4R_l(R_l + R_s - s) - s(2R_s - s)}$$

Indem man die so berechneten Werte für α_1 und α_2 benutzte, bestimmte man die Flächen, die von der Mondscheibe bedeckt waren, darnach aber das Verhältnis der unbedeckten Fläche zur vollen Sonnenscheibe.

In der Tabelle (4) sind die Werte angegeben, welche bei diesen Berechnungen benutzt wurden. In der zweiten Rubrik stehen die Geschwindigkeiten, die sich auf die bezeichneten Momente beziehen, in der dritten aber die berechneten Phasen s .

Auf Grundlage der gegebenen s wurden die ihren Flächen zugehörigen Zentriwinkel errechnet.

Tabelle 4.

t	v	s
1 ^h 10 ^m	0''·4459	0.4199
15	4474	0.5611
20	4489	0.7029
25	4504	0.8450
30	4519	0.9877
35	4535	1.1310
40	4550	1.2745
45	4565	1.4186
50	4580	1.5632
55	4596	1.7084
2 0	4611	1.8540
2 10	4642	1.9154
15	4657	1.7685
20	4672	1.6210
25	4687	1.4730
30	4702	1.3246
35	4717	1.1757
40	4733	1.0263
45	4748	0.8764
50	4763	0.7261
55	4778	0.5753
3 0	4793	0.4240
5	4808	0.2722
10	4823	0.1200

Tabelle 5.

t	E	$F(z)$	f	(E)	(p)
1 ^h 10 ^m	$6.70 \cdot 10^4 Lx$	1.468	0.887	$7.56 \cdot 10^4 Lx$	0.820
15	6.26	1.478	828	7.56	821
20	5.71	1.488	762	7.49	818
25	5.10	1.496	689	7.40	812
30	4.47	1.503	612	7.30	806
35	3.85	1.513	531	7.25	803
40	3.24	1.521	446	7.26	805
45	2.62	1.528	359	7.30	809
50	2.00	1.538	268	7.46	821
55	1.32	1.546	182	7.26	808
2 0	0.58	1.557	085	6.80	776
2 10	0.31	1.592	046	6.61	766
15	1.08	1.609	139	7.79	851
20	1.83	1.628	233	7.87	858
25	2.49	1.650	325	7.65	845
30	3.14	1.669	416	7.54	839
35	3.76	1.688	505	7.44	834
40	4.39	1.706	591	7.43	835
45	4.99	1.725	673	7.42	836
50	5.57	1.745	750	7.43	838
55	6.10	1.771	822	7.42	840
3 0	6.58	1.801	886	7.43	843
5	7.00	1.832	941	7.44	846
10	7.33	1.862	982	7.46	850

In der Tabelle (5) ist das höchst interessante Resultat der Berechnung der Beleuchtungsstärken in bezug auf die volle Sonnenscheibe und der auf Grundlage dieser Werte ermittelten Transmissionskoeffizienten der Atmosphäre zur Zeit der Finsternis selbst zusammengestellt, zu welchem Zweck behufs Ermittlung der entsprechenden Werte von E die Strahlungskurve für die Finsternis nach der Abszissenachse in gedehnterem Massstabe gezeichnet wurde, worauf man aus dieser Kurve die E entnahm, die in der Tab. (5) eingetragen sind. f drückt das Verhältnis der unbedeckten Fläche zu der ganzen Sonnenscheibe aus.

Wenn man die Werte für (p) in der Tabelle betrachtet, so bemerkt man erstens, dass der mittlere Wert von (p) vor der Hauptphase um ein bedeutendes kleiner ist, als nach derselben. Dabei hätte man erwarten können, dass (p) um 2^h (zur Zeit der Hauptphase der Finsternis) die ganze Zeit hindurch kleiner ausfallen würde, als in den übrigen Zeiten, da die Lichtintensität, welche von der Flächeneinheit des Sonnenrandes ausgestrahlt wird, geringer ist, als die mittlere Lichtintensität von der Flächeneinheit der ganzen Sonnenscheibe.

In der folgenden Tabelle sind Angaben über die Veränderlichkeit der Intensität der Lichtstrahlung der Sonnenscheibe von der Mitte bis zu dem Rande zusammengestellt, wie man dieselben in der wissenschaftlichen Literatur vorfindet.

Die Entfernung vom Zentrum gezählt.	Die Lichtstrahlung.
0.0	1.00
0.2	0.98
0.4	0.94
0.6	0.87
0.8	0.75
0.9	0.64
0.95	0.55
1.00	0.37

Auf Grundlage dieser Zahlenwerte hätte man zur Zeit der Finsternis folgenden Gang der Veränderung der Grösse (p) zu erwarten gehabt. Nach dem I. und vor dem IV. Kontakt hätten sich die nach den Flächen berechneten Beleuchtungen (E) und auch (p) als grösser ergeben müssen, da dort die Beleuchtung von jenem Teil der Sonnenscheibe ausgeschlossen ist,

der verhältnismässig weniger Licht ausstrahlt. Mit der Zeit hätten (E) und (p) immer mehr abnehmen und vor dem II. und nach dem III. Kontakt ein Minimum aufweisen müssen, da die schmale Sichel bedeutend weniger Licht aussendet. In der Tabelle (5) bemerkt man in der Tat in beiden Fällen in der Umgebung der Hauptphase ein scharfes Minimum, welches ohne Zweifel darauf hinweist, dass der Sonnenrand weniger Licht aussendet. Ausserdem aber bemerkt man in der Tabelle für beide Kurvenzweige ein scharfes zweites Maximum. Dieses kann nur durch den Umstand erklärt werden, dass die Durchsichtigkeit der Luft bereits vor dem II. Kontakt sich vergrösserte und nach dem III. Kontakt eine bedeutende Grösse erreichte.

(E) und (p) hätten sich ohne diese Veränderungen der Eigenschaften der Atmosphäre in der Umgebung der Hauptphase als noch geringer ergeben.

Auf der Tabelle über die Veränderung der Intensität der Strahlung vom Zentrum nach dem Rande zu basierend, hätte man diesen Umstand weiter untersuchen können. In Anbetracht der erforderlichen ziemlich langen Berechnungen wurde diese Frage hier nicht weiter verfolgt, umsomehr, als die Tatsache des Auftretens der zweiten Maxima vor dem II. und nach dem III. Kontakt ausserordentlich scharf ausgeprägt ist. Nach dem IV. Kontakt senkt sich die Strahlungskurve wiederum ein wenig und erhebt sich dann von neuem etwas gegen Abend. Auf jeden Fall bleibt sie die ganze Zeit bedeutend höher als die Kurve des folgenden Tages. Wegen der geringeren Zenitdistanz am Tage der Finsternis war man berechtigt dieses zu erwarten; wenn man aber den Einfluss von z durch die Ermittlung von p ausschliesst, so ergibt sich deutlich, dass die Durchsichtigkeit nach der Finsternis grösser gewesen ist, als um dieselbe Zeit des darauffolgenden Tages.

In der Tabelle (6) sind die entsprechenden Werte für p für diesen Teil der Kurve zusammengestellt; in ihnen tritt der Charakter der Durchsichtigkeit der Atmosphäre nach der Finsternis am deutlichsten hervor.

Hier ist zu erwähnen, welche Angaben sich in der Literatur in bezug auf die Unsymmetrie der Kurvenzweige der Beleuchtungsstärken vor und nach der Hauptphase einer Finsternis finden lassen.

T a b e l l e 6.

t	E	$F(z)$	p
$3\frac{1}{2}^h$	$7.07 \cdot 10^4 Lx$	1.929	0.831
4	6.52	2.251	823
$4\frac{1}{2}$	6.03	2.623	821
5	5.44	3.161	822
$5\frac{1}{2}$	4.72	3.997	827
6	3.68	5.439	831
$6\frac{1}{2}$	2.38	8.533	844

Zuerst wurde diese eigentümliche Erscheinung in Spanien, bei der Finsternis vom 28./V 1900¹⁾, beobachtet. Auch dann entwickelte sich das Anwachsen der Strahlung nach der Hauptphase schneller, als das entsprechende Abnehmen vor der Hauptphase.

Elster und Geitel²⁾ kontrollierten diese Tatsache bei der Finsternis am 17./IV 1912, folgerten aber aus ihren Beobachtungen, dass keine deutliche Unsymmetrie festgestellt werden könne.

Bei derselben Finsternis vom 17./IV 1912 wurde ein Einfluss der Finsternis auf die Wellen der drahtlosen Telegraphie bemerkt³⁾, und zwar wurden in der zweiten Hälfte der Finsternis die Signale stärker wahrgenommen, als in der ersten. Diese Erscheinung könnte man freilich so deuten, dass vor der Finsternis die Luft durch die ultravioletten Sonnenstrahlen stärker ionisiert war als nachher und infolgedessen eine stärkere Dämpfung elektromagnetischer Wellen bewirkte.

In unserem Falle weisen die Beobachtungen über die Strahlung in Üxküll sehr scharf auf die Unsymmetrie in den beiden Kurvenzweigen vor und nach der Finsternis bezüglich der Lichtwellen hin.

Augenscheinlich ging irgendwo in den Luftschichten eine scharfe Veränderung nach der Finsternis vor sich. Die Durchsichtigkeit der Luft wurde beträchtlich grösser, wobei es auch

1) Cirera, Instructions pour l'observation de l'éclipse totale du soleil, Tortosa 1905.

2) Physikalische Zeitschrift **13**, 852. 1912.

3) С. Токмачевъ, Метеорологический Вѣстникъ **22**, 403. 1912.

hier gelang das Maximum annähernd 10—15 Min. nach der Mitte der Finsternis zu konstatieren. Weiter beobachtet man nach dem IV. Kontakt wiederum eine schwache Abnahme des Koeffizienten p , welcher gegen Abend abermals etwas zunimmt. Am Morgen des darauffolgenden Tages ist noch bis 10 Uhr eine grössere Durchsichtigkeit der Atmosphäre deutlich zu bemerken (Tab. 3).

Bei einem solchen Gange der Erscheinungen ist es wohl klar, dass hierbei eine besondere Beziehung mit den Sonnenstrahlen bestehen muss. Die Wirkung äusserte sich bereits vor dem II. Kontakt, wo die Strahlung bedeutend abnahm, wobei als Folge sich eine erhöhte Durchsichtigkeit einstellte.

Der ganze Prozess der Zunahme dauert besonders energisch zu jener Zeit an, während welcher die Sonnenscheibe voll und ganz von dem Monde bedeckt ist, und wird einige Zeit nach dem III. Kontakt ein wenig schwächer, worauf bald von neuem eine langsame Veränderung in entgegengesetzter Richtung einsetzt.

Zur Erklärung eines solchen Verlaufes von p sind sehr glaubwürdige Hypothesen über die Einwirkung von ultravioletten Strahlen auf bestimmte Schichten der Atmosphäre aufgestellt worden, wonach sich in solchen Schichten unter der Einwirkung dieser Strahlen Nebelkerne bilden.

V. N. Obolenskij¹⁾ hat über diese Frage eine sehr interessante Arbeit veröffentlicht, in welcher speziell die Einwirkung der ultravioletten Strahlen auf die Erdatmosphäre behandelt und zugleich die ganze Literatur in bezug auf diese Frage besprochen wird.

Die Bildung von Kondensationskernen und ihre Erhaltung unter dem Einfluss von ultravioletten Strahlen ist eine Tatsache, die durch das Experiment bewiesen ist und die oben beobachtete Erscheinung bei der Finsternis sehr gut erklärt, um so mehr, da eine analoge Einwirkung überhaupt bei einer Abnahme der Strahlung, nämlich gegen Abend, beobachtet wird, wobei bei klarem Wetter die Durchsichtigkeit nachts bedeutend grösser sein muss, als am Tage. Dieses leuchtet auch nach den Beobachtungen der Tabelle (3) ein, nach welcher am Morgen des

1) В. Н. Оболенскій, Фотоэлектрическое дѣйствіе ультрафіолетовыхъ лучей примѣнительно къ земной атмосферѣ, Зап. Новоросс. Общ. Естествозн. 39. 1913.

22./VIII nach einer längeren Einwirkung der Sonnenstrahlen p eine für diesen Tag konstante Grösse annahm.

Ohne Zweifel sind dabei aber auch andere meteorologische, mit der Wärmestrahlung der Sonne in Verbindung stehende Faktoren von grosser Bedeutung, so ganz besonders eine Verschiebung der Luftschichten in vertikaler Richtung, die eine grössere Veranlagung der Luft zur Bildung von Kondensationskernen bedingen kann.

Das erkennt man am deutlichsten daran, dass am Morgen des 22./VIII die im Laufe der Nacht erreichte Durchsichtigkeit ganz besonders lange erhalten blieb und dass deren Grösse überhaupt von Tag zu Tag gewissen Veränderungen unterworfen ist. So ergibt sich z. B. aus den Beobachtungen für den 24./VIII bereits eine geringere Durchsichtigkeit.

Schon aus der kleinen Beobachtungsserie in Ü x k ü l l ersieht man, dass die Grösse p hinsichtlich unserer Atmosphäre eine sehr wichtige Rolle spielen muss, und es ist sehr wahrscheinlich, dass eine detailliertere Untersuchung in dieser Richtung der Meteorologie sehr wichtige Dienste erweisen könnte.

Dabei erweist sich das Kristallphotometer von Wild wegen seiner Empfindlichkeit und in seiner neuen Ausstattung der modernen Technik mit elektrischer Beleuchtung entsprechend als ein sehr brauchbares Instrument zur Untersuchung von höheren Luftschichten und dürfte zur Beantwortung einiger Fragen der Wetterbestimmung sehr empfehlenswert sein. Wenn man in seiner Konstruktion einige Verbesserungen anbringen würde, z. B. eine bequemere Vorrichtung für die Adjustierung des Polarisators, für die Röhre des Polariskops und des Mikroskops für Ablesungen, Knieteile mit Prismen, welche gestatten würden die Beobachtungen an der Sonne auch bei kleineren Zenitentfernungen auszuführen, könnte dieser Apparat in eines der bequemsten und genauesten Instrumente zur Untersuchung der Durchsichtigkeit unserer Atmosphäre verwandelt werden.

Es wäre von Interesse auszurechnen, von welcher Stärke eine Lichtquelle sein müsste, die der Sonnenscheibe entsprechen und bei uns ohne die Absorption durch unsere Atmosphäre die Beleuchtung $E_0 = 101050 \text{ Lux}$ bewirken würde. Diese Grösse lässt sich auf Grundlage des Beobachtungsmaterials vom 22./VIII mit grosser Genauigkeit bestimmen.

Zu diesem Zweck setzen wir die mittlere Entfernung der Sonne von der Erde $R = 149.5 \cdot 10^9 m$ an. Dann ergibt sich aus der Beziehung

$$E = \frac{J}{R^2}$$

die ungeheure Zahl

$$J = 2.26 \cdot 10^{27} HK.$$

Dieser Wert entspricht nur der Lichtstärke der Sonnenscheibe, wobei die Ränder infolge von Absorption durch die Sonnenatmosphäre weniger Licht aussenden. Die Lichtstärke der ganzen Sonnenkugel übersteigt diese Zahl um mehr als 4 mal und würde annähernd $11.5 \cdot 10^{27} HK$ gleichkommen.

Für die Beleuchtungsstärke der Sonnenkorona erhielt man durch eine grobe Extrapolation $E_c = 0.4 Lux$. Dieser sehr schwachen Helligkeit in der Entfernung der Sonne würde entsprechen

$$J_c = 9 \cdot 10^{21} HK.$$

Hieraus erkennt man, welche ungeheure Quelle von Lichtenergie die Sonnenkorona darstellt.

Wollen wir weiter in Betracht ziehen, welche Werte für die Beleuchtungsstärke der Korona früher gefunden worden sind, soweit sie mir in der Literatur zugänglich waren.

Es sind beobachtet worden:

im Jahre 1870 ¹⁾	5.75 Meterkerzen
1878	0.64 „
1886	0.34 „
1889	0.12 „
1893 ²⁾	3.5 „

Die Schätzungen 5.75 und 3.5 muss man ohne Zweifel für viel zu gross halten, und es ist auch kaum annehmbar, dass die Beleuchtungsstärke im Laufe der Zeit solch ungeheuren Schwankungen unterworfen sein könne. Die Korona des Jahres 1914 erschien allen Spezialisten in dieser Frage als ausserordentlich hell, und trotzdem ergab eine Schätzung den Wert von $0.4 Lux$.

1) G. Müller, Die Photometrie der Gestirne, 1897, p. 331.

2) Svante Arrhenius, Lehrbuch der kosmischen Physik, 1903, p. 114.

Das Gesamtergebnis der vorliegenden Untersuchung lässt sich kurz folgendermassen zusammenfassen:

Das Kristallphotometer von Wild, welches im allgemeinen nur sehr wenig Verwendung gefunden hat, stellt in seiner neuen Ausstattung einen im höchsten Grade empfindlichen Apparat für die Untersuchung der Lichtstrahlung der Sonne und der Durchsichtigkeit der Erdatmosphäre dar.

Die Zahlenwerte Bemporad's für die Weglänge der die Atmosphäre durchlaufenden Strahlen ergaben in einem grossen Intervall der Strahlungskurve des heiteren Tages vom 22./VIII sehr übereinstimmende Werte für die Strahlungskonstante der Sonne und den Transmissionskoeffizienten der Luft. Die Durchsichtigkeit war am Morgen bedeutend grösser als nachher.

Zur Zeit der Finsternis vom 21./VIII 1914 wurde eine sehr scharfe Unsymmetrie zwischen dem ab- und dem ansteigenden Kurvenzweige der Lichtstrahlung vor und nach der Hauptphase festgestellt, welche dadurch bedingt zu sein schien, dass die Durchsichtigkeit der Luft nachher bedeutend grösser geworden war.

Kurz vor und kurz nach der Hauptphase liess sich auf Grund der Bestimmungen aus den beiden Kurvenzweigen eine erhöhte Durchsichtigkeit folgern, wobei das Maximum 10—15 Min. nach der Hauptphase eingetreten ist.

Die Absorption durch die Sonnenatmosphäre macht sich in ihrer Wirkung auf die Lichtstärke in der Nähe der Hauptphase scharf geltend.

Die Helligkeit der diesmaligen Sonnenkorona wird auf 0.4 *Lux* geschätzt.
