

## VII. Licht- und luftelektrische Messungen im Hochgebirge.

Von H. Dember.

Mit 11 Abbildungen.

I. Vor einigen Jahren stellte sich den Ingenieuren, die sich mit der Ausbildung der drahtlosen Telegraphie beschäftigen, ein merkwürdiges Problem gegenüber. Es zeigte sich nämlich, daß die Reichweite funken-telegraphischer Verständigung unter sonst gleichen Umständen in der Nacht größer ist als am Tage.

Der erste, dem dieses bei seinen Versuchen auffiel, ist Marconi gewesen\*), als er 1902 zwischen Poldhu an der Küste von Cornwall und einem nach New-York fahrenden Dampfer eine Verständigung durch Hertz'sche Wellen auf große Entfernungen aufrecht zu erhalten suchte. Solange die Entfernung zwischen seiner Landstation und dem Schiffe kleiner war als 800 km, liefs sich ein merkbarer Unterschied in der Stärke der am Tage und in der Nacht empfangenen Zeichen nicht erkennen. Bei Tage versagte jedoch die Verständigungsmöglichkeit vollständig in Entfernungen über 1100 km, während die Verständigung nachts bis auf etwa 1700 km gelang. In einer späteren Veröffentlichung\*\*) gibt Marconi an, daß die elektromagnetischen Wellen im Mittel am Tage nur  $\frac{2}{5}$  so weit kämen wie in der Nacht. Dr. Mosler hat eine entsprechende Beobachtung in Braunschweig gemacht. Während er die Zeichen der 1100 km entfernten Station Poldhu mittags nur ganz schwach und undeutlich wahrnehmen konnte, waren sie nachts klar und deutlich.

Zur Erklärung dieser Erscheinung sind eine ganze Reihe von Vorschlägen gemacht worden. Marconi hält es in seiner ersten Notiz für möglich, daß das Sonnenlicht direkt elektrizitätszerstreuend auf die Sendeanenne wirkt, sodafs hierdurch die Energie der elektrischen Schwingung kleiner wird. Tatsächlich ist ja während einer Halbschwingung die Antenne negativ geladen, und — wie wir später noch sehen werden — wirkt das Tageslicht zerstreuend auf die negative Elektrizität ein. Aber jeder, der sich mit ähnlichen Problemen beschäftigt hat, weifs, daß der elektrizitätszerstreuende Einfluß des Lichtes auf ein Stück Metall, das den Unbilden der Witterung ausgesetzt war, sehr gering ist.

Eine andere Erklärungsmöglichkeit zog wohl zuerst Taylor\*\*\*) heran. Er sagt, daß am Tage von der Sonne aus in die oberen Schichten der Atmosphäre Elektronen, d. h. negative Elektrizitätsteilchen mit hinreichender

\*) G. Marconi, Proc. Roy. Soc. 70, 344, 1902.

\*\*) G. Marconi, Electrician 54, 825, 1904/05.

\*\*\*) J. E. Taylor, Proc. Roy. Soc. 71, 225, 1903.

Geschwindigkeit hineingeschleudert werden, und daß so die Leitfähigkeit der diese Teilchen absorbierenden Schichten stark vergrößert wird. Sie wissen, daß man die Möglichkeit der Einwanderung von Elektronen, oder, was dasselbe ist, von Kathodenstrahlen herangezogen hat, um die Nordlichterscheinungen zu erklären.\*) Ein direkter experimenteller Beweis dieser Hypothese liegt aber bisher noch nicht vor. Sicherlich gibt aber die Annahme einer erhöhten Leitfähigkeit der oberen Schichten der Atmosphäre eine Lösung des funktetelegraphischen Problems, da leitende, ionisierte, d. h. ionentragende Luft elektrische Schwingungen absorbiert.

Wenn auf sehr große Entfernungen drahtlos telegraphiert werden soll, so ist man wegen der Erdkrümmung gezwungen, die Hertz'schen Wellen in einem bestimmten Winkel zum Horizont in den Raum hinaus zu senden. So wie es die Figur 1 (nach Zenneck) zeigt.

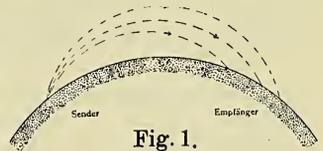


Fig. 1.

Die Wellen kommen auf diese Weise in höhere Luftschichten, und falls diese ionisiert sind, so finden Reflexionen und Absorptionen statt. Gerade so als wenn die Welle auf einen Metallschirm trifft. Auch hier stellt man sich vor, daß die Beeinflussung der elektromagnetischen Wellen durch die Elektronen oder Ionen, die stets im Metall enthalten sind, stattfindet. Auf die Möglichkeit, daß die Wellen der Funktetelegraphie an ionisierten Schichten der Atmosphäre reflektiert werden können, hat zuerst Prof. Wiener\*\*) in Leipzig aufmerksam gemacht und auf ganz analoge Erscheinungen bei der Fortpflanzung der Schallwelle von Explosionen hat v. d. Borne hingewiesen. Man hat beobachtet, daß in gewissen Bereichen in bisweilen großen Entfernungen von der Energiequelle der Schall deutlich auftritt, während er in dazwischen liegenden Gebieten nicht von nachweisbarer Intensität ist. Was bei den Schallwellen meist durch verschieden temperierte Luftschichten hervorgerufen wird, bewirken bei den elektrischen Wellen Schichten verschiedener Brechungsexponenten. Die Brechungsexponenten aber sind abhängig von der in der Volumeneinheit enthaltenen Elektronen- oder Ionenzahl.

Um die Vermehrung der Leitfähigkeit der Luft in ihrer Abhängigkeit von der Sonnenstellung zu erklären, ist es nun nicht notwendig anzunehmen, daß von außen her Teilchen in die Atmosphäre fliegen, welche dort eine Leitfähigkeit hervorrufen oder eine schon vorhandene vergrößern. Es ist aus Laboratoriumsversuchen eine Erscheinung bekannt, die an die Stelle der obigen Hypothese gesetzt werden kann. Der Grundversuch, auf den diese Beobachtung zurückgeht, besteht darin, daß eine isoliert aufgestellte Metallscheibe sich unter dem Einflusse ultraviolett Lichts, wie Prof. Hallwachs gefunden hat, positiv auflädt. Eine nähere Untersuchung zeigt, daß hierbei negative Elektrizität weggegangen und so die Platte positiv geladen zurückgeblieben ist. Man nennt diese Erscheinung den lichtelektrischen Effekt. Wir werden eine praktische Verwendung derselben noch in anderer Form in unseren Apparaten benutzen.

Genau so wie die Metallscheibe unter der Einwirkung der kurzwelligeren Strahlen lichtelektrisch empfindlich ist, so zeigen auch Flüssigkeiten,

\*) L. Vegard nimmt  $\alpha$ -Strahlen an; Lenard, Birkeland und Störmer Kathodenstrahlen.

\*\*) O. Wiener, Protokoll der Sitzungen der lufttelekt. Kommission der kartell. Akademien, Ber. d. Kgl. S. Ges. d. Wiss. Leipzig 63, 1910.

Dämpfe und, was uns hier besonders interessiert, Gase den lichtelektrischen Effekt: Wird ein neutrales Gasmolekül mit sehr kurzwelligem Licht bestrahlt, so geht — was P. Lenard entdeckt hat — negative Elektrizität von dem Molekül weg und läßt ein positives Teilchen zurück. Die negative Elektrizität, welche das Molekül verlassen hat, kann sich nun z. B. an ein zweites neutrales Gasmolekül anlegen, und so entstehen in der Luft Ionen beiderlei Vorzeichens. Wie man aus den Faradayschen und Hittorfschen Vorstellungen über die Elektrolyse weiß, ist durch den Ionengehalt eine Leitfähigkeit bedingt. Die Menge der gebildeten Ionen hängt von der Intensität des wirksamen Lichtes ab. Das kann man sich leicht vorstellen, da ja zur Bildung zweier Ionen aus einem Molekül, d. h. zur Trennung eines Elektrons vom positiven Kern, ein Arbeitsaufwand erforderlich ist. \*)

Die Fragestellung für das eingangs aufgestellte Problem nimmt also folgende Gestalt an: Bewirkt die in die Atmosphäre einfallende kurzwellige Sonnenstrahlung eine in erreichbaren Höhen schon nachweisbare Ionisation der oberen Luftschichten der Atmosphäre, d. h. eine Vergrößerung der Leitfähigkeit? Oder mit anderen Worten: Läßt sich zwischen der tagsüber ansteigenden und abfallenden Sonnenstrahlen-Intensität und der Leitfähigkeit der Luft ein Parallelismus nachweisen?

In der letzten Fassung ist die Frage mit Hilfe transportabler Apparate praktisch kaum lösbar, weil nämlich mit Hilfe der vorhandenen Apparate zur Bestimmung einer absoluten Leitfähigkeit mindestens eine Zeit von etwa 40 Minuten notwendig ist und in dieser Zeit sich die Sonnenintensität beträchtlich ändert. Es gibt zwar stationäre Apparate, die eine GröÙe ständig registrieren, von der auf die absolute Leitfähigkeit geschlossen werden kann; aber um die Sonnenstrahlung zu messen ist ein staubfreier, d. h. möglichst hoch gelegener Ort nötig, und diese Bedingung schließt die Anwendung eines komplizierten Apparates aus.

Jedoch gibt eine kurze Betrachtung der Zahlen der Ionen beiderlei Vorzeichens, wie sie immer in der Luft vorhanden sind, ein Mittel an die Hand, um mit einem einfachen, exakt arbeitenden Apparat schnell eine andere Beziehung zu finden, welche an dieser Stelle die Kenntnis der absoluten Leitfähigkeit ersetzt.

Es ist längst bekannt, daß zwischen zwei senkrecht übereinander liegenden Punkten der Atmosphäre ein Potentialgefälle herrscht, daß z. B. zwischen zwei Punkten, die einen Abstand von 1 m voneinander haben, 100 bis 200 Volt Spannungsunterschied vorhanden ist. Da die Luft eine gewisse Leitfähigkeit besitzt, so bedingt das Spannungsgefälle einen ständigen vertikalen Leitungstrom. \*\*)

Vorausgesetzt ist dabei, daß die Ionen, welche die Strömung bilden, ständig wieder ersetzt werden. Als wichtigster Ionisator der atmosphärischen Luft sehen wir — der Ansicht Prof. Eberts folgend — die radioaktiven Stoffe der Erdkruste an. Wenn wir nun annehmen, es seien im  $m^3$  die von den Ionen getragene negative Ladung  $E_-$  und die positive  $E_+$ , dann ist der Quotient  $E_-/E_+$ , wie sich fast ausnahmslos gezeigt

\*) Über die GröÙe dieses Energiebetrags vergleiche z. B. P. Lenard, Ann. d. Phys. 8, 149, 1903, und H. Dember, Ann. d. Phys. 30, 151, 1909.

\*\*) Nach Messungen, die Herr Dr. Partzsch und der Vortragende am 11. XII. 1911 ausgeführt haben, bestand z. B. auf den südlichen Höhen Dresdens ein Potentialgefälle

von  $125 \frac{\text{Volt}}{\text{m}}$  und ein Leitungstrom von  $2,38 \cdot 10^{-16} \frac{\text{Ampere}}{\text{cm}^2}$ .

hat, kleiner als Eins, d. h. die Anzahl der negativen Teilchen ist kleiner als die der positiven. Die lichtelektrische Wirkung auf ein Gas vermehrt — nach Lenard — die Zahl der positiven und negativen Ionen in der Volumeneinheit um den gleichen Betrag, z. B. um die Anzahl  $b$ . Findet die Messung der Ionenzahlen im Bereiche einer starken Wirkung (Absorption) des kurzwelligigen Lichtes statt, so muß, weil  $\frac{E}{E_+} < \frac{E_- + b}{E_+ + b}$  ist, der Quotient in derselben Weise zunehmen wie die Intensität des ultravioletten Lichtes. Es war also nur nötig, die Elektrizitätsmenge negativen und positiven Vorzeichens im gemessenen Quantum Luft zu bestimmen, um so ein Maß für die Wirksamkeit des von außen hinzugekommenen Ionisators zu haben.

Die im  $m^3$  Luft enthaltene Elektrizitätsmenge oder, was ihr direkt proportional ist, die Ionenzahl läßt sich durch einen prinzipiell sehr einfachen Apparat, der Herrn Prof. Ebert zu verdanken ist, schnell messen\*).

Durch ein 2 bis 3 cm weites Metallrohr wird mit Hilfe eines kleinen von einer Feder angetriebenen Ventilators Luft hindurchgesaugt. In dem Rohr (R) streift die Luft an einem, wie wir annehmen wollen, positiv geladenen Messingstab (M) vorbei. Es werden dann die negativen Ladungen von diesem Stabe angezogen, und das mit dem Stabe in Verbindung stehende Elektroskop zeigt den Ladungsverlust an. Wenn nun im ganzen der Stab seiner Umgebung gegenüber die Kapazität C hat, d. h. wenn die Elektrizitätsmenge  $E = C(V_1 - V_2)$  nötig ist, um ihn vom Potential  $V_2$  auf das Potential  $V_1$  zu laden, so gibt uns der für eine gewisse durchgesaugte Luftmenge beobachtete Potentialabfall ( $V_1 - V_2$ ) mit der Apparatkonstanten C multipliziert direkt die Elektrizitätsmenge pro  $m^3$  an. Eine solche Messung läßt sich für beide Vorzeichen in 15 Minuten gut ausführen.

Zur Messung der Intensität der ultravioletten Lichtstrahlen wurde ein Instrument benutzt, dessen Prinzip ebenfalls außerordentlich einfach ist. Eine Metallscheibe aus Magnaliumblech, das blank geschabt ist, steht mit einem Saitenelektrometer und mit einer Kapazität C in Verbindung (siehe Figur 3), um die auf das Ganze daraufzubringende Elektrizitätsmenge zu vergrößern. Wird das Instrument, welches um eine horizontale und eine vertikale Axe drehbar ist, auf die Sonne gerichtet, so wird — nach Öffnung der Kappe K — die negative Ladung der Magnaliumscheibe zerstreut und zwar um so schneller, je größer die Intensität des Lichtes ist. Mit Hilfe einer Stechuhhr wird die Zeit gemessen, die der Faden des Elektrometers braucht, um eine bestimmte Anzahl von Skalenteilen zu durchlaufen, je kürzer diese Zeit ist, um so stärker ist die Sonnenstrahlung.

\*) Über einige von Herrn Dr. Rosenmüller, Dresden, und dem Vortragenden angebrachte Verbesserungen siehe Protokoll über die Sitzungen der luftelektr. Kommission. Ber. der Bayr. Akademie der Wiss. München 1912.

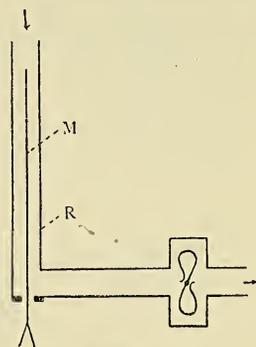


Fig. 2.

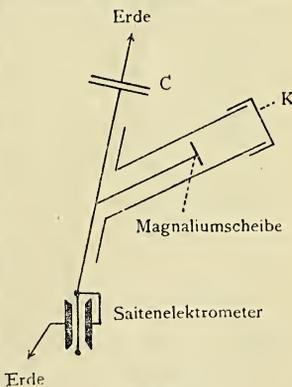


Fig. 3.

Die ersten Messungen mit diesen beiden Apparaten habe ich 1911 in Arolla in der Schweiz (Wallis) angestellt; in einer Seehöhe von 2000 m. Arolla liegt am Ende eines der südlichen Seitentäler des Rhonelaufes. Das Tal zweigt sich bei Sitten ab, und man hat von dieser betriebsamen Stadt bis zu dem Dorfe am Ende des fahrbaren Weges etwa sechs Stunden Postfahrt. Dann wurden die Instrumente auf Maultiere geladen und so auf leidlichem Wege nach Arolla transportiert.

Bei dem aufsergewöhnlich klaren Wetter des Sommers 1911 boten die Messungen selbst keine Schwierigkeiten. Nach wenigen Beobachtungstagen liefs sich aus allen Messungen deutlich ein paralleler Verlauf zwischen Lichtintensität und Ionisation erkennen. Die Figuren 4—9 zeigen die Beobachtungen vom 27., 28. und 29. August. Die dritte punktierte Kurve gibt den Verlauf der relativen Feuchtigkeit wieder.

Nachdem der Parallelismus zwischen Menge der elektrischen Ladungen und der Lichtintensität — wie er aus den Kurven hervorgeht — gefunden worden war, war es notwendig, eine Bestätigung an einem anderen, möglichst noch höher gelegenen Orte zu suchen. Als sehr geeignet hierzu erschien die nur wenige Stunden von Arolla gelegene Cabane de Bertol.

Als ich am 27., 28. und 29. August die obigen besonders guten Beobachtungen ausgeführt hatte, brach ich am 30. mit einem Führer und zwei Trägern zur Hütte auf. Der Weg geht etwa 2 1/2 Stunde, erst an der durch Steinfall exponierten Moräne des Arollagletschers entlang,

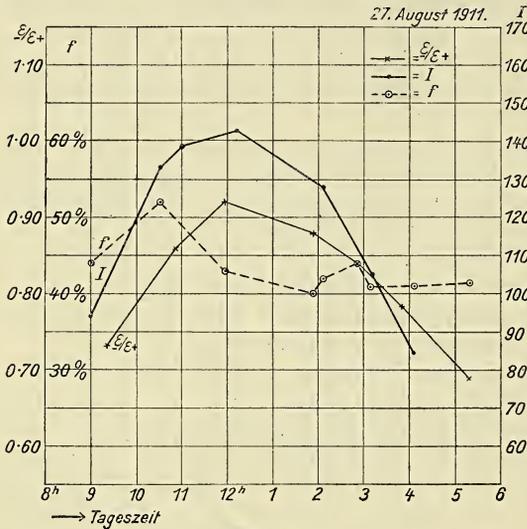


Fig. 4.

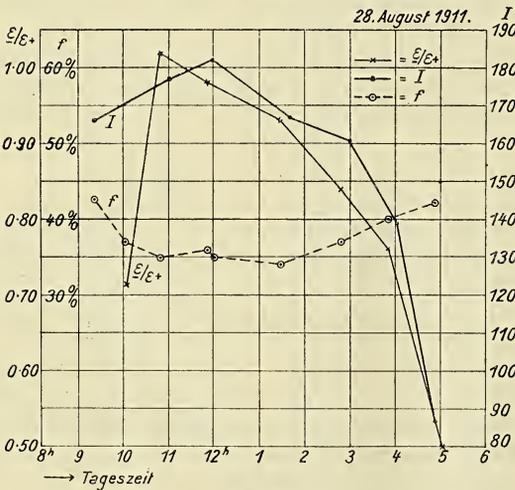


Fig. 5.

in vielen Windungen hinauf zum 2600 m hohen Plan de Bertol und von hier in zwei Stunden über den Bertolgletscher, der nur wenige große Spalten zeigte, zum Col de Bertol, von wo wir nach einer kurzen Felskletterei zur 3423 m hoch gelegenen einfachen Hütte kamen. Trotz der sehr primitiven Einrichtung der Hütte genügte bei dem günstigen Wetter schon drei

Beobachtungstage, um die gesuchte Bestätigung zu erhalten. Die Figuren 7—9 zeigen die Resultate.

Nach diesen Messungen besteht schon in den Schichten der Atmosphäre von 3400 m Höhe über dem Erdboden ein Einfluss der Sonnenstrahlung auf den Ionengehalt. Es ist nicht wahrscheinlich, dass noch bei 3400 m die Ionisation direkt durch das Sonnenlicht stattfindet, sondern eher, dass durch den vertikalen Leitungstrom oder durch Konvektion die Ionen aus den obersten Schichten der Atmosphäre heruntergebracht werden und sich so nachweisen lassen. Wie dem auch sein mag, es besteht der Parallelismus, und es ist Sache weiterer Untersuchungen, den Mechanismus aufzuklären.

Die für das erwähnte Problem der Funkentelegraphie vorgeschlagene Erklärung findet in diesen Beobachtungen ihre experimentelle Stütze.

Diesen Untersuchungen aus dem Jahre 1911 ist noch hinzuzufügen, dass sie auf Kosten der Kgl. Sächs. Akademie der Wissenschaften zu Leipzig ausgeführt worden sind und dass die Akademie im Frühjahr 1912 weitere Mittel zur Fortsetzung der Messungen zur Verfügung gestellt hat,

sodass im August 1912 eine neue Aufgabe in Angriff genommen werden konnte.

II. Den Astronomen und auch den Physiker interessiert besonders eine GröÙe, die sich aus den Beobachtungen der Intensität des Sonnenlichts in verschiedenen Höhen der Sonne über dem Horizont herausrechnen lässt. Das ist der Transmissionskoeffizient. Wenn die Sonnenstrahlen die äußerste Schicht unserer das Licht absorbierenden Atmosphäre mit einer Intensität  $I_0$  erreichen, wenn also der Wert der exterrestrischen Sonne gleich  $I_0$  ist, so nimmt man nach Bouguer und Lambert an, dass die Intensität  $I$ , nachdem eine Luftstrecke  $z$  durchlaufen ist, durch die einfache Beziehung  $I = I_0 a^z$  gegeben ist. Die GröÙe  $a$  wird meist mit dem Namen

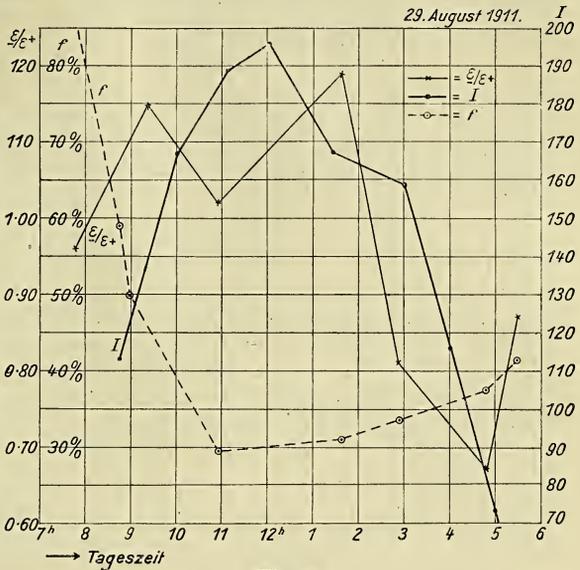


Fig. 6.

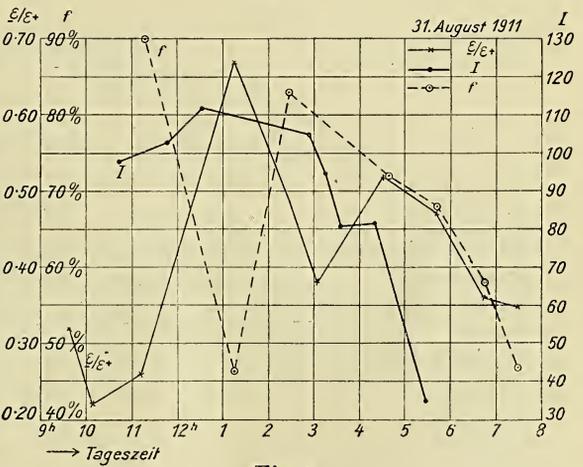


Fig. 7

Transmissionskoeffizient bezeichnet. Berechnet man ihn für einige der oben graphisch dargestellten Messungen, so erhält man z. B.

$$29. \text{ VIII. } 1911 \begin{cases} 0,37 \\ 0,25 \\ 0,32 \end{cases}$$

$$1. \text{ IX. } 1911 \begin{cases} 0,36 \\ 0,25 \\ 0,27 \end{cases}$$

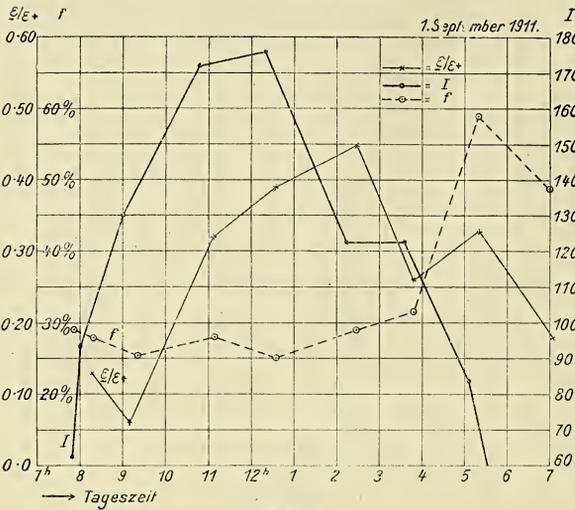


Fig. 8.

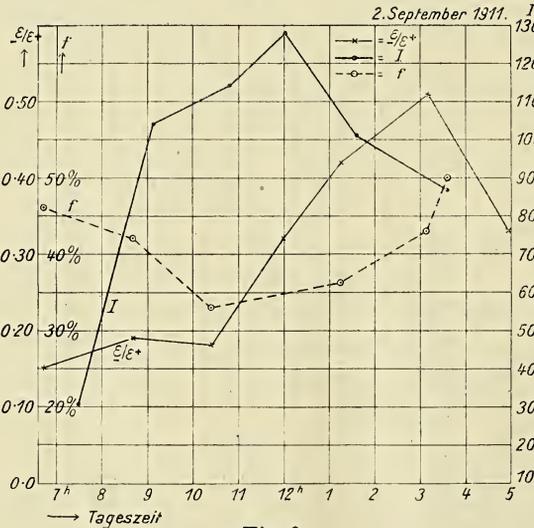


Fig. 9.

Es zeigt sich also, daß mit wachsender Sonnenhöhe der Transmissionskoeffizient abnimmt. Oder mit anderen Worten: Die Lichtstrahlen, die bei niedrigem Sonnenstand auf das Photometer gewirkt haben, werden besser von der Atmosphäre durchgelassen als diejenigen, deren Wirksamkeit bei hohem Sonnenstande vorherrscht. Die atmosphärische Luft absorbiert die verschiedenen Strahlen des Sonnenspektrums in verschiedener Stärke und zwar werden die kurzwelligeren blauen Strahlen leichter absorbiert, als die langwelligeren roten. Das ist Ihnen allen eine geläufige Erscheinung: Bei niedrigem Sonnenstande z. B. erscheint die Sonne rot, weil die blauen Strahlen von der dicken Luftschicht nicht durchgelassen werden. Die verschiedenen Transmissionskoeffizienten ergeben sich also, weil der Intensitätsschwerpunkt der Strahlung im Spektrum sich mit der Sonnenhöhe verschiebt. Will man daher wirklich ver-

gleichbare Transmissionskoeffizienten erhalten, so ist es erforderlich, in den verschiedenen Sonnenhöhen stets nur mit einer Wellenlänge zu arbeiten; d. h. das Sonnenlicht spektral zu zerlegen.

Die Transmissionskoeffizienten für bestimmte Wellenlängen, also die Zahlen, die angeben, welche Bruchteile der in die Atmosphäre einfallenden Strahlungen des Sonnenlichtes unter Normalbedingungen zum Erdboden gelangen besitzen eine weitere Bedeutung; sie können mit dazu helfen, eines der am meisten interessierenden Probleme der neueren Physik zu lösen.

Die Absorption — das Wort paßt hier nicht gut — hat man sich nach Lord Rayleigh größtenteils so vorzustellen, daß die Luftmoleküle selbst lichtzerstreuend wirken. Jedes einzelne Molekül wird zum Zentrum einer Lichtemission, und zwar wird dabei mehr kurzwelliges Licht seitlich emittiert als langwelliges.

Ist wiederum  $I_0$  die Intensität der extraterrestrischen Sonne, so ist  $I$ , die Intensität, nachdem die Strecke  $z$  durchlaufen ist, durch  $I = I_0 e^{-hz}$  gegeben. Diese Beziehung ist mit der Lambert-Bouguerschen identisch, wenn der Transmissionskoeffizient  $a = e^{-h}$  gesetzt wird. Für  $h$  erhält Lord Rayleigh den Wert

$$h = \frac{32\pi^3(\mu-1)^2}{3n\lambda^4}$$

Hierin ist  $\mu$  der Brechungsindex der atmosphärischen Luft,  $\lambda$  die Wellenlänge der beobachteten Lichtsorte und  $n$  die Anzahl der Moleküle im Kubikzentimeter. Diese beiden Gleichungen hat Lord Rayleigh mit Hilfe der elastischen Theorie des Lichtes abgeleitet, Lord Kelvin und P. Langevin auf Grund der elektromagnetischen Theorie und auch neuerdings sind Planck, Smoluchowski und Einstein zu identischen Beziehungen gekommen.  $\lambda^4$  steht im Nenner und man kann daraus lesen, daß die kürzeste sichtbare Wellenlänge im Violet eine etwa 16mal so starke Beugung erleidet als die äußerste rote Farbe des Spektrums. Tatsächlich strahlt uns ja auch jeder Fleck des Himmels in beliebigem Abstände von der Sonne blaues Licht zu.

$h$  oder das  $a$  der Bouguer-Lambertschen Formel läßt sich aus zwei Messungen bei verschiedener Sonnenhöhe, d. h. verschiedenem  $z$  messen, und es läßt sich so  $n$  die Anzahl der  $\frac{\text{Moleküle}}{\text{cm}^3}$  — die Loschmidtsche Zahl — bestimmen. Aus der Loschmidtschen Zahl ergibt sich mit Hilfe des zweiten Faradayschen Gesetzes die Einheitsladung eines Ions oder die damit identische eines Elektrons.

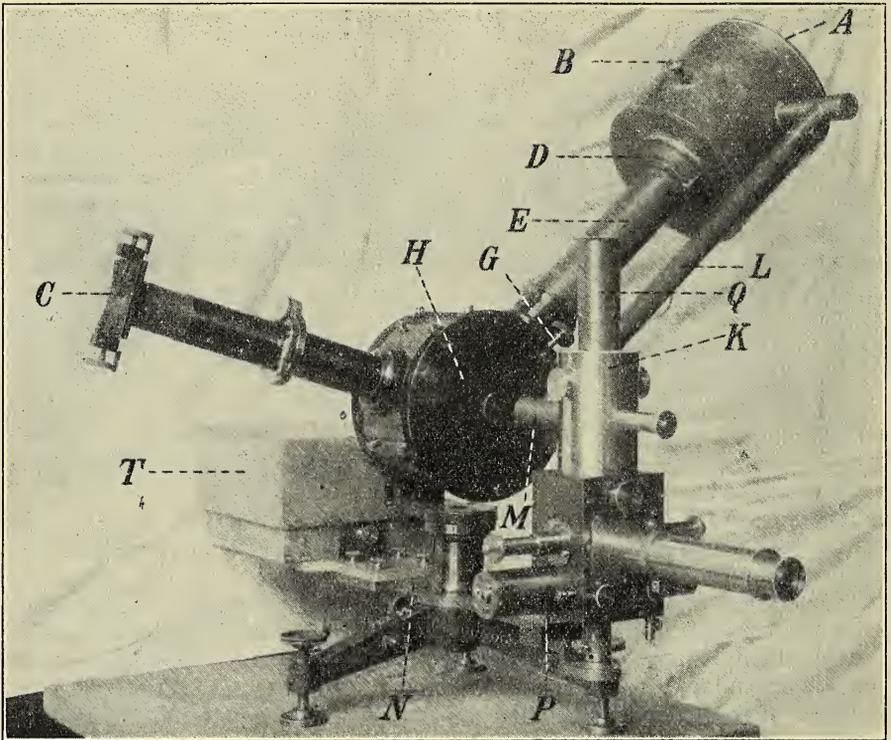
Soweit die Aufgabe. Zu ihrer Lösung war dreierlei erforderlich: Erstens ein Spektralphotometer, besonders für die kurzwelligen Strahlen, wozu ein lichtelektrisches besonders geeignet erschien; zweitens eine so hoch als irgend möglich gelegene Station, um möglichste Staubfreiheit zu erreichen und drittens absolut klares Wetter. Die ersten beiden Bedingungen ließen sich mit den Mitteln des Physikalischen Instituts und der Akademie erreichen, die Schwierigkeit war und blieb in diesem Jahre das klare Wetter.

Eine Art lichtelektrisches Photometer haben wir schon kennen gelernt — das Elster-Geitel'sche Aktinometer. Als zweites haben dieselben Herren eins gebaut, das eine Alkali-Kathode in einer Uviolglaszelle besitzt. Die letztere Form des Photometers liefs sich nach Überwindung einiger konstruktiver Schwierigkeiten zum Spektralphotometer ausbauen.

Fig. 10 gibt eine Ansicht der Gesamtanordnung des Spektrometers, in das eine besonders konstruierte lichtelektrische Zelle mit Quarzabschluss eingebaut wurde. Die Alkalizelle sitzt, von zwei geeignet geformten Metallspangen getragen, in der lichtdichten Messingkapsel A. Die Spangen sind von außen her mittels Stab verschiebbar, um die Stellung der Zelle veränderlich zu machen und durch die Schrauben B festzustellen.

Das Licht gelangt durch den Spalt C des Spaltrohres, durch ein Zeiß'sches Quarzflussspatachromat ( $E=25$  cm), durch ein Quarzprisma mit

konstanter Ablenkung und ein zweites, dem ersten gleiches Achromat zu einem zweiten Spalt bei D, in dessen Ebene der erste Spalt abgebildet wird. Das Quarzprisma ist mittels einer Handhabe, vollständig unabhängig von dem Spektroskopgehäuse H, drehbar und mittels einer Gegenmutter festzustellen. Wird die Gegenmutter angezogen, so dreht sich das Prisma mit H gleichzeitig, und das Ganze kann der Sonne in die verschiedenen Höhen nachgedreht werden. Aufser dafs die Drehung des Prismas die Auswahl des Spektralbereichs durch den Spalt D gestattet, ist eine Einstellung der Wellenlänge noch dadurch ermöglicht, dafs sich das Rohr E mittels eines



Lichtelektrisches Spektralphotometer. Fig. 10.

gut geführten Schlittens auf dem Umfange von H verschieben läßt. Die Stellschraube G gestattet eine auf diese Weise eingenommene Einstellung zu fixieren; eine auf dem Umfange von H beim Schlitten des Rohres E angebrachte Skala wird auf photographischem Wege für die verschiedenen Wellenlängen geeicht\*).

Um bei den Drehungen des ganzen Instrumentes durch Änderungen der gegenseitigen Stellungen zwischen der Zelle, Zuleitungen und Elektrometer K keine Kapazitätsänderungen hervorzurufen, war die Anode der Zelle innerhalb des geeignet zusammengefügt Messingrohres L durch starken, überall mit Bernstein isolierten Draht in der aus der Figur ersichtlichen Weise mit dem Elektrometer verbunden. Die Traverse N, auf

\*) Für Hilfe bei diesen Eichungen bin ich meinem Kollegen Herrn Dr. Gebhard Wiedmann Dank schuldig.

welcher das Elektrometer sitzt, ist gleichzeitig mit dem Spektralapparat um eine vertikale Axe drehbar. Dem Elektrometer hält die am anderen Ende der Traverse angebrachte Trockenbatterie T von 40 Volt das Gleichgewicht. Da sich die Empfindlichkeit des Einfadeninstrumentes von seiner vertikalen Stellung abhängig zeigt, so dient eine Libelle O zur allgemeinen Justierung des Apparates und drei Stellschrauben P bewirken die Feineinstellung der vertikalen Axe des Elektrometers. Auch ein Lutzsches Saitenelektrometer kam gelegentlich zur Verwendung.

Zum Beobachtungsort wurde die höchste Alpenhütte in Europa, die Capanna Margherita auf der Signalkuppe des Monte-Rosa Massivs gewählt. Die Capanna birgt gleichzeitig Räume für die Zwecke des Italienischen Alpenklubs, der Königl. Meteorolog. Station und des Instituts „A. Mosso“. Die italienische Regierung in Gemeinschaft mit dem wissenschaftlichen Institut Mosso hat auf dem Monte-Rosa-Massiv Gelegenheiten geschaffen, um in drei verschiedenen Höhen, in 1200 m in Alagna, in 3000 m auf dem Col d'Olen und 4560 m auf der Signalkuppe Beobachtungen auszuführen.

Die meteorologische Station in Alagna steht unter der gleichen Leitung wie das meteorologische Observatorium auf der Capanna Margherita. Für wissenschaftliche Arbeiten sind in Alagna und in der Abteilung des Observatoriums auf der Capanna Plätze nicht vorgesehen, sondern der reichlich zur Verfügung stehende Raum ist für die allgemeinen meteorologischen Beobachtungen bestimmt und wird nur ausnahmsweise fremden Forschern zur Verfügung gestellt. Erwähnen muß ich, daß durch die außerordentlich große Fürsorge des Herrn Professor Palazzo in Rom für alle Eventualitäten eine Quecksilberpumpe und eine Gebläsevorrichtung nach Alagna geschafft und zu meiner Verfügung gehalten worden waren.

Nach einem fünftägigen Aufenthalt in Alagna, währenddessen ich mich an einem klaren Tage von dem guten Funktionieren des Apparates überzeugt hatte, brach ich zum Istituto Mosso auf dem Col d'Olen auf. Die empfindlichen Instrumente trug ein aufsergewöhnlich kräftiger Träger, das übrige Gepäck trugen Maultiere hinauf. Der Col d'Olen, ein Pafs, der den Übergang zum Tal von Gressoney bildet, ist von der italienischen Seite aus eine Eingangspforte in das Monte-Rosa-Gebiet. Der Initiative Mossos, eines Turiner Mediziners, ist es zu danken, daß hier ein sehr gut eingerichtetes — jetzt meist für physiologische Untersuchungen gebrauchtes — Laboratorium existiert. Es ist aus privaten und staatlichen Mitteln erbaut worden. Die Direktion hat ein junger Turiner Gelehrter — Dr. Aggazzotti — der es nicht nur versteht, den dort Arbeitenden jede wissenschaftliche Hilfe mit der größten Uneigennützigkeit und in der liebenswürdigsten Weise zu bieten, sondern auch für das leibliche Wohl so sorgt, daß allen, die dort arbeiten, kaum bewußt wird, in welcher Höhe und Wildnis sie sich befinden\*).

Die Fig. 11 zeigt die Apparate in der Nähe des Instituts. Hier konnten einige Vorversuche gemacht werden, bis sich am 16. August das Wetter soweit gebessert hatte, daß der Marsch auf die Signalkuppe unternommen werden konnte. Bei gutem Wetter ist die Besteigung gefahrlos und bietet keine besonderen Schwierigkeiten.

\*) Den deutschen Forschern stehen nach Antrag bei ihrer Staatsregierung im Istituto Mosso zwei Plätze zur Verfügung und daher auch, soweit Platz vorhanden, in den Räumen des Instituts auf der Margherita-Hütte.

Während des zehntägigen Aufenthalts auf der Signalkuppe vom 18. bis 28. August konnten nur an 1 und  $\frac{1}{2}$  Tage bei absolut klarem Wetter Messungen durchgeführt werden. Es war daher nur möglich, den Transmissionskoeffizienten für die Wellenlänge  $375 \mu\mu$  und außerdem das ultraviolette Ende des Sonnenspektrums auf lichtelektrischem Wege zu bestimmen. Als kürzeste Wellenlänge ergab sich an beiden Tagen  $\lambda = 280 \mu\mu$ ; dieser Wert ist um etwa  $10 \mu\mu$  kleiner als der mit Hilfe photographischer Platten gefundene, was wohl der größeren Empfindlichkeit der lichtelektrischen Zelle zuzuschreiben ist.



[Fig. 11.]

Die folgende Tabelle gibt die am 24. August 1912 bei einem Barometerstande  $b_p = 440^*)$  mm Q. ausgeführten Messungen wieder.

Nr.	Tageszeit	Sonnenhöhe	Beobachtete Zeit $t$ für 10 Skalenteile	$10000 \cdot \frac{1}{t}$	a
1	8 <sup>h</sup> 17 a m	25°	107 Sek.	93,4	
2	8 <sup>h</sup> 53	31,4	87,1	114,8	> 0,45
3	9 <sup>h</sup> 37	38,7	69,0	144,8	> 0,29
4	11 <sup>h</sup> 12	50,0	66,2	151,2	> 0,66
5	12 <sup>h</sup> 54 p m	55,3	67,0	157,6	> 0,44
6	1 <sup>h</sup> 50	51,5	74,0	138,8	
7	3 <sup>h</sup> 0	43,2	82,5	121,4	> 0,29

\*) Diese Zahl verdanke ich dem Direktor des Capanna-Observatoriums Herrn Dr. Alessandri.

Der Transmissionskoeffizient ergibt sich im Mittel zu  $\sim 0,4$ . Diese Zahl fügt sich gut in die Reihe der von anderen Beobachtern gefundenen ein. In einer der kürzlich von Herrn Bergwitz\*) gegebenen Zusammenstellung der ohne spektrale Zerlegung erhaltenen Werte ist das Mittel für das blauviolette Strahlengebiet 0,54, für das ultraviolette Gebiet 0,32. Der obige Transmissionskoeffizient  $a = 0,4$  ist nun gleich  $I/I_0$  für  $b_p = b_0 = 760$  und  $z = 1$ , d. h. bei Zenithstand der Sonne für einen Beobachter im Meeresniveau. Wie vorauszusehen war, ist die Zahl 0,4, der kürzeren Wellenlänge entsprechend, beträchtlich kleiner als die von Bouguer angegebene. Wird sie in die Rayleighsche Gleichung (1) eingesetzt, so folgt die numerische Beziehung

$$e^{-770000h} = 0,4.$$

Die homogene Atmosphäre ist hierbei  $= 7,99 \cdot 10^5$  cm bei  $0^\circ$  angesetzt, was bei der mittleren Meistemperatur von  $-10^\circ$  dem Wert  $7,7 \cdot 10^5$  cm entspricht.  $1/h$  wird gleich 8,4 km. Setzt man diesen Wert in die Gleichung (2) ein, so gilt:

$$\begin{aligned} n_{760}^{-10} &= \frac{32\pi^3 \cdot 0,0003^2 \cdot 8,4 \cdot 10^5}{3 \cdot 3,75^4 \cdot 10^{-20}} \\ &= 1,3 \cdot 10^{19} \frac{\text{Moleküle}}{\text{cm}^3} \end{aligned}$$

bei  $-10^\circ$  und 760 mm Quecksilberdruck

$$n_{760}^0 = 1,25 \cdot 10^{19} \frac{\text{Moleküle}}{\text{cm}^3}$$

oder

$$N_{760}^0 = 28 \cdot 10^{22} \frac{\text{Moleküle}}{\text{Mol}}.$$

Aus den Messungen Millikans über die Einheitsladung ergibt sich  $n_{760}^0 = 2,7 \cdot 10^{19} \frac{\text{Moleküle}}{\text{cm}^3}$ ; nimmt man diesen Wert als richtig an, so wird aus den Rayleighschen Formeln der Transmissionskoeffizient  $a = 0,64$ . Diese Zahl liegt über dem hier gefundenen. Da in der Höhe von 4500 m der geringe Staubgehalt der Luft wohl kaum einen Einfluss auf das Licht besitzen kann, so ist anzunehmen, daß außer den Luftmolekülen der Wasserdampf, Ozongehalt, außerordentlich kleine Schneekristalle oder, was besonders wahrscheinlich erscheint, die von Lenard\*\*) entdeckten, vom ultravioletten Licht selbst erzeugten Nebelkerne bei der Zerstreuung des Lichtes mitwirken, und daß sich hieraus das zu kleine  $n$  erklärt.

Es erscheint aussichtsreich, die Rayleighsche Theorie mit Hilfe des oben beschriebenen lichtelektrischen Spektralphotometers noch in der Weise zu prüfen, daß die von der Sonne direkt kommende Lichtintensität mit der verglichen wird, welche gleichzeitig eine beliebige Stelle des Himmels ausstrahlt.

\*) K. Bergwitz, Phys. Z. 13, 207, 1912.

\*\*) Vgl. P. Lenard u. C. Ramsauer, Ber. d. Heidelberger Akademie 1911.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [1912](#)

Autor(en)/Author(s): Dember Harry

Artikel/Article: [VII. Licht- und luftelektrische Messungen im Hochgebirge 1084-1095](#)