

Sitzungsberichte

der

mathematisch-naturwissenschaftlichen
Abteilung

der

Bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München

1928. Heft III

November-Dezembersitzung

München 1928

Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
in Kommission des Verlags R. Oldenbourg München



Über Aufnahmen der Sonne durch Ultraviolettstrahlen und Fluoreszenzlicht.

Vorläufige Mitteilung von **Dr. Hermann Strebel**.

Mit 3 Tafeln.

Vorgelegt von A. Wilkens in der Sitzung am 15. Dezember 1928.

Im Arbeitsprogramm meiner Privatsternwarte steht das Sonnenproblem an erster Stelle. Als Resultat meiner und meines ständigen Mitarbeiters, Herrn O. Koebke, Bemühungen kann ich heute Folgendes berichten. Schon vor zwei Jahren hatte ich mir ein Instrumentarium hergestellt, um die Wirkung der Ultraviolettstrahlung der Sonne auf einen fluoreszierenden Leuchtschirm zu studieren. Diese Arbeiten kamen aber erst im September 1928 zum Abschluß. Wenn man das ca. 9 cm große Fokalbild der Sonne unseres Spiegels mit 9,4 m Brennweite durch ein Ultraviolettfilter hindurch auf einen Zinksulfidschirm fallen läßt, so sieht man auf dem lebhaft grüngelb leuchtenden Schirm das Sonnenbild in grau-grünlicher Farbe scharfbegrenzt und mit leichtem Helligkeitsabfall gegen den Sonnenrand. Die Granulation kann wegen der störenden Körnung des Schirmes nicht scharf gesehen werden. Dagegen sind die Flecken mit ihrem Detail sehr deutlich zu sehen, immer umgeben von einer heller leuchtenden Aureole. Solche heller leuchtende Stellen finden sich auch zerstreut über die ganze Sonnenscheibe hinweg, manchmal auch als Umrandung kleiner runderlicher grauer Flecken ohne sonstiges Detail. Das von mir verwendete Ultraviolettfilter stammt von der Quarzlampengesellschaft Hanau. Die mit unserem Quarzspektrographen vorgenommene Prüfung ergab Durchlässigkeit des Filters von der Linie *B* bis ins Ultrarot, vollständige Absorption des visuellen Spektrums von *B* bis dicht an *H* heran, von da an sehr gute Durchlässigkeit bis zur Linie *P*. Das Spektrum von Sonnenflecken zeigte sich deut-

lich abgehoben vom Spektrum der Photosphäre, die Absorptionserscheinungen der Umbra waren sichtbar, aber entschieden nicht so stark wie im visuellen Teil des Spektrums. Die Okularbetrachtung des Sonnenbildes durch das für das Auge im zerstreuten Licht dunkle Filter ließ ein blendendes rotviolettcs Bild erkennen. Projektion dieses Bildes mittels Quarzokulars zeigte bei ruhiger Luft das vergrößerte Sonnenbild mit Fleckendetail auf dem nicht abgedunkelten Leuchtschirm sehr ausdrucksvoll. Nachdem wir uns überzeugt hatten, daß auf Fluoreszenzbildern Leuchterscheinungen an Stellen auftraten, an denen bei Beobachtungen im gewöhnlichen Tageslicht nichts Auffallendes zu sehen war, gingen wir zu photographischen Aufnahmen mit Hilfe des Ultraviolettfiltere auf Diapositivplatten über, und erreichten nach längeren Bemühungen mit ca. $\frac{1}{50}$ bis $\frac{1}{100}$ Belichtungsdauer Resultate, die sehr befriedigend waren und speziell durch reiches Detail, besonders auf Diapositiven im durchscheinenden Licht, überraschten.

Während auf gewöhnlichen Aufnahmen die Granulation nur schwer zu erhalten ist, und sich visuell und photographisch nur auf der Mitte der Scheibe zeigt, während die Fackeln nur am Rande mehr oder weniger deutlich auftreten, zeigt sich die Granulation auf den Ultraviolettaufnahmen auf der ganzen Scheibe, auf mehreren Aufnahmen bis zum Rande verfolgbar bei mäßigem Helligkeitsabfall, der zudem auf eine schmale Randzone beschränkt ist. Desgleichen sind die Fackelgebilde auf der ganzen Sonnenscheibe als feine scharfe Ziselierung zu sehen. Vor allem aber zeigen sich die Sonnenflecken von leuchtenden Massen eng eingefast, die an manchen Stellen wie in schmalen Cascaden über die Penumbra hinweg in die Flecktrichter hineinfließen. Die Penumbra hat schöne radiäre Faserung. Während nun auf gewöhnlichen Aufnahmen wie auch bei Okularbeobachtung die Granula hell auf weniger hellem Hintergrunde erscheinen, zeigen sich bei den Ultraviolettaufnahmen dunkle Granula auf hellerem Grunde. Die Platten bieten überhaupt mit ihren verschiedenen Helligkeitsstufen Anlaß zu eingehender Diskussion. Außerdem finden wir auf den Platten noch eine Unmenge kleiner grauer Fleckchen inmitten der Granulation in allen Breiten, die nach unseren Messungen auf verschiedenen Platten reell sind, aber anscheinend ziemlich vergäng-

licher Natur. Interessant ist ferner, daß auf mehreren Aufnahmen deutliche Züge von Fackeln, in Bandform sich von der Umgebung abhebend, anscheinend parallel den Breitengraden oberhalb oder unterhalb des Äquators quer über die ganze Scheibe laufen. Die ganze Zeichnung, obwohl fein, ist so schön und deutlich auf den Platten, daß ein direktes Studium der Sonnenscheibe am Schreibtisch möglich ist und zwar viel besser als am Fernrohr selbst, wo man auch die Flecken kaum schöner sehen kann. Da aber das Kopieren so zarter Kontraste, wie sie diese Aufnahmen zeigen, auf Schwierigkeiten stößt und die Verstärkung der Kontraste durch photographisch-technische Methoden, wie wiederholtes Umkopieren etc., die feineren Details zerstört, suchten wir einen Weg, die Kontraste bei der Aufnahme selbst zu steigern. Gerade die physikalische Sonderstellung der Ultraviolettstrahlung führte mich auf Grund von Beobachtungen und theoretischen Erwägungen zu der Vermutung, daß sie weitere photographische Steigerungsmöglichkeiten in sich bergen müsse. Das Ultraviolett hat nämlich die Eigenschaft, daß es die meisten damit bestrahlten Körper organischer und anorganischer Natur zu selbständiger Fluorescenz resp. Phosphorescenz anregt. Auch Gelatine sowie Bromsilber werden durch Ultraviolettbestrahlung nach den Erfahrungen der sogenannten Ultraviolett-Fluorescenz-Analyse zur Fluorescenz angeregt und die Vermutung liegt nahe, daß diese Tatsache schon bei unseren einfachen Ultraviolettaufnahmen eine Rolle spielt. Da wir ferner die Beobachtung machten, daß das Sonnenbild auf mit Gelatine überzogenen Glasplatten, die mit fluorescierenden Substanzen wie Uranin, Äskulin oder Chinisulfat gefärbt waren und als vortreffliche Mattscheiben dienten, außerordentlich kontrastreiche Details zeigte, unternahmen wir den Versuch, die an sich bereits bestehende Fluorescenz einer photographischen Platte durch Baden in einer stark fluorescierenden Flüssigkeit zu erhöhen, um womöglich eine ähnliche Kontraststeigerung zu erzielen, wie sie sich auf fluorescierenden Mattscheiben zeigte. Da nämlich Ultraviolett ausgesprochene Beziehungen zu photoelektrischen Effekten, zu den chemischen intimsten Umsetzungen in der Platte selbst hat, da die verschiedenen Wellenlängen des Ultraviolett ganz verschiedenes Verhalten in Bezug auf Reflexion und Absorption zeigen und dieses wieder in direkten Beziehungen zur

elektrischen Leitfähigkeit steht, da weiterhin bekannt ist, daß Ultrarot und Ultraviolett in einem bestimmten Antagonismus stehen, der sich in dem Auslöschphänomen der Fluoreszenz und Phosphoreszenz schon visuell erkennen läßt, bei unserem Filter aber gerade die Ultraviolettstrahlung bis zur Linie *B* und unter Ausschluß der visuellen Strahlen die Spektralregion von den Linien *H* und *K* ins Ultraviolett bis zur Linie *P* ($336 \mu\mu$) wirksam ist, so war zu erwarten, daß sich als Resultante all dieser und noch weiterer spezifischer Ultraviolettwirkungen ein bestimmter Effekt in den rein photographischen Vorgängen ergeben würde, der vielleicht dazu führen möchte, die ganz schwachen Strahlungsdifferenzen der Sonne, die bei der Normalphotographie unter der Schwelle bleiben, sichtbar zu machen. Wir haben uns in dieser Vermutung nicht getäuscht, das Resultat war auffallend, es ergaben sich Bilder mit überreichem Detail und der gleichen Kraft, wie die besten monochromatischen Aufnahmen.

Man erkennt auf derartigen durch ihre starken Kontraste auffallenden Aufnahmen neben den schon im reinen Ultraviolettbild erwähnten Erscheinungen der über das ganze Sonnenbild deutlichen Granulation sehr ausdrucksvoll die Flecken mit ihrem Fackelhalo, in tiefem Schwarz mit schwächerer Zeichnung der Penumbra. Ferner ist eine Menge von kleinen, dunkleren Flecken auf dem Sonnenbild überall zerstreut bis hoch in die polaren Gebiete zu sehen, ferner Züge und Ansammlungen von Fackeln in Reihen, auf einzelnen Platten parallel zu den Breitengraden. Vor allem aber erkennt man Gebilde, welche auf den monochromatischen Aufnahmen in der K_3 - und H_α -Linie als Filamente bezeichnet werden, und als ganz befremdliche Erscheinung findet man Reihenanordnungen von Fackelgebilden in hell oder dunkler, die sich wie Guirlanden z. B. von einem Fleck am Ostrande oberhalb des Sonnenäquators zu einem Fleck am Westrande unterhalb des Äquators hinüberziehen und sich mit einer ebenso großen zweiten Guirlande wie eine Ahterschlinge im Äquator kreuzen, und wahrscheinlich mit den von Deslandres so benannten „alignements“ identisch sind, welche gleich den Sonnenflecken dauerhaftere Gebilde sind, die selbst mehrere Rotationsperioden überdauern können, bald mehr, bald weniger deutlich. Da sich solche Gebilde auf verschiedenen Platten mit verschiedenem

Datum vorfinden, müssen sie als reelle Gebilde der Sonnenoberfläche angesprochen werden. Es kommen ferner vereinzelt auch Formationen auf unseren Platten vor, welche mehr oder weniger ausgeprägt an die Fleckwirbel der mit der H_{α} -Linie aufgenommenen monochromatischen Bilder erinnern.

Während nun aber die monochromatischen Bilder mit einzelnen Wellenlängen aufgenommen sind, wird bei unseren Aufnahmen gar kein Spalt verwendet, sondern wir benutzen bewußt eine ganze Reihe von Linien aus zwei Spektralgebieten plus dem zugehörigen kontinuierlichen Spektrum und zwar vom Ultrarot bis Linie B und gleichzeitig alle Linien und kontinuierliches Licht im Ultraviolett von ca. 400 bis 336 $\mu\mu$. Ferner haben wir es mit sekundären Strahlungsumsetzungseffekten zu tun, die direkt für sich und in Kombination mit den antagonistischen Wellenlängenbezirken aus den roten und ultravioletten Spektralbezirken auf die lichtempfindliche Schicht der Platte auf dem Umwege der Fluoreszenzerzeugung zur Wirkung kommen.

Unsere Bilder bringen den Beweis, daß man ohne selektive Spaltwirkungen im Stande ist, Formgebilde zu zeigen, welche bisher ein Privilegium der monochromatischen Aufnahmemethode gebildet haben. Unseren Bildern fehlen natürlich diejenigen Effekte, welche speziell den Linien C bis F und G zugerechnet werden müssen. Es scheint aber, daß man auch mit den spektralen Regionen von und unterhalb B im Rot tief in die Sonnenatmosphäre eindringen kann, die ja auch für die visuelle Beobachtung in Frage kommen. Die eigentliche, visuell und normalphotographisch erkennbare Granulationsbildung ist bei monochromatischen Aufnahmen mit dem Lichte der Linien F bis H und K nicht mehr zu sehen, nur die Aufnahme mit der reinen C -Linie bringt viele Gebilde, welche sich den bekannten Granulationsformen nähern. Die uns als Fackelgebilde bekannten Erscheinungen werden in den monochromatischen Aufnahmen ersetzt durch die von Hale so benannten Flocculi, welche auf unseren Aufnahmen nicht erscheinen. Während nun die mit den Linien C bis H und K erhaltenen Bilder für eine Art Chromosphärenphysik theoretisch ausgedeutet wurden mit der Annahme, daß die Flocculi eine Art Niveauschichtsbilder von einzelnen Elementen darstellen, die aber noch keineswegs einwandfrei definiert sind,

und von Julius mit anormaler Dispersion und photosphärischen Ursprüngen sehr einfach erklärt werden, dürfte bei unseren Bildern die Sache so liegen, daß die bei ihnen zum Ausdruck kommenden Strahlungen (Fraunhofersche Linien plus kontinuierliches Licht!) aus Regionen kommen, wo wir bereits mit größeren Dichten und Drucken oberhalb 10^{-5} zu rechnen haben, statt unterhalb 10^{-5} bis 10^{-9} und weniger, welche für untere und obere Chromosphäre in Frage kommen, die also bildlich gesprochen auf einem etwas stabileren Boden stehen, als die sehr labilen chromosphärischen Erscheinungen, die als fast absolute Vakuumvorgänge aufzufassen sind, bei welchen weniger die reine Temperaturstrahlung als elektrische Luminiscenzvorgänge und Strahlungsdruck im einfach und mehrfach jonisierten Material einzelner spezieller Elemente eine Rolle spielen.

Unsere Bilder zeigen die relativ stabilen Formationen der Flecken mit ihren Störungsgebieten in großer Ausdehnung als unteilbare, gut differenzierte Trinität, von Umbra, Penumbra und Fackeln, die Filamente und Fackelguirlanden (alignements!) ebenfalls als stabileré Gebilde, die Granulation an Zahl und Größe identisch mit der visuell und normalphotographisch zu registrierenden gleichen Erscheinung, die auf stereoskopisch betrachteten, kurz hintereinander gemachten Aufnahmen deutliche Zeichen ihrer raschen Veränderlichkeit erkennen läßt, wie auch die labilen Formen von grauen Fleckchen (veiled spots?) also offenbar alle Formen, die für die photosphärisch-physikalischen Verhältnisse Bedeutung haben.

An Stelle der heute noch nicht definitiv geklärten Niveauschichtbilder, welche nur nebeneinander und nacheinander betrachtet werden können, bringen unsere Bilder eine perspektivische Transparentkulissenprojektion mit Stereoeffekten durch Corona — Chromosphäre — Photosphäre mit umkehrender Schicht hindurch bis auf den Boden der Flecktrichter auf einem und demselben Bilde. Während die monochromatischen Bilder mit Ausnahme der mit der Linie H_{α} aufgenommenen die Flecken selbst mäßig oder wegen rätselhafter Verdeckungen garnicht wiedergeben, bringt die regionale Ultravioletttaufnahme das Detail der Flecken vorbildlich heraus, wogegen die von den monochromatischen H_{α} -Aufnahmen so vorzüglich wiedergegebenen Haleschen Wirbel um die Flecken nur vereinzelt angedeutet sind.

Der Wert unserer Bilder scheint mir darin zu liegen, daß sie einen Übergang bilden von den im unzerlegten Licht visuell und photographisch erhaltenen Erscheinungen zu dem im Lichte der Linien *H* und *K* registrierten monochromatischen Aufnahmen, daß sie aber mehr von den photosphärischen Effekten als von den chromosphärischen erzeugt werden. Die Aufnahmen bieten ferner ganz abgesehen von ihrem Inhalt den großen Vorteil, daß merkwürdigerweise die „schlechte Luft“, welche für normalphotographische Aufnahmen eine so große Rolle spielt, für die Ultraviolett-aufnahmen kein so ausgesprochenes Hindernis bildet. Unsere Aufnahmen stammen alle aus September und Oktober, wo wegen der speziellen Lage und klimatisch-meteorologischen Verhältnisse meiner Sternwarte am Ammersee in den bayerischen Vorbergen die gleichzeitig zur Kontrolle gemachten Mischlichtaufnahmen weitaus schlechtere Resultate erbrachten. Dies kommt wohl daher, daß beim Durchgang der Strahlung durch die Luft die verschiedenen Wellenlängen an den Luftmolekülen und den Staubteilchen eine verschiedene Brechung und Zerstreuung erfahren, die sich in ihrer Gesamtwirkung als Unschärfe auf dem photographischen Bild äußert. Durch die Abfiltrierung der ganzen sichtbaren Strahlung von der Linie *B* bis *H* wirken nur bestimmte Wellenlängen und wird ein großer Teil der die Unschärfe bedingenden Wellenlängen ganz ausgeschaltet und damit bessere optische Bedingungen geschaffen.

Ein weiterer großer Vorteil der neuen Methode liegt in dem Umstand, daß sie einen nur mäßig großen Spiegel von etwa 20 cm Öffnung erfordert, am besten natürlich mit größerer Brennweite, um von vorneherein größere Fokalbilder zu erhalten. Ferner benötigt man nichts weiter als ein Ultraviolettfilter, vor dem Fokus, am besten aus Glas (Hanauer Dunkelglas). Die Aufnahme geschieht am vorteilhaftesten mit Schlitzverschluß auf Diapositivplatten, die vorher mit Äskulin sensibilisiert bzw. zur Fluorescenz geeignet gemacht wurden. Zur Betrachtung eignet sich am besten das Diapositiv. Dieses erlaubt tatsächlich ein Studium des Details der Sonne, viel bequemer und erfolgreicher als das direkte Sonnenbild. Wenn man von einer Aufnahme zwei gleiche Diapositive im Stereoskop betrachtet, ist der Anblick noch viel eindrucksvoller und plastischer. Zwei mit ca. 10 Minuten Abstand aufgenommene Bilder im Stereoskop betrachtet, lassen die rasche

Variabilität der Granulationsformen erkennen, da die Flecken in dieser Zeit ihre Form nicht deutlich verändern und deshalb im Stereoskop schön und deutlich erscheinen, während die einzelnen Granula, die ihre Form innerhalb der 10 Minuten verändert haben, sich nicht mehr genau zur Deckung bringen lassen und daher eine gewisse, bei einiger Übung deutliche Bildunruhe hervorrufen.

Das Kopieren von Fluoreszenzlichtaufnahmen ist wegen der starken regionalen Kontraste des Sonnenbildes und deswegen, weil auch die Negativplatte noch fluoresciert, ein etwas schwieriges Problem und erfordert große Geduld und Geschicklichkeit.

Die beigegebenen drei Tafeln geben leider den tatsächlichen Inhalt der Kopien und auch solche lange noch nicht den der Originalplatten und der Diapositive wieder.

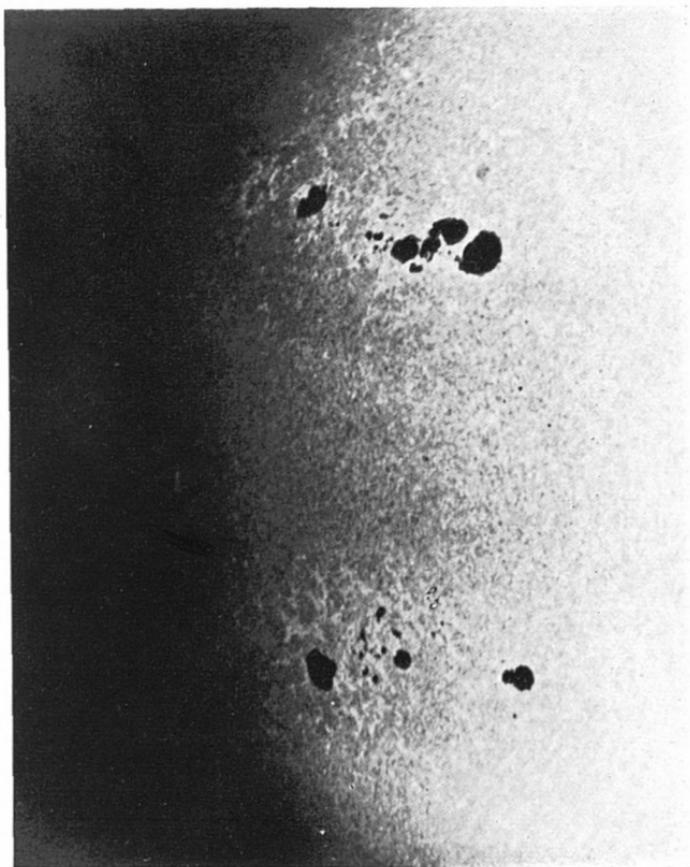
Selbstverständlich muß die Nachprüfung ergeben, ob der Inhalt der Bilder der Kritik stand hält. Erwähnt sei noch, daß die Versuche mit versilberten Quarzflächen sowie mit Uviolglaslinsen ebenfalls aufgenommen wurden, bisher aber keine so schönen Resultate ergeben haben wie die Aufnahmen mit dem Hanau-Filter.

Das neue Verfahren bietet jedem Observatorium Gelegenheit mit nur geringem Aufwand an Instrumentarium und Kosten sich praktisch am Studium der Sonnenprobleme zu beteiligen, das bisher ein Monopol für reich dotierte Sternwarten gebildet hat. Es ist zu erwarten, daß die Resultate der neuen Aufnahmetechnik in Gegenden mit besseren Luftverhältnissen noch viel schönere sein werden, als wir sie hier in unserem Observatorium erreichen konnten und daß dadurch unsere Einsicht in die Verhältnisse der Sonnenhüllen eine wesentliche Steigerung erfahren wird. Ich kann in dieser vorläufigen Mitteilung noch nicht auf alle Konsequenzen eingehen, die sich für die sonnentheoretischen Gesichtspunkte ergeben und muß dies einer späteren Arbeit vorbehalten, da zunächst eine Anzahl ganz neuer physikalisch-photochemischer Fragen aufgeworfen worden sind, die der Erledigung harren.

Ich bin gerne bereit, etwaigen Interessenten Diapositive und präparierte Platten für Aufnahmezwecke gegen Spesenersatz zu übersenden.

Herrsching bei München, 12. Nov. 1928.

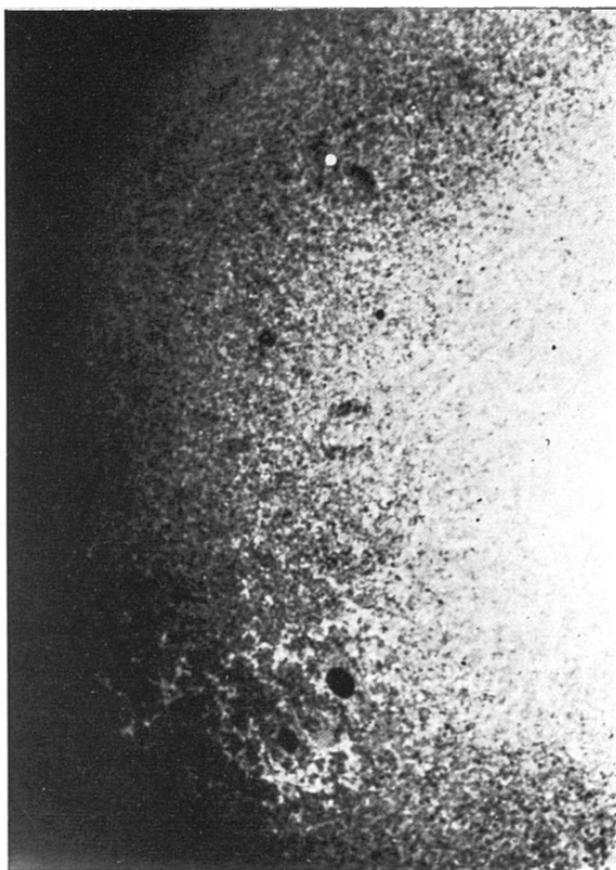
Dr. Hermann Strebel
Privatsternwarte.



Ultraviolett

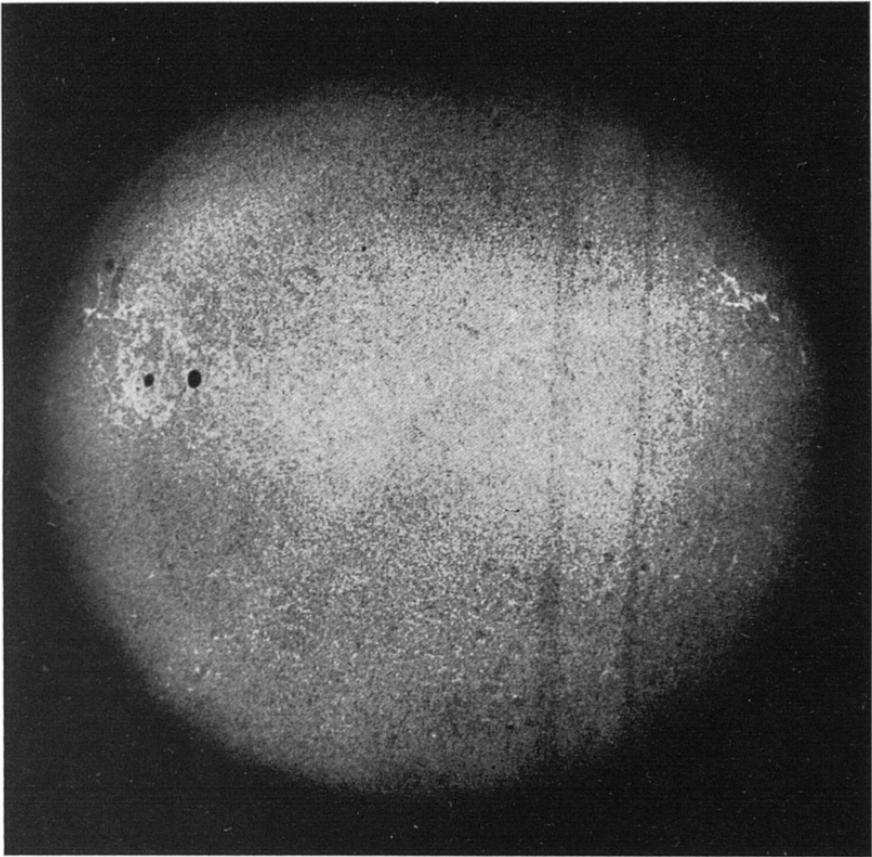
Aufnahme vom 21. September 1928

(Ostrand, vergrößert)



Ultraviolett-Fluoreszenz

Aufnahme vom 6. Oktober 1928, 3^h 30 p. m.
(Vergrößert nach umstehend abgebildeter Fokalaufnahme)



Ultraviolett-Fluoreszenz

Aufnahme vom 6. Oktober 1928, 3^h 30 p. m.