

**Zeitschrift:** Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

**Herausgeber:** Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

**Band:** 118 (1937)

**Artikel:** Die Erscheinungen in der Chromosphäre der Sonne

**Autor:** Brunner, William

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-90413>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 18.04.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die Erscheinungen in der Chromosphäre der Sonne

Von

WILLIAM BRUNNER, Zürich

Mit 16 Abbildungen

Nach heutigem Wissen ist die Sonne eine riesige strahlende Gaskugel von mehr als einer Million Kilometer Durchmesser. Die gewaltige Energiemenge, die sie ausstrahlt und von der ein ganz kleiner Teil auch unsere Erde trifft, entsteht in der Hauptsache in den innersten Schichten. Bei der im Sonneninnern herrschenden hohen Temperatur erfolgt der Energietransport von innen nach aussen vorwiegend durch Strahlung oder genauer, weil strahlende Materie selbst sehr undurchlässig ist für Energiestrahlung, durch Strahlung, Absorption und Wiederausstrahlung der absorbierten Energie in den aufeinanderfolgenden Schichten. In einem bestimmten Abstand vom Zentrum kommt schliesslich eine Zone, in welcher Druck, Dichte und Temperatur solche Werte annehmen, dass die von tieferen Schichten in sie eindringende Strahlung nicht mehr vollständig absorbiert wird, sondern zum Teil in den Aussenraum dringt. Aus dieser Zone stammt der Hauptteil der Strahlung, die wir messen und in der wir die Sonne als die bekannte helle Scheibe sehen. Man nennt diese Zone die Photosphäre der Sonne. Die dunkeln Sonnenflecken, die hellen Lichtadernetze oder Fackeln und die Granulation, die wir im Fernrohr auf der Sonnenscheibe wahrnehmen, gehören der Photosphäre an. Die Basis der Photosphäre markiert die Schicht, bis zu der wir in die strahlende Gaskugel hineinsehen. Über der Photosphäre, für unser Auge über der scheinbaren Sonnenscheibe, sind auch noch strahlende Gasmassen, aber wegen der geringeren Dichte sind sie durchsichtiger. Wir heissen diese äusseren, durchsichtigen strahlenden Gasmassen die Atmosphäre der

Sonne. Sie ist für gewöhnlich nicht sichtbar, weil das von ihr ausgestrahlte Licht so schwach ist, dass es von der in der Nähe des Sonnenortes am Himmel stark erleuchteten Erdatmosphäre überstrahlt wird. Im Fernrohr und auf gewöhnlichen photographischen Aufnahmen der Sonne verrät sich diese Atmosphäre nur durch einen Abfall der Helligkeit der Sonnenscheibe von der Mitte gegen den Rand. Bei einer totalen Sonnenfinsternis blendet der Mond das Licht der Photosphäre ab und beschattet auch die Erdatmosphäre in einem grossen Segment über dem Beobachtungsort. Die verfinsterte Sonne erscheint umgeben von einem sehr schmalen, nur zehn bis fünfzehn Sekunden hohen rosafarbenen Ring, aus dem an einzelnen Stellen helle rötliche Lichtzungen, die sogenannten Protuberanzen, hervorragen. Wir heissen diese unterste Schicht der Sonnenatmosphäre die Chromosphäre. An diese schliesst sich ein heller silberweisser Lichtsaum von unregelmässiger Gestalt, die Korona an, die nach aussen an Intensität rasch abnehmend, oft mehrere Sonnenradien weit reicht. In den äusseren, der Beobachtung zugänglichen Teilen des Sonnenballes haben wir also drei Schichten zu unterscheiden: die Photosphäre mit den Flecken und Fackeln, die Chromosphäre mit den Protuberanzen und die Korona.

Für den kontinuierlichen Untergrund im Spektrum der Sonnenstrahlung ist die Strahlung der photosphärischen Schicht verantwortlich. Die vielen dunklen Absorptionslinien oder sog. Fraunhoferschen Linien entstehen durch verwickelte, selektive Absorptions- und Streuungsprozesse im untersten Teil der Chromosphäre.

Die Photosphäre mit den Flecken und Fackeln kann man jederzeit mit dem gewöhnlichen Fernrohr beobachten und photographieren. Die Beobachtung der Chromosphäre mit den Protuberanzen dagegen war bis in die Siebzigerjahre des vorigen Jahrhunderts nur während den paar Minuten der Totalitätsphase einer totalen Sonnenfinsternis möglich. Totale Sonnenfinsternisse sind aber so seltene Erscheinungen, dass man im Durchschnitt nur mit einer Beobachtungsmöglichkeit von einer Minute jedes Jahr für die Chromosphäre und Korona rechnen konnte. Das ist wenig. Es war deswegen ausserordentlich wichtig, Methoden zu ersinnen, mit denen man die Erscheinungen in den äusseren strahlenden Gashüllen der Sonne jederzeit unabhängig von totalen Sonnenfinsternissen beobachten konnte.

Ich möchte zeigen, wie solche Beobachtungen möglich sind und welche Ergebnisse sie bis heute zeitigten. Mit Rücksicht auf die Zeit, die mir zur Verfügung steht, muss ich mich auf die Chromosphäre beschränken und will nur erwähnen, dass in den letzten Jahren ein junger französischer Astronom, Herr LYOT, einen Apparat konstruiert hat, mit dem man auch die Korona und ihr Spektrum visuell und photographisch unabhängig von den totalen Sonnenfinsternissen unter günstigen Bedingungen auf hohen Bergstationen jederzeit beobachten kann.<sup>1</sup>

Zuerst lernte man die Chromosphäre und ihre Erhebungen wenigstens in der Randzone der Sonne beobachten. Die Möglichkeit hierzu beruht darauf, dass das Spektrum der strahlenden Gase der Chromosphäre ein Emissionslinienspektrum ist, in welchem namentlich die Linien des Wasserstoffs, die Linien *H* und *K* des ionisierten Kalziums und des Heliums recht auffallend sind. Schon die ersten Beobachter des Spektrums der Chromosphäre und der Protuberanzen bei totalen Sonnenfinsternissen sagten sich, dass einige der Emissionslinien so hell sind und so hoch hinauf in der Chromosphäre anspielen, dass es möglich sein müsste, sie auch ausserhalb der Finsternisse wahrzunehmen und in ihrem Licht die Chromosphäre monochromatisch zu beobachten. Stellt man in der Tat den Spalt eines Spektralapparates, der an Stelle des Okulars an ein Fernrohr angebracht ist, tangential an den Sonnenrand, so sollten sich die chromosphärischen Linien hell im Spektrum zeigen, wenn nicht das Streulicht in der Atmosphäre störend auftreten und die Emissionslinien überstrahlen würde. Dieses spektrale Streulicht, das Luftspektrum, wie wir Sonnenbeobachter sagen, kann man durch Anwendung genügend grosser Dispersion so abschwächen, dass sich die Emissionslinien, am schönsten die rote Linie  $H_{\alpha}$  des Wasserstoffs, hell abheben vom kontinuierlichen Grund des Luftspektrums, soweit der Spalt über der Chromosphäre steht (Abb. 1). Wenn der Himmel schön klar ist und namentlich nicht viel Staub und Cirri in der Luft sind, kann man den Spalt weiter öffnen und die Chromosphäre und ihre Erhebungen am Sonnenrand monochromatisch beobachten. Am leichtesten ist die Beobachtung im Lichte der roten Wasserstofflinie.

<sup>1</sup> Im Laufe des Vortrages wurden Filmaufnahmen von drei eruptiven Protuberanzen vorgeführt, die Herr Lyot mit seinem Koronagraphen auf dem Pic de Midi gemacht hat.

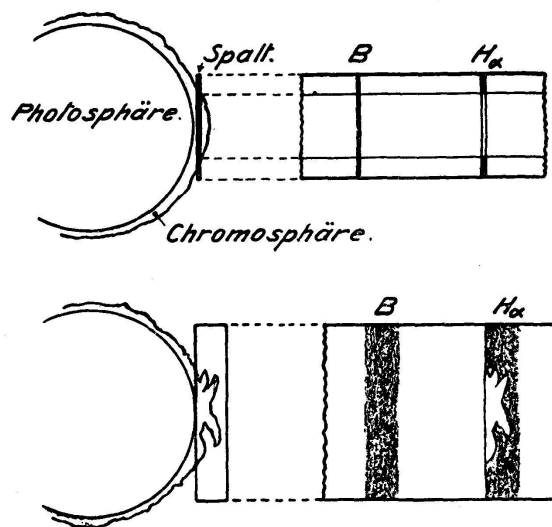
Aus diesen Beobachtungen ergibt sich, dass die Chromosphäre die Photosphäre in einer Schicht von unregelmässiger Höhe von 7000 bis 12 000 km umgibt. Nur an wenigen Stellen ist ihre obere Grenze ruhig und eben, fast überall läuft das Bild der Chromosphäre nach aussen in eine grosse Zahl von kleinen Strahlen aus und es scheint so die Grenze der Chromosphäre mit leuchtenden Formen von Haaren, Borsten und Grashalmen besetzt.

Diese Methode der Beobachtung der Chromosphäre im Lichte einer bestimmten Spektrallinie hat weniger für die eigentliche Struktur der Photosphäre als für ihre Erhebungen, die Protube-

Abb. 1

Beobachtung der Chromosphäre am Sonnenrand in der Strahlung der roten Wasserstofflinie  $H\alpha$

*B*: In der Erdatmosphäre entstehende Absorptionslinie



ranzen, wichtige Ergebnisse ergeben. An einigen Sternwarten, unsere eidgenössische Sternwarte gehört seit fünf Jahrzehnten dazu, wird der Rand der Sonnenatmosphäre in der roten Wasserstofflinie jeden günstigen Tag regelmässig nach Protuberanzen abgesehen. Die beobachteten Protuberanzen werden ihrer Lage und ihrer Ausdehnung nach ausgemessen, in ihren mannigfaltigen Formen gezeichnet und zu täglichen chromosphärischen Randbildern der Sonne vereinigt und publiziert. Aus diesen langjährigen Beobachtungsreihen ergaben sich interessante Gesetze über die Verteilung und die Häufigkeit der Protuberanzen. Ein wichtiges Ergebnis ist z. B., dass die Protuberanzentätigkeit auch dem elfjährigen Zyklus der Flecken- und Fackeltätigkeit in der Photosphäre folgen. Die Helligkeit der meisten Protuberanzen ist merklich geringer als die Helligkeit der Chromosphäre im gleichen monochromatischen Licht. Die durchschnittliche Höhe ist 30 000 bis 40 000 km. Die grösste bis jetzt beobachtete Protuberanzhöhe ist 930 000 km. Dabei handelt

es sich um eine sog. eruptive Protuberanz und die erwähnte riesige Höhe wurde nur noch von einzelnen losgerissenen Protuberanzwolken erreicht. Die Erfahrung lehrte nämlich, dass zwei Hauptklassen von Protuberanzen unterschieden werden müssen: die ruhenden und die eruptiven oder metallischen Protuberanzen. Die ersten bilden die eigentlichen kleinen und grossen Erhebungen der Chromosphäre, die wie jene in grösseren Höhen im Spektrum die Linien von Wasserstoff, Helium und Kalzium zeigen. Die eruptiven Protuberanzen entstehen ganz plötzlich, und zwar ausschliesslich über Fleckentätigkeitsherden der Photosphäre und verschwinden rasch wieder, die kleinen nach 10 bis 20 Minuten, die grösseren nach einer oder mehreren Stunden. Die eruptiven Protuberanzen sind namentlich in der ersten Entwicklungsphase viel heller als die ruhenden Protuberanzen, ändern ihre Formen äusserst rasch und zeigen im Spektrum auch viele Metalllinien.

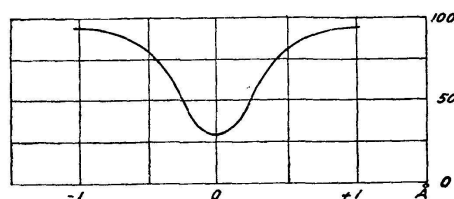
Das besprochene einfache Verfahren gestattet nur, das schmale Stück der Chromosphäre zu beobachten, das am scheinbaren Sonnenrand die Photosphäre ringförmig umschliesst. Vor gut 40 Jahren bauten gleichzeitig HALE in Amerika und DESLANDRES in Meudon einen Apparat, den Spektroheliographen, mit dem man monochromatische photographische Aufnahmen der ganzen, der Photosphäre vorgelagerten Chromosphäre machen kann im Lichte der breiteren Absorptionslinien des Sonnenspektrums. Die Linien scheinen nur durch Kontrast so dunkel; in Wirklichkeit haben sie noch eine recht beträchtliche Helligkeit. Das erkennt man, wenn eine solche Linie durch einen feinen Spalt ausgeblendet wird, so dass nur monochromatisches Licht von dieser Linie in das Auge kommt. Der Grundgedanke zur Herstellung von monochromatischen photographischen Aufnahmen mit dem Spektroheliographen besteht darin, dass aus dem Spektrum durch einen zweiten Spalt (Monochromatorspalt) der gewünschte enge Wellenbereich ausgeblendet und hinter ihm eine photographische Platte synchron mit dem auf den ersten Spalt entworfenen Sonnenbild verschoben wird.

Die Strahlung im kontinuierlichen Grund des Sonnenspektrums rührt her von der Photosphäre und die Strahlung in den Fraunhoferschen Linien von den emittierenden und absorbierenden Atomen der Chromosphäre. Stellt man also den Monochromatorspalt auf irgendeine Wellenlänge des kontinuierlichen Spektrums, so erhält man ein Spektroheliogramm, d. h. eine monochromatische Aufnahme

der Photosphäre, auf der nichts zu sehen ist, als die bekannten Sonnenflecken der gewöhnlichen Sonnenaufnahmen. Neues aber geben die Aufnahmen mit dem Spektroheliographen im Lichte einzelner Fraunhoferscher Linien: nämlich Auskunft über die Verteilung der Atome in der Chromosphäre, welche die zugehörigen Wellenlängen emittieren und absorbieren. Dabei zeigt sich, dass die Bilder verschieden aussehen, wenn der Monochromatorspalt, der enger sein muss als die Linienbreite, in verschiedenen Abständen von der Linienachse aufgesetzt wird. Mikrophotometrische Auswertungen der Linien auf photographischen Aufnahmen des Sonnenspektrums

Abb. 2

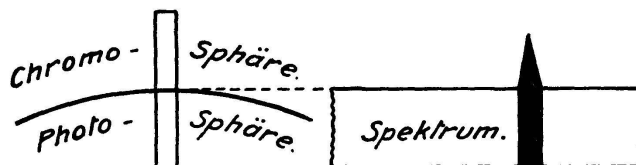
Intensitätskurve einer Natriumlinie im Sonnenspektrum  
 Abszisse: Wellenlängen in Angström-Einheiten von der Linienachse aus gezählt  
 Ordinate: Helligkeit (Kontinuierlicher benachbarter Spektralgrund = 100)



mit sehr grosser Dispersion lehren, dass die Intensität der Strahlung sich ändert innerhalb der Linienbreite. Abb. 2 stellt den normalen Verlauf der Intensitätskurve einer Fraunhoferschen Linie dar. Verschiebt man bei einer spektroheliographischen Aufnahme

Abb. 3

Fraunhofersche Linie des Sonnenspektrums bei radialem Spalt am Rande (schematisch)



den Monochromatorspalt von der Linienmitte gegen die Flügel hin, so bedeutet das ein Abtasten der Chromosphäre in verschiedenen vertikalen Schichten von oben nach unten. Dass dem so ist, erkennt man aus der Lanzenspitzenform, mit der sich die Absorptionslinien bei radial aufgesetztem Spalt des Spektralapparates vom Sonnenrand weg als Emissionslinie in die Chromosphäre hinein fortsetzen (Abb. 3).

Der spektroheliographische Effekt, d. h. die Tatsache, dass die monochromatischen Bilder der Chromosphäre für verschiedene Stellen einer Absorptionslinie im Sonnenspektrum verschieden ausfallen, lässt sich physikalisch verstehen aus den Vorstellungen, die man sich macht über die Entstehung der Absorptionslinien. Wahrscheinlich entstehen sie zu einem kleinen Teil durch selektive

Absorption, in der Hauptsache aber durch selektive Streuung der kontinuierlichen Strahlung der Photosphäre an den Atomen der Chromosphäre. Der Streukoeffizient lässt sich theoretisch berechnen und nimmt zu von den Rändern der Linie gegen die Mitte. Für die Wellenlängen ausserhalb der Linienbreite geht das Licht ohne Streuung durch die Chromosphäre hindurch und im Lichte einer solchen Wellenlänge erhält man ein monochromatisches Bild der photosphärischen Schicht. Rückt man mit dem Monochromatorspalt in die Linie hinein, so erhält man eine spektroheliographische Aufnahme der über der Photosphäre liegenden Ansammlung mono-

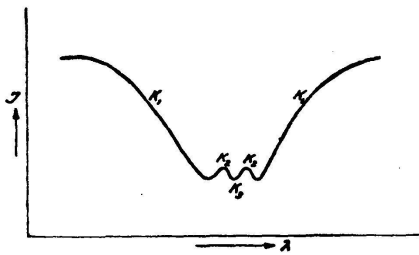


Abb. 4

Intensitätskurve der Linie *K* des ionisierten Kalziums im Sonnenspektrum (schematisch)

chromatisch streuender Atome desjenigen Elementes, für das die betreffende Linie charakteristisch ist. Je nach dem innerhalb der Linienbreite benutzten Wellenlängenbereich stammt aber das gestreute Licht, in welchem die Atomwolke sichtbar wird, aus verschiedenen Niveauschichten der Chromosphäre der Sonne. Die von der Linienachse weit entfernten Teile der Spektrallinie, die kleinen Streukoeffizienten entsprechen, werden in den unteren Schichten gestreut, in denen die Dichte noch verhältnismässig gross ist. Infolge des grossen Streukoeffizienten in der Mitte der Linie wird die entsprechende Strahlung in den höchsten Schichten trotz der geringen Dichte noch stark gestreut. Wegen der geringen Dichte entspricht dieser Strahlung ein sehr schmaler Wellenlängenbereich um die Linienachse. Wird der enge Monochromatorspalt auf die Linienachse gestellt, so muss man also ein Bild der höchsten Schichten bekommen.

Die auffallendsten Linien im Sonnenspektrum sind die Linien *H* und *K* des ionisierten Kalziums bei Beginn des ultravioletten Teiles. Es sind die breitesten Linien des Spektrums, und sie spielen in der Chromosphäre in die grössten Höhen hinauf an. Spektroheliographische Aufnahmen macht man gewöhnlich mit der Linie *K*, weil sie weniger als *H* durch andere Linien gestört und auch breiter ist. Diese Linie hat eine besondere Struktur (Abb. 4 und

# Tafel I

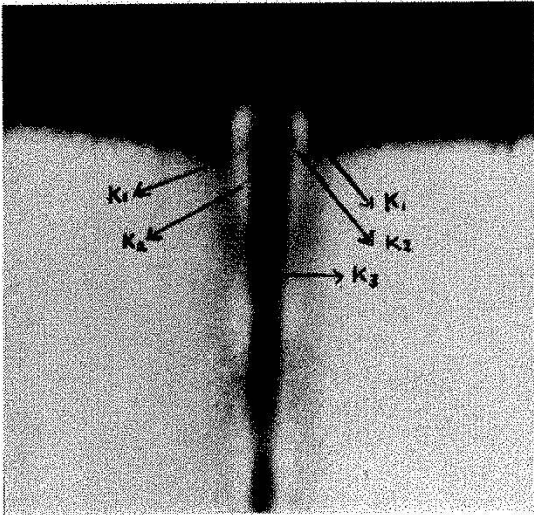


Abb. 5

Die Linie *K* bei radialem Spalt am Sonnenrand (nach einer fotogr. Aufnahme von d'Azambuja in Meudon)

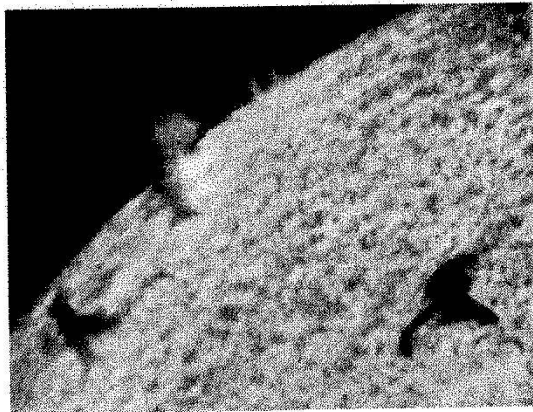


Abb. 7

Dunkle Flocke am Sonnenrand als helle Protuberanz (nach einer Mount Wilson-Aufnahme)

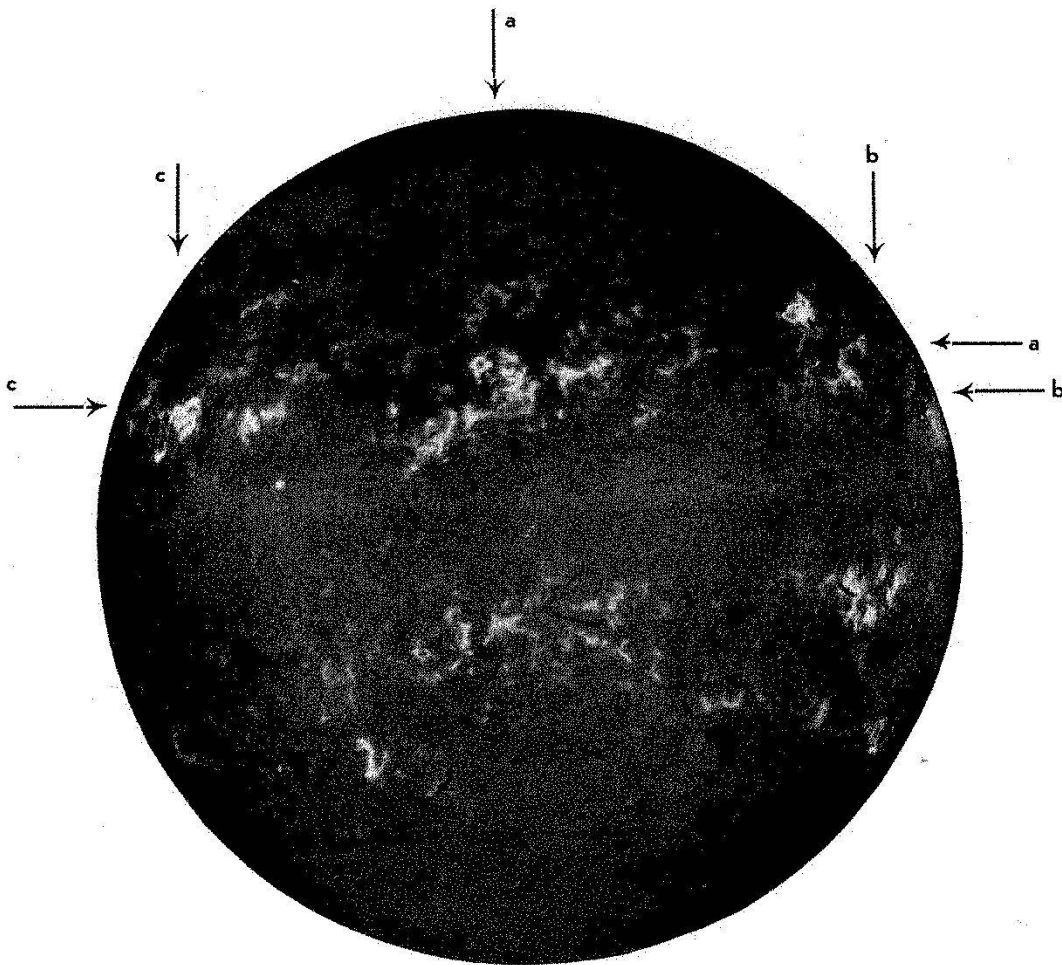


Abb. 8

Spektroheliogramm der Chromosphäre in der Strahlung der Mitte der Linie *H $\alpha$*  des Wasserstoffs. (Aufn. von d'Azambuja, Meudon)  
*a* = helle Wasserstoff-Flocke; *b* = dunkle Wasserstoff-Flocke;  
*c* = Chromosphärische Eruption

Tafel II

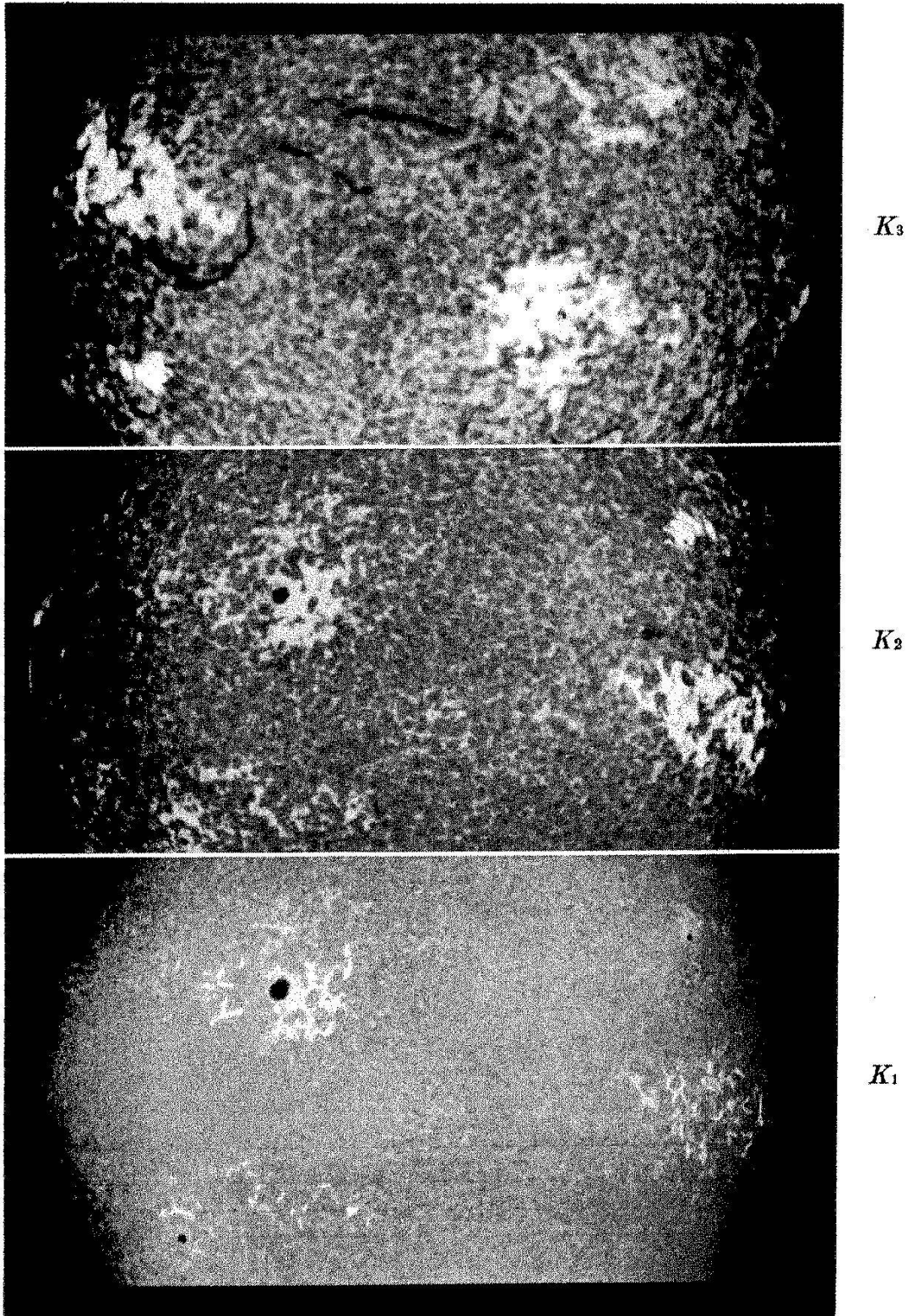


Abb. 6

Spektroheliographische Aufnahme desselben Teiles der Chromophäre der Sonne in den Strahlungen  $K_3$ ,  $K_2$ ,  $K_1$  der Linie  $K$  des ionisierten Kalziums (Nach Aufnahmen von d'Azambuja, Meudon)

### Tafel III

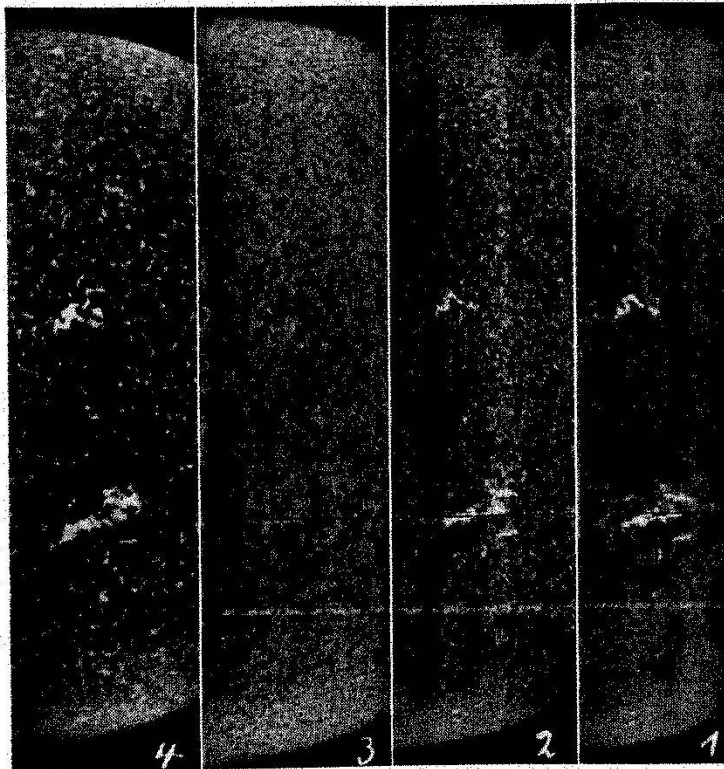


Abb. 9

Spektroheliographische Bilder desselben Teiles der Chromosphäre in der Strahlung verschiedener Stellen der Linie  $H\alpha$  des Wasserstoffs

1: Linienmitte; 2: zwischen Linienrand und Mitte;  
3: Rand der Linie; 4: Strahlung  $K_{23}$  der Linie  $K$  des ionisierten Kalziums  
(Nach Meudoner-Aufnahmen)

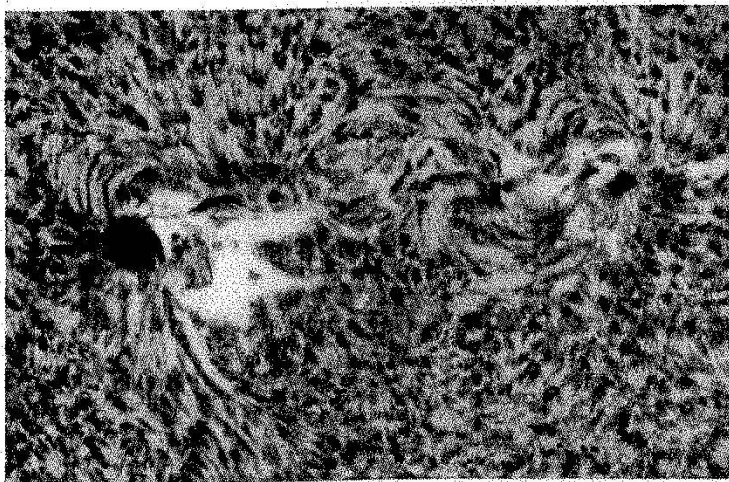


Abb. 10

Wirbelstruktur der höheren Chromosphäre auf einem Wasserstoff-Spektroheliogramm  
(Nach einer Mount Wilson-Aufnahme)

## Tafel IV

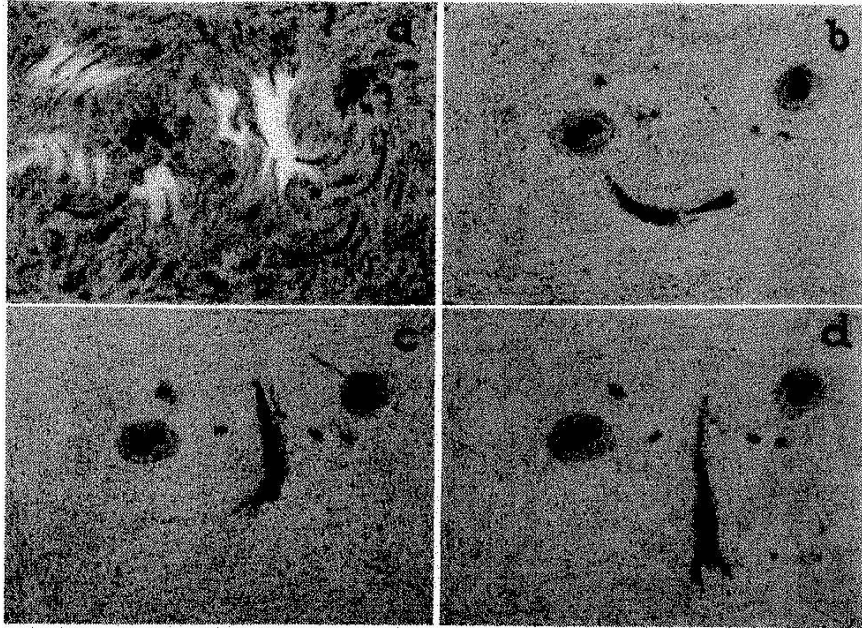


Abb. 13

Die grosse chromosphärische Eruption am 14. Febr. 1936  
nach der Beobachtung im Zürcher Spektrohelioskop

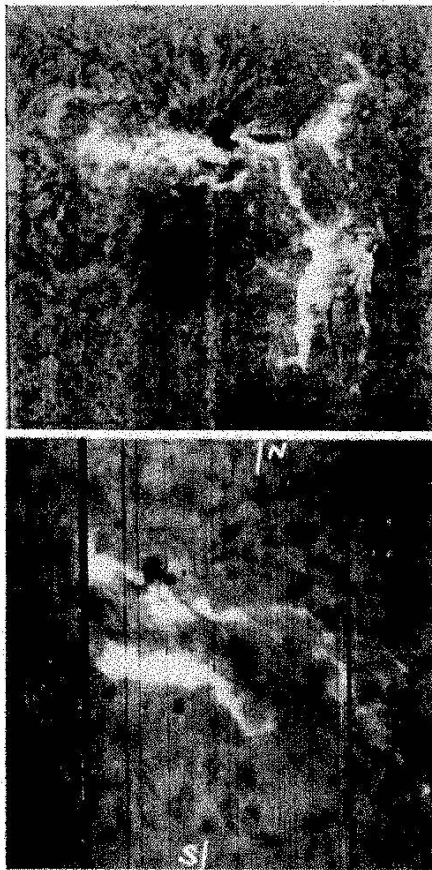


Abb. 11

Helle bedeutende chromosphärische Eruptionen  
(Nach Mount Wilson-Spektroheliogrammen)

Abb. 5, Tafel I). Über den normalen Verlauf  $K_1$  der Intensität einer Fraunhoferschen Linie, wie wir ihn in Abb. 2 dargestellt haben, lagert sich gegen die Linienmitte hin die Intensität  $K_2$  einer Emissionsschicht in grösserer Höhe, die ihrerseits wieder infolge der Absorption in den höchsten Schichten die Einsenkung  $K_3$  aufweist.

Spektroheliogramme im Lichte der Teile  $K_1$ ,  $K_2$  oder  $K_3$  (Abb. 6, Tafel II) zeigen Unterschiede, die nach schon Gesagtem verschiedener Höhe in der Chromosphäre entsprechen. Nach DESLANDRES und D'AZAMBUJA entspricht der Aufnahme im Lichte der Linie  $K_3$  eine Schichthöhe bis 5000 km, im Lichte der Linie  $K_2$  bis 3500 km und für  $K_1$  bis rund 1000 km. Im sogenannten „Flashspektrum“ der Sonnenchromosphäre, das bei totalen Sonnenfinsternissen gewonnen wird im Augenblick und an der Stelle der inneren Berührung der Sonnenscheibe mit der dunklen Mondscheibe, ist die  $K$ -Linie bis in die Höhe 14 000 km angezeigt. Die zuerst angegebenen Zahlen sind aus den gemessenen verschiedenen Durchmessern der Spektroheliogramme im Licht  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  der Linie  $K$  und des kontinuierlichen Grundes des Spektrums in der Nachbarschaft dieser Linie bestimmt worden. Der Unterschied ist natürlich dadurch bedingt, dass die höheren, äusserst wenig dichten Schichten der Kalziumchromosphäre bei gewöhnlichen Spektralaufnahmen ausserhalb von Finsternissen durch das Streulicht der Sonne überstrahlt werden.

Wir betrachten zuerst die Aufnahme im Lichte der feinen Absorptionslinie  $K_3$ . Die Aufnahme zeigt die Struktur der höchsten Kalziumschichten in der Chromosphäre. Auf dem Bilde fallen zuerst über den Tätigkeitsherden für Flecken und Fackeln helle Felder auf. DESLANDRES nennt sie „plages faculaires de calcium“. In deutschen astronomischen Schriften hat sich die Bezeichnung helle Kalziumflocken eingebürgert. Sie sind auf die Zonen der Flecken und Fackeln beschränkt und kommen in grösseren heliographischen Breiten nicht mehr vor. Weiter sind auffallend, und zwar über die ganze Chromosphärenscheibe hin vorkommend, grosse und kleine, unregelmässige, sehr verschiedenartige dunkle Formen. Man heisst sie dunkle Kalziumflocken (Abb. 6,  $K_3$ ). Wenn eine solche durch die Rotation an den Rand der Sonnenscheibe geführt wird, erscheint sie dort als helle Protuberanz (Abb. 7, Tafel I). Dunkle Flocken sind also einfach Protuberanzen. Sie projizieren sich dunkel auf die Chromosphärenscheibe, weil sie im allgemeinen weniger hell sind als diese.

Als drittes zeigen die  $K_3$ -Aufnahmen noch viele isolierte kleine Flocken in allen Teilen der Chromosphärenscheibe. Es sind dies die sogenannten Flocculi. Wird der Monochromatorspalt von  $K_3$  auf die schwache Emission  $K_2$  der Linie  $K$  übergeführt, so verschwinden die dunkeln Flocken (Protuberanzen), die Helligkeit der Flocken und Flocculi nimmt ab und die Begrenzungen der hellen Flocken werden weniger diffus (Abb. 6,  $K_2$ ). Auf den Aufnahmen im Lichte der Flügel  $K_1$  der Linie  $K$  (Abb. 6,  $K_1$ ) erscheinen die hellen Flocken und Flocculi noch schwächer. Auf diesen  $K_1$ -Aufnahmen sind auch die Sonnenflecken der Photosphäre sehr gut sichtbar, während sie im Lichte der Teile  $K_2$  und  $K_3$  der Linie  $K$  mehr und mehr durch helle Flocken überdeckt erscheinen.

Nach den breiten Linien  $H$  und  $K$  des ionisierten Kalziums sind die ersten vier Linien der Balmerreihe des Wasserstoffes die auffallendsten Linien im Sonnenspektrum und von ihnen insbesondere die erste Linie  $H_\alpha$  der Serie, die fast gleich hoch hinauf anspricht in der Chromosphäre wie die Linie  $H$  und  $K$ . Auf den Aufnahmen (Abb. 8, Tafel I) in der Strahlung der Linienachse, die den höchsten Schichten entspricht, zeigen Wasserstoff-Spektroheliogramme helle und dunkle Flocken wie die  $K_3$ -Bilder der Kalziumlinie  $K$ . Die dunklen Flocken (Protuberanzen) haben auf gleichzeitigen Wasserstoff- und Kalziumaufnahmen fast genau die gleiche Form. Die hellen Wasserstoffflocken dagegen erscheinen weniger dicht und weniger ausgedehnt und sind in ihren Formen mehr nur auf die Kämme der entsprechenden Kalziumflocken reduziert (Abb. 9, Tafel III). Die Chromosphärenscheibe ist im Lichte der Linienachse von  $H_\alpha$  am dunkelsten und nur eine nähere Prüfung zeigt das Vorhandensein einer feinen Granulationsstruktur (Abb. 8 und Abb. 9,<sub>1</sub>). Stellt man den Monochromatorspalt etwa einen Viertel der Linienbreite seitwärts der Linienachse, so bleiben die hellen und dunklen Flocken noch gut sichtbar und die Granulationsstruktur tritt deutlicher hervor (Abb. 9,<sub>2</sub>). In der Strahlung vom Rande der Linie  $H_\alpha$ , aus den tiefsten Schichten stammend, wird das Bild ein ganz anderes (Abb. 9,<sub>3</sub>). Nichts oder fast nichts bleibt von der vorigen Struktur. An deren Stelle erscheint ein Netz von wenig auffallenden, schwachen dunkeln Stellen, die in ihrer allgemeinen Form das Netz der hellen Flocken und Flocculi der Aufnahmen in der Linie  $K$  wiedergeben.

Die interessanten Bilder (Abb. 10, Tafel III) mit der auffallenden Wirbelstruktur der kleinen hellen und dunkeln Flocculi um grössere

Sonnenflecken herum, deren Kern man durch die Chromosphäre hindurch erkennen kann, erhält man am besten, wenn der Monochromatorspalt etwa ein Viertel der Linienbreite ausserhalb der Linienachse steht. Auf den Aufnahmen in der Strahlung  $K_2$  der Linie  $K$  des ionisierten Kalziums ist diese Wirbelstruktur nur ganz ausnahmsweise angedeutet.

Die anderen Wasserstofflinien — es kommen nur  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  in Frage — geben in der Strahlung des mittleren Hauptteiles der Linien Bilder vom Charakter der Strahlung des mittleren Teiles der Linie  $H_\alpha$ , wobei aber die charakteristischen Einzelheiten von  $H_\beta$  nach  $H_\delta$  fortschreitend immer weniger sich abheben von der Chromosphäre, während mehr und mehr die Granulationsstruktur und die dunkeln Felder und Flocculi hervortreten, wie sie sich in den Flügelaufnahmen von  $H_\alpha$  zeigen.

Weitaus die Mehrzahl der Absorptionslinien im Sonnenspektrum spielen nur in der alleruntersten Schicht der Chromosphäre an, in der sogenannten umkehrenden Schicht. Schon die Pioniere der Chromosphärenforschung mit dem Spektroheliographen, DESLANDRES, HALE und seine Mitarbeiter ELLERMANN und FOX stellen mit Erfolg auch spektroheliographische Aufnahmen mit Linien aus diesem tiefen Niveau her. Mit genügend grosser Dispersion, um Aufnahmen in der Linienmitte und an den Flügeln machen zu können, hat aber erst kürzlich L. D'AZAMBUJA vom astrophysikalischen Observatorium in Meudon systematisch die Struktur der unteren Schichten der Chromosphäre untersucht und auch zum erstenmal Aufnahmen gemacht der Chromosphäre in der Strahlung von Linien des ionisierten Kalziums weit draussen im ultraroten Teil des Spektrums.

Ein Hauptergebnis der Untersuchungen von D'AZAMBUJA ist, dass die Spektroheliogramme der benützten 11 Linien von 5 Elementen der umkehrenden Schicht zwei von den Wasserstoff- und Kalziumaufnahmen her bekannte Strukturtypen zeigen, die getrennt oder je nach der Stellung des Monochromatorspaltes in verschiedenen Verhältnissen gemischt, das Aussehen des Bildes bestimmen. Es sind einerseits die hellen Flecken und Flocculi und andererseits die Granulation analog der Granulation auf den  $H_\alpha$ -Aufnahmen bei ein wenig seitlicher Stellung des Monochromatorspaltes. Wenn der Monochromatorspalt in der Linienachse steht, sind beide Strukturen sichtbar, aber sich wenig abhebend auf der Chromosphärenscheibe etwa wie in den Aufnahmen der Strahlung  $K_1$  in der Linie des

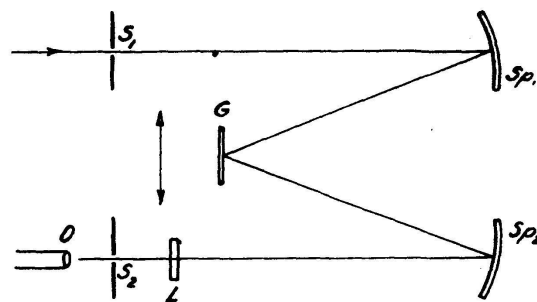
ionisierten Kalziums (Abb. 6 c). Aufnahmen in der Strahlung von den Rändern der Linien zeigen nur die Granulation. Die dunkeln Flecken (Protuberanzen) fehlen auf den spektroheliographischen Aufnahmen der umkehrenden Schicht. Die beiden Strukturtypen, helle Flecken und Flocculi einerseits und Granulation andererseits, die, wie wir jetzt wissen, sich in allen Niveauschichten der Chromosphäre zeigen, sind also wohl als Fundamentaltypen aufzufassen. Es scheint nicht, dass andere in der Chromosphäre vorhanden sind. Die auf der Chromosphärenscheibe in der Strahlung der Linien  $K_3$ ,  $H_\alpha$  und  $H_\beta$  sich dunkel abhebenden Protuberanzen gehören nicht zur normalen Eigenstruktur der Chromosphäre.

Über den Mechanismus, der den besonderen Glanz der hellen Flecken hervorruft, weiss man nichts Sicheres. Sicher ist nur, dass diese Flecken im Zusammenhang stehen mit Gegenden der Photosphäre (Fackelgruppen), von denen ein stärkerer Strahlungsüberschuss ausgeht. Die Verschiedenheit der Intensitäten der hellen Flecken auf spektroheliographischen Aufnahmen im Licht verschiedener Kategorien von Linien muss also wohl ihre Ursache haben in der grösseren oder kleineren Verstärkung der durch aktive Stellen der Photosphäre hervorgerufenen Emission in diesen Linien. Am auffallendsten sind die hellen Flecken auf Bildern im Licht der Linien  $H$  und  $K$  des ionisierten Kalziums, etwas weniger für die Linien der Wellenlängen 8498 und 8542 im Infraroten, noch sehr intensiv mit  $H_\alpha$  des Wasserstoffs, dann aber sehr schwach mit den Linien der tiefen Schichten der Chromosphäre. Wenn man von den spektroheliographischen Bildern die hellen Flecken und Flocculi wegschaffen könnte, würden die Aufnahmen in verschiedenen Linien nur eine mehr oder minder hervorstehende und mehr oder minder gleichförmige Granulation zeigen. Die Granulation erweist sich also als das charakteristische Merkmal der Eigenstruktur der strahlenden und absorbierenden Gase der Chromosphäre. Sie muss wahrscheinlich erklärt werden durch lokale Differenzen von Temperatur, Druck und Dichte, hervorgerufen durch Konvektionsströmungen und Turbulenzen in den Gasmassen. Nach dieser Auffassung bedeuten die hellen Flecken Störungen in der Chromosphäre oder zum mindesten etwas, das nicht immer da ist, ähnlich wie die wechselnden sog. Sonnenflecken in der photosphärischen Schicht, in der die bleibende Struktur auch eine und zwar feinere Granulation ist.

Gelegentlich zeigen Spektroheliogramme in den hellen Flockenherden noch sehr auffallende besondere Störungen, sog. chromosphärische Eruptionen (Abb. 8, Tafel I, und Abb. 11, Tafel IV). In einem normalen Flockenherd entstehen plötzlich abnormal helle Punkte, kleine Flächen oder Streifen, die rasch veränderlich sind, oft grosse Dopplereffekte zeigen und nach einigen Minuten bis rund zwei Stunden wieder verschwinden oder auf normale Helligkeit zurückgehen.

Der Spektroheliograph ist aber nicht der rechte Apparat zur Verfolgung der Erscheinungen chromosphärischer Eruptionen. Der

Abb. 12. Das Spektrohelioskop



Vorgang geht zu rasch vor sich. Grosse Änderungen können schon in ein bis zwei Minuten auftreten und ein Spektroheliogramm erfordert, wenn der erste Spalt des Spektroheliographen das ganze Sonnenscheibchen in der Brennebene des Bildspiegels oder Objektivs abtasten soll, mindestens drei bis vier Minuten Belichtung. Zur Beobachtung schnell vor sich gehender Erscheinungen der Chromosphäre eignet sich besser das Spektrohelioskop. Das ist ein Apparat ähnlich dem Spektroheliographen, mit dem man aber die chromosphärischen Erscheinungen visuell monochromatisch beobachten kann. Merkwürdigerweise hat man dreissig Jahre mit dem Spektroheliographen photographiert, ohne dass es trotz wiederholten Versuchen gelungen wäre, die ganze Chromosphäre über der scheinbaren Sonnenscheibe auch visuell monochromatisch zu beobachten. Erst vor gut zehn Jahren baute HALE nach seinem Rücktritt von der Leitung der Mount Wilson-Sternwarte sein erstes Spektrohelioskop. Abbildung 12 erklärt schematisch die Einrichtung des Apparates.

Vor dem Spalt  $S_1$  ist das Brennpunktsbild der Sonne, entworfen durch eine Linse oder einen Hohlspiegel, von längerer Brennweite.  $S_1$  liegt in der Brennebene des kleinen Hohlspiegels  $Sp_1$ . Von  $Sp_1$

gehen die Strahlen parallel weg zum Gitter  $G$ , das die spektrale Zerlegung hervorruft und so geneigt ist, dass das zerlegte Licht auf den Bildhohlspiegel  $Sp_2$  fällt. Dieser entwirft in der Höhe und in der Entfernung des Monochromatorspaltes  $S_2$  vor demselben ein Bild des Spektrums. Durch Drehung des Gitters  $G$  kann man eine Fraunhofersche Linie, z. B.  $H_\alpha$  des Wasserstoffs, auf  $S_2$  bringen. Dann kommt durch  $S_2$  und das Okular  $O$  nur Licht von der ausgeblendeten Linie in das Auge. Denkt man sich den ganzen Apparat rechts in der Richtung des Doppelpfeils sehr rasch hin und her bewegt, so überstreicht der Spalt  $S_1$  in schneller Folge einen Teil des Sonnenbildes und das Auge beobachtet durch das Okular  $O$  ein monochromatisches Bild des von  $S_1$  überstrichenen Gebietes. Praktisch ist es natürlich nicht gut möglich, dem langen Apparatenteil rechts diese oscillierende Bewegung zu geben. Es ist auch nicht nötig. Man kann dafür einfach die beiden Spalten diese Oscillation ausführen lassen, was technisch leicht ausführbar ist, wenn man sie auf einen gemeinsamen kleinen Balken anbringt.

Im Strahlengang zwischen  $Sp_2$  und  $S_2$  nahe bei  $S_2$  steht noch eine kleine, um eine vertikale Achse messbar verdrehbare planparallele Glasplatte. HALE nennt sie den Linienschieber. Durch Drehung der Platte lässt sich das Spektrum um messbare kleine Beträge verschieben. Es ist also möglich, mit dem Linienschieber den Wellenlängenbereich, in dem beobachtet wird, schnell zu etwas zu ändern, so dass der Monochromatorspalt in der Liniennachse und auf den Flügeln der Linie gestellt werden kann. Mit dem Linienschieber können aber auch leicht Dopplereffekte gemessen werden, was wichtig ist zur Untersuchung von Bewegungsvorgängen in den chromosphärischen Eruptionen und eruptiven Protuberanzen. Die Skala am Linienschieber kann so geeicht werden, dass man direkt Geschwindigkeiten im Visionsradius in km/sec ablesen kann.

Ich möchte kurz berichten, wie wir in Zürich mit diesem neuen Apparat arbeiten. Einmal zeichnen wir jeden günstigen Tag (im Durchschnitt waren es 235 Tage pro Jahr in den letzten drei Jahren) in einem vorgedruckten Sonnenkreis alle im Licht der roten Wasserstofflinie beobachteten hellen Flockenherde, die scheinbar dunkeln Protuberanzen auf der Chromosphärenscheibe und die hellen Randprotuberanzen und charakterisieren die veränderliche Tätigkeit der Sonne für diese Erscheinungen für jeden Tag durch eine Zahl in einer bestimmten Skala. Eine kleine Anzahl von Sternwarten macht

mit dem Spektroheliographen tägliche Chromosphärenaufnahmen in der Strahlung der Mitte der Linie  $H_\alpha$  des Wasserstoffs und dem Bereich  $K_{2-3}$  der Linie  $K$  des ionisierten Kalziums und bestimmt die täglichen Tätigkeitszahlen aus den erhaltenen Spektroheliogrammen. Unsere eidgenössische Sternwarte sammelt diese Zahlen und veröffentlicht sie zusammen mit den Indexzahlen für die Fleckentätigkeit der Sonne und für die wechselnde Intensität der ultravioletten Strahlung in einem unter den Auspizien der Internationalen Astronomischen Union herausgegebenen Bulletin für tägliche Charakterzahlen der Sonnenercheinungen. Dieses Vierteljahrsbulletin wird hauptsächlich gebraucht für Untersuchungen über Zusammenhänge von terrestrischen mit solaren Erscheinungen. Die gewonnenen Zahlen zeigen, dass alle chromosphärischen Erscheinungen auch dem bekannten elfjährigen Zyklus der Sonnenflecken-tätigkeit folgen.

Interessanter als diese täglichen Bestandesaufnahmen sind natürlich die Beobachtungen der Eruptionsvorgänge, nämlich der hellen eruptiven Ausbrüche und der eruptiven Protuberanzen am Rand und auf der Chromosphärenscheibe (eruptive dunkle Flecken). Normalerweise beobachten wir sie im Spektrohelioskop in der Strahlung der Linie  $H_\alpha$  des Wasserstoffs. Mit Erfolg haben wir aber auch schon in den Linien  $D_1$  und  $D_2$  des Natriums,  $D_3$  des Heliums,  $b$  des Magnesiums und  $H_\beta$  des Wasserstoffs beobachtet. Die Linien  $H$  und  $K$  des Kalziums, die für spektroheliographische Aufnahmen so wichtig sind, scheiden für visuelle Beobachtungen aus, da sie schon im ultravioletten Teil des Spektrums liegen.

Die eruptiven Erscheinungen treten fast ausschliesslich nur innerhalb von Fleckengruppen auf. Zu den Minimazeiten im elf-jährigen Zyklus sind sie sehr selten. In der gegenwärtig äusserst fleckenreichen Periode sind sie tägliche Erscheinungen. Ich zeige an einigen Beispielen, die vom Assistenten unserer Sternwarte, Herrn Dr. MAX WALDMEIER, beobachtet und beschrieben wurden, wie aufschlussreich und vielversprechend die Verfolgung dieser Erscheinungen im Spektrohelioskop sind.

Zuerst beschreibe ich eine am 14. Februar 1936 in Zürich beobachtete helle Eruption, die von dunkeln, eruptiven Flecken begleitet war, wie das oft der Fall ist. Am 7. Februar 1936 wurde am Ostrand der Sonne durch Rotation eine grosse Fleckengruppe sichtbar, die sehr aktiv war. Vom 7. bis 14. Februar sind in ihr

18 Eruptionen beobachtet worden. Als unser Beobachter am 14. Februar um 13.40 Uhr M. E. Z. die Überwachung der Sonne begann, war in dieser Gruppe gerade eine ausserordentlich helle Eruption zwischen den beiden Hauptflecken im Entstehen. Um 13.42 Uhr erreichte sie die grösste Helligkeit und nahm dann nachher langsam wieder ab. Abb. 13, Tafel IV zeigt die Eruption um 13.45 Uhr. Die Reproduktion vermag aber die Helligkeit nicht richtig wiederzugeben. Um 14.12 Uhr ist die Eruption vorbei und alle Wasserstofflocken haben wieder ihre normale Helligkeit. Die helle Eruption zeigte keinen Dopplereffekt und wurde in der Mitte der Linie  $H_\alpha$  beobachtet. Um 13.48 Uhr wurden im Bereiche der Eruption zwei sehr intensive dunkle Flecken (eruptive Protuberanzen) entdeckt. Sie wiesen so grosse Dopplereffekte auf, dass bei Nullstellung des Linienschiebers überhaupt nichts von ihnen zu sehen war. Abb. 13 *b*, 13 *c* und 13 *d* zeigen diese Flecken, und zwar Abb. 13 *b* die gegen die Sonnenoberfläche absteigende Flocke bei einer Geschwindigkeit im Visionsradius von 110 km/sec vom Beobachter weg und Abb. 13 *c* und 13 *d* die aufsteigende Flocke mit einer ziemlich einheitlichen Radialgeschwindigkeit von 150 km/sec gegen die Erde zu. Bei diesem grossen Dopplereffekt ist der Monochromatorschlitz schon ausserhalb der  $H_\alpha$ -Linie für ungestörte Stellen, so dass die Bilder nicht mehr die Struktur der Chromosphäre, sondern der Photosphäre zeigen. Deswegen treten auf ihnen auch die Flecken so stark hervor. Die absteigende Flocke zeigte rasche Formänderungen. Die aufsteigende Flocke behielt im wesentlichen ihre Form bei. Aus den Bildern Abb. 13 *c* und 13 *d* ergibt sich aus der Verschiebung der Flocke eine Geschwindigkeit von 45 km/sec senkrecht zum Visionsradius. Beide Geschwindigkeitskomponenten zusammen zeigen, dass diese Flocke sehr steil von der Sonnenoberfläche aufstieg. Um 14.18 Uhr waren die eruptiven dunklen Flecken verschwunden.

Ein zweites Beispiel wähle ich aus einer dieser Sommer veröffentlichten Arbeit unseres Assistenten Dr. WALDMEIER über chromosphärische Vorgänge bei der Entstehung von Sonnenflecken. Abb. 14 zeigt eine kleine Fleckengruppe, die am Morgen des 12. Juni 1936 auf der Ostseite entstand. Um 7.30 Uhr M. E. Z. war an der betreffenden Stelle noch kein Fleck; um 8 Uhr war einer vorhanden und um 8.15 Uhr waren es zwei. Die bipolare Gruppe hat sich in den folgenden Tagen zu einer Gruppe vieler kleiner Flecke entwickelt. Abb. 14 stellt die Gruppe für die drei ersten Beobach-

tungstage dar. Die schwarzen Areale sind dunkle Flecken, die schraffierten sehr helle Wasserstofflocken. Die normalen hellen Flecken sind nicht eingezeichnet. Vom Tag vorher liegt keine Spektrohelioskopbeobachtung vor. Am 12. Juni war um 8 Uhr M. E. Z. der Raum zwischen den Hauptflecken der bipolaren Gruppe von einer sehr hellen Flocke erfüllt. Die Flecken wurden im Laufe des Tages grösser. Während des ganzen Nachmittags bot die Gruppe im Spektrohelioskop den Anblick, wie er in Abb. 14 dargestellt ist. Die helle Flocke, die am Morgen die ganze Gruppe ausfüllte, ist nur noch um den vorangehenden, zuletzt entstandenen Fleck sichtbar.

Eine dunkle eruptive Flocke (Protuberanz) verband die beiden Flecken. Sie zeigte Dopplereffekte. Die dunkle Flocke, wie sie im Bild gezeichnet ist, stellt das Integralbild über alle Schieberstellungen dar. Der Pfeil gibt die Richtung an, in der sich die Flocke verschiebt, wenn der Monochromatorsplatt von kleineren zu grösseren Wellenlängen verschoben wird. Am vorangehenden Fleck hat die Flocke keine Eigenbewegung im Visionsradius: in Richtung zum hinteren Fleck nimmt die Geschwindigkeit im Visionsradius, und zwar in der Richtung vom Beobachter weg,

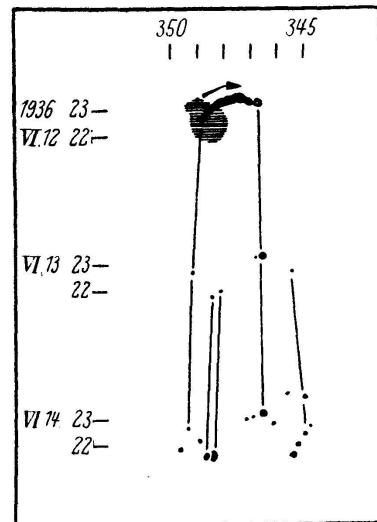


Abb. 14

gegen die Sonnenoberfläche hin, beständig zu und erreicht in diesem Fleck ihr Maximum von 74 km/sec. Die Deutung dieser Dopplereffekte ist einfach: Die Massen strömen vom vorangehenden Fleck aus, beschreiben einen Bogen und münden im hinteren Fleck. Wir haben es mit einer bogenförmigen eruptiven Protuberanz zu tun. Die Asymmetrie in den beobachteten Dopplerverschiebungen rührt davon her, dass sich die Gruppe auf der Ostseite und nicht in der Mitte der Sonnenscheibe befand. Am folgenden Tag waren keine dunkeln Flocken mehr zu sehen und die Gruppe war nur noch von hellen Flocken normaler Helligkeit erfüllt, die mit dem Abnehmen der Fleckentätigkeit an dieser Stelle schwächer wurden.

Ähnliche Beispiele sind in Zürich eine grössere Anzahl beobachtet worden. Es scheint aus ihnen sicher hervorzugehen, dass mit der Entstehung von Fleckengruppen charakteristische chromosphärische Vorgänge verbunden sind, nämlich übernormale helle

Flocken und bogenförmige dunkle Flocken mit Dopplereffekt. Die hellen Flocken entstehen, bevor der Fleck sichtbar wird, und verschwinden spätestens nach einem Tag wieder. Die dunklen Flocken treten später auf. Die Materie der Flocken beschreibt von der Chromosphäre aufsteigend eine bogenförmige Bahn und kehrt zur Chromosphäre zurück. Die Strömung geht von der Stelle des jüngeren zum älteren Fleck. Diese Begleiterscheinungen der Fleckenbildung gelten zunächst nur für die erste Entwicklungsphase von kleinen Fleckengruppen. In grösseren Gruppen werden sie auch

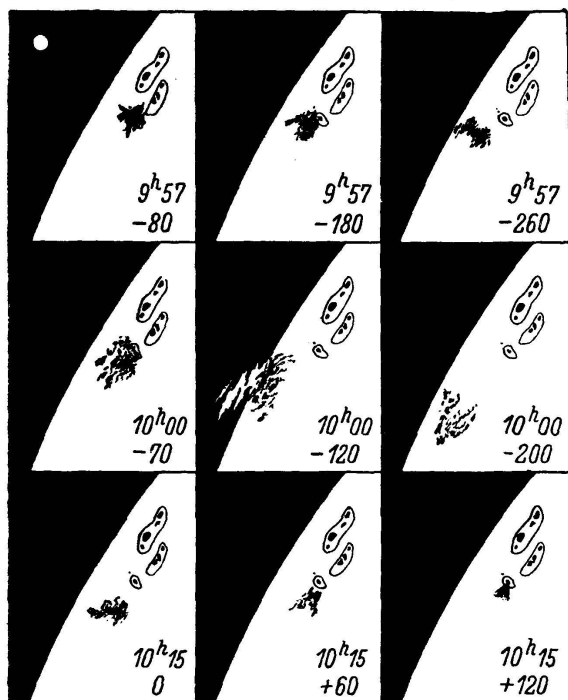


Abb. 15  
Eruptive dunkle Wasserstoff-Flocke  
in der Nähe des Ostrand  
(Beobachtung am Zürcher Spektro-  
helioskop)

während der späteren Entwicklung beobachtet, aber in verwickel-  
teren Formen. Dabei scheint aber die Strömungsregel meistens erfüllt.

Beim Spektrohelioskop auf unserer Sternwarte können wir, wenn es wünschenswert ist, auch während der Verfolgung einer Eruptionserscheinung sehr rasch von visueller zu photographischer Beobachtung übergehen. Die so erhaltenen kleinen Spektroheliogramme sollen nur Form, Grösse und Position der Flocken erkennen lassen. Die Einzelheiten der Struktur halten wir durch zeichnerische Skizzen fest. Mit den Aufnahmen am Spektroheliographen kann man diese kleinen Bilder natürlich nicht vergleichen. Das letzte Beispiel, das ich hier besprechen will, ist aus der Zusammenarbeit von Photographie und Zeichnung entstanden.

Am 16. Juni 1936 wurde am Ostrand eine Fleckengruppe sichtbar, die zwei Tage ausserordentlich aktiv blieb. Abb. 15 stellt

eine Phase aus der eruptiven Tätigkeit in dieser Gruppe dar. Um 9.56 Uhr entstand zwischen den drei Hofflecken eine runde helle Eruptionsfläche, die 9.57 Uhr am hellsten war und etwa 10.10 Uhr erlosch. Beim Ausbruch der hellen Eruption bildete sich auch eine dunkle Flocke. Die oberen drei Bilder zeigen diese Flocke bei verschiedenen Radialgeschwindigkeiten. Die mittleren drei Bilder zeigen die Flocke drei Minuten später. Sie hat sich in dieser Zeit stark nach links verschoben, ragt zum Teil über den Sonnenrand hinaus und erscheint dort als helle Randprotuberanz. Die Flocke zeigt sich diffuser und schwächer; vielleicht ist ein Teil von der Sonne weggeworfen. Andere Teile sind nach einiger Zeit wieder auf die Sonne zurückgefallen. Die Zahlen unter den Beobachtungszeiten geben die durch den Linienschieber gemessenen Geschwindigkeiten in Blickrichtung, plus vom Beobachter weg gegen die Sonnenoberfläche zu, minus auf den Beobachter zu. Die drei unteren Bilder zeigen, wie Teile der Flocke mit wachsender Geschwindigkeit niederstürzen und in einem Fleck verschwinden. Der kleine Kreis links oben im Bild stellt zum Vergleich die Grösse der Erde dar.

Interessant ist die Frage des Einflusses der chromosphärischen Eruptionen auf irdische Erscheinungen, auf die ich zum Schluss noch hinweisen möchte. Nach den bisherigen ersten Erfahrungen scheinen grössere chromosphärische Eruptionen folgende geophysikalische Wirkungen zu haben:

1. Kleine plötzliche Änderungen der erdmagnetischen Elemente (Horizontal- und Vertikalkomponente und Deklination), die nichts zu tun haben mit den schon lange bekannten grossen Störungen, den sog. erdmagnetischen Stürmen. Sie treten nur wenige Minuten später auf als die Eruptionen und dauern solange wie diese. Sie zeigen sich als kleine Knicks (Abb. 16) in den Diagrammen, die die zeitlichen Änderungen der erdmagnetischen Elemente registrieren, und sie fallen nur auf, wenn das Magnetogramm einen ruhigen Verlauf zeigt.
2. Grosse erdmagnetische Störungen (magnetische Stürme) und Polarlichter etwas mehr als einen Tag nach der Sonneneruption auftretend und oft mehrere Tage dauernd.
3. Störungen der Ionosphäre der irdischen Atmosphäre. Diese Störung ist vor zwei Jahren vom amerikanischen Geophysiker DELLINGER entdeckt worden (Dellingereffekt). Auf der Existenz der Ionosphäre, d. h. einer elektrisch leitenden Schicht

in etwa 100 km Höhe in der Erdatmosphäre, beruht der transozeanische radiotelegraphische Verkehr auf kurzen Wellen. Die Erfahrung zeigt, dass sehr oft bei Beginn einer bedeutenderen hellen chromosphärischen Eruption oder eher einige Minuten später, ein totales Verschwinden (Fading) der kurzen Wellen (10 bis 50 m) im Empfangsapparat eintritt (Abb. 16). Das Aussetzen der Wellen dauert solange wie die Eruption. Das Comité français de Radiotélégraphie scientifique veröffentlicht regelmässig Listen der beobachteten radiotelegraphischen Störungen. Bei dem fast ununterbrochenen radiotelegraphischen

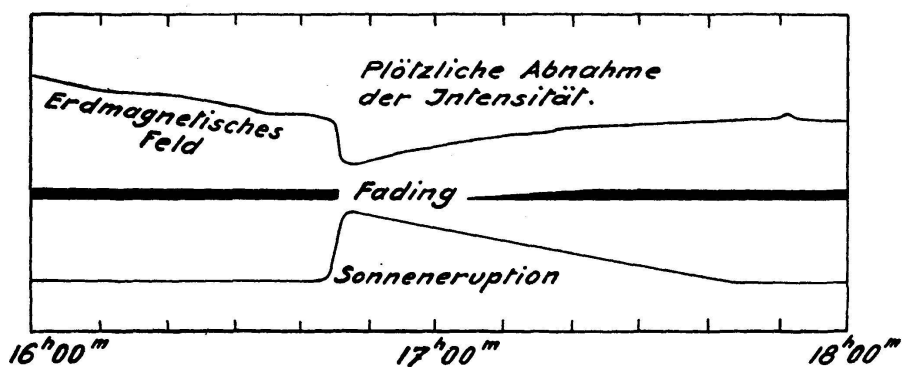


Abb. 16  
Störung des erdmagnetischen Feldes und Verschwinden der transozeanischen kurzwelligen Radiosignale zur Zeit einer grossen chromosphärischen Eruption am 8. April 1936

Verkehr über den Atlantischen Ozean dürfte wenigstens für diese Strecke die Liste nahezu lückenlos sein, etwas weniger sicher vielleicht über den Stillen Ozean. Die Überwachung der Sonne mit dem Spektrohelioskop nach chromosphärischen Eruptionen geschieht gegenwärtig nach einem bestimmten Stundenplan auf zwölf Stationen in Europa, Amerika, Asien und Australien. Die mittlere tägliche Überwachungszeit ist 9 bis 10 Stunden. In Zürich sitzt jeden einigermassen günstigen Tag ein Beobachter dreimal je eine halbe Stunde am Apparat. Die Eruptionen werden von Herrn D'AZAMBUJA vom Astrophysikalischen Observatorium in Meudon gesammelt, nach bestimmten Gesichtspunkten geordnet und in dem von unserer eidgenössischen Sternwarte herausgegebenen „Bulletin for Character Figures of Solar Phenomena“ veröffentlicht.

Einer noch unveröffentlichten kleinen Arbeit von Assistent WALDMEIER über ionosphärische Störungen solaren Ursprungs entnehme ich, dass im Jahre 1936 3 % der Eruptionen der Intensität 1 (kleine Eruption), 14 % der Eruptionen der Intensität 2 und 43 %

der Eruptionen der Intensität 3 (sehr grosse Eruption) von Fadings begleitet waren. Es löst also sicher nicht jede grössere Eruption ein Fading aus. Wahrscheinlich sind die Bedingungen in den ionosphärischen Schichten nicht immer so, dass ein auffallendes Fading eintreten kann.

Die umgekehrte Frage, ob alle Fadings solaren Ursprungs sind, ist weniger sicher zu beantworten, da die Überwachung der Sonne nicht lückenlos ist. Von den 124 Fadings des Jahres 1936 koinzidieren 44 mit Eruptionen. Die durchschnittliche tägliche Überwachungsdauer war 10 Stunden, so dass bei ununterbrochener Überwachung 106 Koinzidenten von Fadings und Eruptionen zu erwarten wären. Diese Überlegung zeigt, dass die meisten und wahrscheinlich sogar alle Fadings solaren Ursprungs sind.

Die Lage einer Eruption auf der Sonnenscheibe scheint nicht von Einfluss zu sein für das Eintreffen eines Fadings, während nach bisheriger Erfahrung grosse magnetische Stürme häufiger sind, wenn aktive Sonnenfleckengruppen in der Nähe der Mitte der Sonnenscheibe sind. Dieser Umstand weist darauf hin, dass die radiotelegraphischen Störungen durch eine Wellenstrahlung und die erdmagnetischen Stürme durch radial von der Sonne ausgeworfene elektrisch geladene Korpuskeln hervorgerufen sein könnten.

Allererste Versuche, einen Einfluss chromosphärischer Eruptionen auf andere terrestrische Erscheinungen aufzufinden, liegen vor. Ihre Ergebnisse sind noch unsicher. Vorläufig scheinen die hohen ionosphärischen Schichten das feinste Reagens zu sein auf kosmische Einflüsse.

Ich bin zu Ende mit meinen Ausführungen. Es scheint mir etwas ganz Besonderes, wie man im Laufe des Aufstieges der jungen Astrophysik immer besser lernte, in einer schmalen, stark durchsichtigen, strahlenden und absorbierenden Schicht über der sichtbaren Sonnenscheibe Erscheinungen wahrzunehmen, welche der Beobachtung mit dem gewöhnlichen Fernrohr ganz verschlossen sind. Aus diesem Grunde wählte ich die Erscheinungen der Chromosphäre der Sonne als Gegenstand dieses Vortrages. Heute liegt, wie gezeigt wurde, ein reiches, mit dem Spektroheliograph gewonnenes Beobachtungsmaterial vor. Mit dem Spektrohelioskop werden weiter die rasch veränderlichen eruptiven Vorgänge und besondere Bewegungserscheinungen untersucht werden. Was leider noch fehlt, sind wirklich befriedigende physikalische Deutungen für die beobachteten Erscheinungen.