

12. COMMISSION DE LA RADIATION ET DE LA STRUCTURE DE L'ATMOSPHERE SOLAIRE

PRÉSIDENT: Dr R. Michard, Observatoire de Paris, Section d'Astrophysique, 92-Meudon, France.

VICE-PRÉSIDENT: Dr M. N. Gnevyshev, Astronomical Observatory, Leningrad M-140, U.S.S.R.

COMITÉ D'ORGANISATION: R. G. Athay, M. G. J. Minnaert, E. A. Müller, M. J. Seaton, Z. Suemoto.

MEMBRES: Allen, Babcock, Billings, Blackwell, Blaha, Blamont, Böhm, Böhm-Vitense, Bray, Brück (H. A.), Bruzek, Chamberlain, Christiansen, de Jager, Delbouille, Edlén, Edmonds, Elste, Evans (J. W.), Friedman, Giovanelli, Godoli, Gökdoğan, Goldberg, Hotinli, Houtgast, Hubenet, Jäger, Jefferies, Kawaguchi, Kiepenheuer, Kononovich, Kopecký, Laborde, Labs, Leighton, Locke, Loughhead, Lüst, Mathias, Matsushima, Mattig, Mergentaler, Migeotte, Mugglestone, Namba, Neven, Newkirk, Nicolet, Pecker (J.-C.), Pecker-Wimel, Peyturaux, Pierce, Redman, Righini, Rigutti, Schröter, Severny, Sitnik, Sitterly, Sobolev (V. M.), Švestka, Swensson, Tandberg-Hanssen, Thomas (R. N.), Tousey, Unsöld, Voigt, von Klüber, Waldmeier, Warwick (J. W.), Zirin, Zirker.

INTRODUCTION

Ce rapport et la liste bibliographique associée décrivent les progrès réalisés dans l'étude de l'atmosphère solaire 'normale' de Janvier 1964 à Octobre 1966. Quelques travaux publiés dès 1963, mais malheureusement omis dans notre précédent rapport, ont été inclus.

Le lourd travail nécessaire pour passer en revue un domaine scientifique aussi vaste que celui de notre Commission a été partagé entre C. W. Allen (couronne), R. G. Athay (chromosphère) et R. Michard. Ce dernier adresse ses remerciements aux deux collègues qui l'ont aidé si généreusement.

Nous sommes particulièrement reconnaissants à tous les membres de la Commission qui ont bien voulu nous adresser un compte rendu de leurs travaux ou de ceux de leurs collègues afin de rendre notre revue plus actuelle et plus vivante.

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

Notons les divers symposiums organisés récemment sur des sujets intéressant la Commission :

- *The Solar Spectrum*, Symposium d'Utrecht, 1963 (1).
- *Stellar and Solar Magnetic Fields*, Symposium no. 22 de l'UAI, Rottach-Egern, 1963 (2).
- *Astronomical Observations for Space Vehicles*, Symposium no. 23 de l'UAI, Liège, 1964 (3).
- *Abundance Determinations in Stellar Spectra*, Symposium no. 26 de l'UAI, Utrecht, 1964 (4).
- *Campi magnetici solari e la spettroscopia ad alta risoluzione*, Rome, 1964 (9), l'une des nombreuses manifestations organisées pour le 4ème Centenaire de la naissance de Galilée.
- *Cosmical Gas Dynamics*, Symposium no. 28 de l'UAI, Nice, 1965 (5).
- First Harvard-Smithsonian Conference on Stellar Atmospheres, Cambridge, 1964 (7).
- Second Harvard-Smithsonian Conference on Stellar Atmospheres, Cambridge, 1965 (8).

- *Solar Physics*, an Advanced Study Institute sponsored by NATO, Lagonissi, 1965 (6).
- *The Fine Structure of the Solar Atmosphere*, Anacapri, 1966 (10), organisé pour l'inauguration du télescope solaire de la station d'Anacapri du Fraunhofer Institut.

Les références ultérieures à ces symposiums et colloques seront données sous la forme (RG n) n étant le numéro d'ordre de la publication dans la liste de Références Générales.

Un traité intitulé 'Astrophysique et Astronomie Stellaire' est publié par l'Académie des Sciences de l'U.R.S.S. Le tome III contient une description de la physique solaire par cinq spécialistes éminents. Une monographie sur la couronne solaire et le rayonnement corpusculaire dans l'espace interplanétaire a été éditée sous la direction de Vsekhviatsky (11). Un excellent livre sur la couronne a été récemment publié par Billings (12).

LE SPECTRE CONTINU SOLAIRE

Les efforts pour parvenir à une courbe d'énergie précise du continuum solaire au centre du disque se poursuivent activement. Labs annonce une publication (1) récapitulant l'ensemble des résultats de son programme. Une calibration en unités absolues du continuum adoptée dans les Atlas photométriques du spectre solaire de l'Observatoire d'Utrecht et de l'Observatoire de Göttingen sera établie.

Peyturaux a terminé en 1965 ses comparaisons de Soleil au corps noir pour le domaine spectral visible, mais seuls des résultats préliminaires ont été publiés (2). L'extension de ces mesures absolues jusqu'à 15μ est prévue.

En U.R.S.S., l'Institut Sternberg est particulièrement actif dans ce domaine. Murashova et Sitnik (3) donnent les résultats d'une série d'observations obtenues en 1957-59 et les comparent à ceux de 1952-55. Ultérieurement Sitnik combine ses résultats en une courbe unique pour $\lambda\lambda$ 3280-12 500 Å (4) et présente des mesures dans l'IR (2.7 to 5μ) (5). Il discute de la meilleure méthode pour contrôler la stabilité de la transparence du ciel (6). Enfin de nouvelles observations pour $\lambda\lambda$ 3100-6600 Å sont effectuées par Makarova (7). Le même auteur a discuté les données disponibles, lesquelles présentent des écarts systématiques très importants (8). Lambert et Willstrop (9) ont cherché à établir la courbe d'énergie solaire en combinant leurs mesures absolues des étoiles avec la magnitude V et la couleur $B-V$ du Soleil.

Houtgast (10) a publié les résultats de ses mesures absolues portant sur 32 'fenêtres' du domaine 3000-4000 Å. Il trouve une discontinuité de Balmer $\Delta \log I \simeq 0.03$ en contradiction avec la valeur 'classique' d'environ 0.12.

Un grand intérêt s'attache à l'extension de la courbe d'énergie solaire à l'IR lointain, ce qui nécessite des observations en ballon. Les résultats déjà obtenus par Murcraey *et al.* (11) et par Beer (12) indiquent que la température de brillance moyenne du disque solaire décroît de 5400° à 4270° entre $\lambda = 4 \mu$ et $\lambda = 100 \mu$.

L'assombrissement centre-bord dans l'IR constitue un test très sensible du modèle thermique des couches supérieures de la photosphère. Des prédictions ont été faites pour divers modèles par Léna (13) et par Noyes *et al.* (14). Pour l'instant les mesures disponibles ne s'étendent que jusqu'à 10.2μ (Pierce) mais imposent déjà des limitations strictes aux modèles.

Le même problème peut être étudié par l'analyse du continuum UV mais la théorie du coefficient d'absorption est alors plus difficile (cf. Matsushima, RG 7). Blamont et Bonnet (15) ont tracé les courbes d'assombrissement à 2880, 2660 et 2190 Å grâce à des images en lumière filtrée obtenues en fusée. Des travaux plus récents du même groupe montrent que le domaine spectral 3000-2000 Å est accessible aux ballons sondes ce qui permet l'emploi d'instruments plus importants et mieux stabilisés.

La dépression du continuum solaire à 2085 \AA a été discutée quantitativement par Kodaira (16) qui l'attribue à la discontinuité d'ionisation de Al I à partir du niveau $3p^2P_0$.

De nouvelles mesures d'assombrissement dans le spectre visible et le proche UV ont été obtenues au Pic du Midi par Mouradian (17), elles s'étendent jusqu'à $\mu = 0.10$. Le même auteur (*loc. cit.*) a appliqué la méthode d'Unsöld lors de l'éclipse partielle du 15 Février 1961 pour déterminer le profil du bord lui-même. Les résultats demeurent assez incertains mais la méthode pourrait conduire à de bons résultats si les observations étaient obtenues par 'très bonnes images', comme ce fut le cas au Pic du Midi le 20 Mai 1966 (Rösch, RG 10).

Diverses méthodes de détermination du profil du bord par photométrie d'une portion de croissant au voisinage des contacts intérieurs d'une éclipse totale ont été appliquées par Kristenson (18) et par Heintze (19) (ainsi que par plusieurs expérimentateurs à l'éclipse du 20 Mai 1966). Ce dernier auteur trouve un anneau brillant assez prononcé, ce qui le conduit à un modèle pour lequel le minimum de température se situe à une profondeur optique assez grande, $\tau_{5000} = -0.07$. Ce modèle est incompatible avec l'assombrissement centre-bord à 10μ .

La question d'éventuelles différences thermiques entre les pôles et l'équateur du Soleil continue d'être à l'ordre du jour, les observateurs employant d'ailleurs aussi bien des mesures des largeurs équivalentes et intensités centrales des raies de Fraunhofer que des mesures du continuum, comme critère de température. Selon Mulders et Slaughter (20), l'écart thermique éventuel est insignifiant. Il en est de même pour Appenzeller et Schröter (21) qui donnent une limite supérieure de 6° . Un programme de comparaison pôle-équateur a été entrepris par Houtgast (non publié).

Les remarques de K. H. Böhm (cf. Rapport précédent) sur le contenu d'information des lois de variations centre-bord de l'intensité émergente ont donné lieu à quelque controverse (22, 23). Par ailleurs une élégante méthode d'inversion de la relation $I(\mu) \leftrightarrow S(\tau)$ a été proposée par Delache (24).

Notons enfin que les travaux récents d'interprétation du continuum solaire ont bénéficié des nouveaux calculs détaillés des coefficients d'absorption continue effectués par Bode (25).

ATLAS ET TABLES DU SPECTRE DE FRAUNHOFER. IDENTIFICATIONS

Mrs Moore-Sitterly annonce que Minnaert, Houtgast et elle-même . . . 'have now concluded our publication of the Second Revision of Rowland's preliminary table of solar spectrum wavelengths. This compendium is in press and should be in print before 1967. The title is "The Solar Spectrum 2935 \AA to 8770 \AA ". It contains approximately 24 000 lines, and includes a number of new lines. Measured equivalent widths from the records of the Utrecht Photometric Atlas replace the Rowland estimated line intensities. Reduced widths derived from these directly measured equivalent widths are listed. Other columns indicate the spot behavior of the atomic lines, and give revised identifications as to chemical origin of the lines. For classified atomic lines the lower excitation potential and multiplet number are listed. For molecular lines the rotation branch and quantum number, and the vibration band are indicated. Complete band designations are entered in notes. About 73% of the lines are wholly or partially identified. This volume will appear as Monograph 61 of the National Bureau of Standards (349 pp).'

La préparation du nouvel atlas photométrique du spectre solaire, commencée par Delbouille, Neven et Roland à l'aide du spectromètre à double passage installé au Jungfraujoch par l'équipe de l'Institut d'Astrophysique de Liège, est très avancée. Un rapport spécial sera présenté à la Commission par les auteurs.

A Kitt Peak, on a entrepris une nouvelle détermination de l'échelle des longueurs d'onde du Catalogue de Rowland révisé et de son extension à l'IR.

Pierce annonce en outre la publication d'un catalogue de plusieurs milliers de raies observées en émission à l'extrême bord du Soleil, raies dont la plupart sont dues aux terres rares.

Il est clair que l'exploration du spectre solaire ne sera jamais achevée, car toute amélioration technique (résolution, rapport signal/bruit du récepteur photographique ou photoélectrique) fait apparaître des raies nouvelles. Sur un spectre obtenu à Sacramento Peak et couvrant seulement 5 Å (5047.2–5052.9) l'auteur de ce rapport a compté 22 raies qui ne figuraient pas dans la Première Révision du Catalogue de Rowland! Un travail systématique de recherche des raies faibles est dû à Ahmad Kiasatpoor qui a publié pour le domaine $\lambda\lambda$ 6000–7000 un catalogue contenant de très nombreuses raies nouvelles (1). Blackwell nous annonce l'obtention à Oxford de spectres solaires où le rapport signal/bruit est poussé jusqu'à la limite imposée par le nombre de photons.

On assiste à un regain d'intérêt pour le problème de l'identification des raies du spectre de Fraunhofer. Grâce à de nouvelles données de laboratoire, Swensson (2) a révisé l'identification du spectre de Mg I et attribué à cet atome 91 raies solaires jusqu'alors non identifiées. Le même auteur trouve 26 raies de P I dans le proche IR (3) et étudie les raies de l'azote dans le même domaine spectral (3 bis). Grevesse (4) discute de l'identification du bismuth.

La présence de raies interdites dans le spectre de Fraunhofer a été abondamment étudiée. Kodaira (5) considère le cas de [Fe II]. Les raies prédites de cet élément ont été systématiquement recherchées par J. P. Swings sur des enregistrements photoélectriques à haute résolution obtenus au Jungfraujoch: une vingtaine de raies très faibles peuvent être attribuées à [Fe II] et deux autres à [Ni II] (6, 7).

Les observations modernes mettent en évidence des particularités intéressantes du spectre de Fraunhofer. Ainsi des dépressions diffuses à 6362, 6344 et 6319 Å sont attribuées par Mitchell et Mohler à des multiplets de Ca I en présence d'auto-ionisation à partir du niveau supérieur (8). Selon Swensson (9), les profils larges et complexes de certaines raies de Mn I vers 8700 Å peuvent être expliqués par la structure hyperfine. Aller indique que les profils des raies de C I dans le visible sont anormalement larges, ce qui pourrait être dû à la formation de quasi-molécules CH.

L'étude spectroscopique du Soleil dans l'UV et l'EUUV se poursuit activement et de grands progrès ont été faits dans l'identification de ce domaine spectral. Une revue récente est due à Tousey *et al.* (RG 3). Comme le spectre d'émission de l'EUUV est dû à la couronne ou à la couche de transition, on trouvera de nombreuses références sur ce domaine spectral dans les parties de ce rapport consacrées aux couches extérieures de l'atmosphère solaire (cf. ci-dessous). Pottasch (10) a préparé une revue très détaillée des problèmes de l'interprétation du spectre EUV. Goldberg *et al.* (11) discutent la question de l'identification de CO dans l'UV.

Il est particulièrement satisfaisant que de nouvelles équipes scientifiques de divers pays soient maintenant en mesure de contribuer à la spectroscopie 'spatiale' du Soleil. De bons spectres du domaine 2500–1000 Å ont été obtenus par Black *et al.* (12). Par la suite la même équipe de Culham Laboratory a réussi à photographier le spectre de la chromosphère-couronne de 850 à 2950 Å, la fente étant maintenue à 10" du limbe avec une précision de 2". Le spectre montre un continuum chromosphérique et de très nombreuses raies d'émission dont l'identification est en cours; des résultats préliminaires ont été publiés par Burton et Wilson (13).

En Grande-Bretagne également, une équipe de l'Université de Leicester a obtenu de remarquables résultats dans la spectrographie des rayons X solaires (région 25–111 Å). L'Observatoire d'Utrecht a développé un spectromètre de résolution élevée pour le domaine 44–64 Å. Enfin en France, Bonnet (Service d'Aéronomie du CNRS) a obtenu le spectre du limbe solaire dans le domaine 3000–1900 Å à l'aide d'un coronographe embarqué sur fusée-sonde.

LONGUEURS D'ONDE. ROTATION. CIRCULATION.

La question des longueurs d'onde des raies de Fraunhofer sous l'effet de la rotation, de l'astre, du déplacement relativiste et des diverses autres causes de décalages systématiques, a

fait l'objet de nombreux travaux en U.R.S.S. De nouvelles observations spectroscopiques de la rotation solaire ont été effectuées par Aslanov (1, 2). Le même auteur a préparé un 'Catalogue des déplacements et des profondeurs optiques des raies de Fraunhofer dans l'atmosphère solaire' (3) en vue de l'étude du déplacement relativiste (4, 5).

La discussion de Melnikov (6) montre que les variations systématiques du décalage des raies avec leur intensité, le potentiel d'excitation et la longueur d'onde peuvent se ramener à un effet de hauteur dans l'atmosphère solaire, lié aux variations du champ de vitesses. Après correction de cet effet on obtient un parfait accord avec la théorie de la relativité.

Dans un travail déjà cité plus haut, Appenzeller et Schröter ont obtenu la variation centre-bord des longueurs d'onde de plusieurs raies. Roddier (cf. ci-dessous) a mesuré le profil des raies de résonance de Sr I, Ba I et Ca I par la méthode du jet atomique dans une échelle absolue de longueur d'onde. Il serait sans doute très utile d'étendre des mesures de ce type à un grand nombre de raies, car les problèmes des 'longueurs d'onde', des profils asymétriques et de la structure hétérogène de l'atmosphère solaire sont indissolublement liés.

Il est intéressant de signaler ici les travaux relatifs à la circulation générale des couches superficielles du Soleil, bien que ces mouvements semblent difficiles à mettre en évidence par la spectroscopie et ne soient révélés que par l'analyse du mouvement des taches.

Une telle analyse a été effectuée par Ward (7, 8, 9) qui montre la présence d'une corrélation marquée entre les mouvements propres en latitude et longitude des taches (données de Greenwich) et présente un modèle de circulation sans symétrie axiale constitué d'un ensemble d' 'ondes' qui transportent un certain moment angulaire de l'équateur vers le pôle. Les aspects énergétiques de ce modèle ont été discutés par Starr et Gilman (10, 11).

La théorie de la rotation différentielle, basée sur l'hypothèse de Biermann qui l'attribue à la viscosité non isotrope des éléments turbulents dans la zone convective, a été développée par Sakurai (12); il critique le traitement antérieur de Kippenhahn et aboutit à un bon accord avec la loi de rotation observée. La théorie de la rotation dans les couches internes du Soleil en équilibre radiatif a été traitée par Rubashev (13), par intégration numérique des équations exprimant le bilan du moment angulaire (équations de Jeans).

LA PHOTOSPHÈRE

(a) Granulation. Structures cinématiques et magnétiques

Le nombre des recherches expérimentales nouvelles sur la granulation est relativement faible, sans doute parce que tous les spécialistes sont conscients de l'extrême difficulté d'obtenir des documents suffisamment bons pour mériter une étude quantitative! Le point des connaissances actuelles sur la granulation a été fait dans une monographie de Bray et Loughhead (1).

A Poulkovo, Vassiljeva et Yudina (2) ont mesuré photoélectriquement les fluctuations de brillance de la surface solaire simultanément pour deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 : la corrélation entre les fluctuations observées décroît fortement quand l'écart $\lambda_2 - \lambda_1$ augmente. Ce résultat est confirmé par Krat et Petrova qui utilisent une technique photographique (3). Ces auteurs esquissent une explication basée sur la propagation de perturbations de longueur d'onde 10^3 km à partir des éléments convectifs. Cependant, les deux méthodes ayant une constante de temps très courte, il n'est pas impensable que des effets de *distorsion aléatoire* de l'image due à l'atmosphère terrestre affectent les résultats.

Le spectre de puissance à deux dimensions (fréquences spatiale et temporelle) a été déterminé par Lévy (4) à l'aide d'un excellent film de granulation obtenu au Pic du Midi. Dans ce travail, les effets de distorsion atmosphérique évoqués ci-dessus se sont révélés très gênants et limitent la signification des résultats aux hautes fréquences spatiales. L'auteur

confirme la présence d'une faible composante oscillatoire dans les fluctuations de brillance de la photosphère, composante dont l'existence probable a été annoncée par Edmonds et McCullough (5).

Rösch (RG 10) a présenté de remarquables images de la granulation obtenues au Pic du Midi lors de l'éclipse partielle du 20 Mai 1966. On pourra obtenir le 'profil instrumental' de la combinaison atmosphère-télescope grâce à l'étude du bord lunaire et établir ainsi une photométrie plus rigoureuse des granules.

A Sacramento Peak, Beckers (RG 10) a étudié les fluctuations de brillance photosphérique d'une échelle plus grande que la granulation. Il obtient un spectre de puissance aux basses fréquences spatiales qui ne montre aucune fréquence privilégiée, contredisant ainsi les résultats anciens de Stuart et Rush, et suggérant que la supergranulation n'a pas d'effet sur le spectre continu photosphérique.

En revanche le phénomène cinématique de supergranulation a pu être corrélé avec d'autres structures. Simon et Leighton (6) ont montré que les détails brillants du réseau des spectro-héliogrammes K_{232} , ainsi que les champs magnétiques associés, tendent à apparaître aux frontières des cellules de la supergranulation. Celle-ci serait le résultat d'une convection non-stationnaire dont les éléments refouleraient le champ magnétique à leur périphérie selon le mécanisme proposé par Parker. Simon (RG 5) a mis en évidence les vitesses verticales faibles dans la photosphère aux frontières des supergranules et a trouvé (RG 10) que les granules sont entraînés dans le mouvement général de la photosphère associé à la supergranulation. Quelques observations de la supergranulation ont été obtenues à Meudon (7).

L'étude du champ de vitesses verticales dans l'atmosphère solaire a été étendue à la photosphère profonde par Edmonds, Michard et Servajean (8) qui ont étudié sur un film pris par Evans à Sacramento Peak les fluctuations de vitesse, intensité centrale et largeur équivalente pour la raie 5052 C I, en corrélation avec d'autres raies de niveaux plus superficiels. Outre les oscillations, une importante composante 'convective' est présente dans les couches profondes. Les mesures spatio-temporelles de vitesse radiale effectuées sur les films de Sac'Peak ont été analysées à nouveau par P. Mein (9) qui a obtenu des spectres de puissance à deux dimensions directement comparables aux diagrammes diagnostiques de la théorie des ondes. Cette analyse confirme la séparation en plusieurs composantes du champ de vitesses; elle montre l'absence de propagation horizontale des oscillations, question que l'auteur discute par une méthode nouvelle.

Edmonds étudie à nouveau sur plusieurs séries de mesures le problème des corrélations entre vitesses verticales et granulation (10). D'autre part il examine les écarts à une loi gaussienne des fonctions de distribution des fluctuations de brillance et de vitesse de la photosphère. Ces écarts sont faibles mais significatifs (11). Selon cet auteur, les variations des propriétés statistiques des structures fines solaires selon l'échantillon considéré excèdent les limites permises par divers critères de signification, et l'on doit envisager des variations locales ou temporelles de ces propriétés.

Dans ce sens, Orrall (12) a montré que les propriétés des oscillations photosphériques sont pratiquement les mêmes dans les régions brillantes du réseau K_{232} (autre que les plages proprement dites) que dans les régions normales. Ultérieurement (13), il a étudié les vitesses radiales dans la raie K_3 elle-même, obtenant leur spectre de puissance qu'il compare avec les données relatives aux raies de profondeur de formation supérieure.

Les structures chromosphériques dans les raies de Balmer et H et K sont aussi discutées par Sivaraman et Vainu Bappu (non publié) et par Dodson-Prince et Mohler (RG 10).

L'étude de la structure fine des champs magnétiques dans l'atmosphère solaire *hors des régions actives* a été poursuivie par plusieurs auteurs. Vasiljeva (14) étudie ces structures du point de vue statistique: fluctuations de vitesses et fluctuations magnétiques ne sont pas

corrélées. Krat et Vjalshin comparent les champs et les vitesses en $H\beta$ (15). A Kitt Peak, Livingston a mesuré simultanément la structure du champ en $H\alpha$ et 6569 Fe I; pour le domaine $5 < H < 100$ gauss les champs photosphérique et chromosphérique sont parfaitement corrélés et égaux. Des observations à très haute résolution de Beckers et Schröter confirment que, loin des régions actives, le champ fluctuant est concentré en points isolés de 3 à 5" ayant un champ de plusieurs dizaines de gauss, non corrélé aux vitesses radiales ou à la granulation photosphérique (16).

Une attention particulière a été portée aux champs polaires. Severny décrit ainsi ses résultats (17, 18, 19): 'The examination of general magnetic field of the Sun carried out with high resolution ($2'' \times 5''$) showed that there exists no coherent field. General m.f. of the Sun consists of a number of small ($5''$ of arc and less) elements of different polarity, field strengths and size. The net (mean) magnetic field on S-pole were absent since the summer 1963 up to September 1964, when weak m.f. of N-polarity appeared (+ 1, 1 gauss). On the northern polar cap and in northern hemisphere the field of S-polarity predominated for this period with the mean strength 4–5 gauss. The net magnetic flux at N-pole and in N-Hemisphere was negative due to the larger sizes of S-elements in N-Hemisphere, so that the ratio of these fluxes were:

$$F_{-}(N) : F_{+}(N) : F_{-}(S) : F_{+}(S) = 2 : 0,5 : 1 : 1.$$

'In 1965 this ratio was variable and the net flux for the whole disk was sometimes negative or positive. The observed distribution of general m.f. with latitude cannot be described by a dipole field or by the field of uniformly magnetized sphere.'

Cette description est pleinement en accord avec les résultats de Livingston (20), Grigorjev et Stepanov (21) et Stenflo (22).

Bumba *et al.* (26) ont utilisé les magnétogrammes du Mount Wilson pour calculer comment le Soleil apparaîtrait en tant qu'étoile variable magnétique vue dans son plan équatorial.

Des revues de la question des structures fines de l'atmosphère solaire ont été publiées par Michard (23) (RG 6) et par Noyes (RG 5). Dans la référence (RG 5) on trouvera aussi d'importantes mises au point théoriques par Spiegel, Böhm, Moore, Lighthill, Rybicki. On notera aussi la revue de Pikelner (24) et, sur la question des champs magnétiques, celle de Severny (25).

Dans le présent rapport, les travaux théoriques sont plus spécialement traités dans un paragraphe ultérieur.

(b) Profils et largeurs équivalentes des raies de Fraunhofer

Les problèmes évoqués dans les paragraphes (b) (c) (d) de ce rapport sont évidemment étroitement liés. Nous n'avons pu éviter un certain arbitraire dans la répartition des travaux cités entre ces trois rubriques.

De Jager et Neven (1) ont terminé leur programme d'enregistrement au spectromètre du Jungfraujoch des profils de 50 raies environ du proche IR, observées pour 6 positions sur le disque, de $\mu = 0,30$ à $\mu = 1$. Les mêmes auteurs et Namba ont étudié le profil de 10 830 He I sur la photosphère normale (2). Les résultats sont interprétés à l'aide d'un modèle hétérogène de la chromosphère. Le délicat problème de la correction de l'effet du profil instrumental est discuté par De Jager et Neven (3).

Les données sur les profils du multiplet 10 700 C I de $\mu = 1$ à $\mu = 0,3$ publiées par ces mêmes auteurs (4) leur ont servi d'exemple pour exposer une méthode d'analyse 'empirique' des profils qui permet en principe de déterminer un paramètre de macroturbulence (modèle à 2 colonnes), l'abondance, l'amortissement, la fonction-source et la microturbulence (5). La macroturbulence est tirée de l'asymétrie des profils par une procédure un peu sommaire

dont la validité a été discutée par Kulander et Jefferies (6). Les longueurs d'onde précises de ce même multiplet de C I ont été déterminées à Göttingen par Brückner.

Olson (20) a discuté les asymétries observées des raies de Fe I, O I et C I (données de Jager et Neven). Il montre que les oscillations photosphériques ne jouent qu'un rôle négligeable dans l'asymétrie. Un modèle de vitesses convectives variables avec la profondeur rend compte de l'ensemble des observations.

Les profils des raies de Balmer $H\alpha$ à $H\delta$ ont été mesurés, au centre du disque et au bord ($\sin \theta = 0.99$), et discutés par Kuli-Zade (7) qui obtient un bon accord entre observation et théorie. Le même auteur (8) a effectué des observations similaires pour diverses raies très fortes du spectre de Fraunhofer: raies D de Na I, b de Mg I, 4227 Ca I, 3944 et 3961 Al I, H et K (voir aussi les références (9) et (10). Khetsuriani (11) a publié de nouvelles mesures photoélectriques des profils de 7 raies de Paschen ainsi que de la raie Brackett γ pour plusieurs positions sur le disque.

A Göttingen, Bubke a mesuré photoélectriquement en fonction de $\sin \theta$ les intensités centrales des raies du multiplet $a^3F - y^3F_0$ de Fe I (12). Il en déduit la variation de la température d'excitation avec la profondeur optique, température qui passe par un minimum de 3800 à 3900° vers $\log \tau_0 = -5.7$. Voigt a aussi mesuré les intensités centrales de raies de Ba I et II, Sr I et II, Eu I et II et des résultats préliminaires ont été publiés (13).

Une nouvelle courbe de croissance pour le centre du disque solaire a été déterminée par Cowley et Cowley (14) qui emploient les forces d'oscillateur de Corliss-Bozman et les largeurs équivalentes de 612 raies déterminées photoélectriquement à l'Observatoire MacMath.

E. A. Müller, Baschek et Holweger signalent qu'un programme d'observations centre-bord et d'analyse des profils de raies permises et interdites de l'oxygène est en voie d'achèvement: les auteurs cherchent à déterminer le modèle thermique et le modèle de turbulence qui rendent compte au mieux des observations. Une comparaison entre modèles et observations des largeurs équivalentes de quelques raies de Ti a été effectuée par Nissen (15).

L'étude des bandes moléculaires du spectre de Fraunhofer a été l'objet de bien des travaux au cours des trois dernières années. L'article de Schadee (16) sera très utile car il rassemble sous une forme claire et complète la plupart des notions physiques et des méthodes astrophysiques nécessaires à la discussion des spectres moléculaires dans le Soleil. En outre il passe en revue les identifications de nombreux composés dans le spectre de la photosphère normale en tenant compte de critères basés sur les intensités probables des raies correspondantes.

Les largeurs équivalentes de raies de CH au centre du disque ont été mesurées par Ruzickova-Topolova (17) qui détermine une température de rotation. Withbroe (18) a effectué, toujours pour la bande G de CH, un travail plus étendu comportant la mesure photoélectrique des largeurs équivalentes, mais aussi des profils de raies bien isolées, en fonction de la position sur le disque. Les observations peuvent être interprétées dans l'hypothèse de l'ETL à l'aide d'un modèle thermique dû à Elste et d'un modèle de turbulence.

Poletto et Rigutti ont étudié (19) deux bandes du système rouge de CN: ils trouvent une température de rotation et tentent une estimation de la force d'oscillateur de la transition électronique correspondante. A Kodaikanal, Nirupama Raghavan a observé photoélectriquement pour divers $\sin \theta$ les profils de raies choisies de CN et C_2 : il analyse les largeurs en termes de microturbulence et trouve une vitesse presque isotrope de 3 km s⁻¹ (non publié).

(c) *Théorie du spectre de Fraunhofer*

Une grande partie des travaux dans ce domaine continuent d'être centrés sur le problème des écarts à l'équilibre thermodynamique local (ETL), qui peut être considéré de deux points de vue différents:

— recherche empirique de contradictions auxquelles pourrait conduire l'approximation de l'ETL, et influence de cette approximation sur la détermination de diverses caractéristiques de l'atmosphère (en particulier les abondances);

— analyse théorique directe grâce à la solution simultanée des équations de l'équilibre statistique et des équations de transfert; la comparaison ultérieure aux observations permet de tester les diverses hypothèses de la théorie et le choix du modèle d'atmosphère.

Cette dernière approche est utilisée dans le cas des raies de Na I par Johnson (1) qui montre que l'écart à l'ETL est très faible dans la photosphère: les températures d'excitation trouvées empiriquement par le même auteur ne sont pas explicables par la théorie. Le problème a été repris par Chamaraux (2) qui obtient un bon accord entre profils calculés et profils observés pour les raies D. Selon Mugglestone (RG 8) le centre de ces raies est très influencé par les écarts à l'ETL.

L'analyse empirique des profils des mêmes raies D permet à Curtis (RG 8) de déterminer les fonctions-sources dans la raie et le continuum qui se révèlent égales pour $\tau(5000) > 0.01$. Par ailleurs Curtis détermine un paramètre d'élargissement Doppler très faible, explicable par le seul élargissement thermique en l'absence de toute turbulence appréciable.

Une analyse similaire a été faite pour le multiplet *b* de Mg I par Hénoux (3) d'après les profils observés en fonction de la position sur le disque par Waddell. La fonction-source est bien déterminée, mais le coefficient d'élargissement Doppler n'est pas en accord avec celui de Curtis. D'autre part Hénoux a mesuré les profils dans la basse chromosphère ($h < 1500$ km) et cherche à les interpréter avec la fonction-source obtenue sur le disque: les contradictions rencontrées ne pourraient être levées que par un modèle hétérogène de la basse chromosphère.

A propos de ces études empiriques des multiplets, notons qu'une controverse théorique sur la question de l'égalité des fonctions-sources dans les raies d'un multiplet a opposé Waddell et Athay (cf. les références dans le chapitre sur la Chromosphère).

Pour en revenir au traitement théorique, notons l'analyse des raies de résonance de Ca II et Mg II par Dumont (4), qui d'autre part perfectionne le traitement numérique du transfert hors ETL pour tenir compte de l'amortissement (5). Le cas de l'hydrogène est traité par Cuny (6) ainsi que par plusieurs autres auteurs (RG 7) dans le cadre d'une analyse théorique de l'atome à 3 niveaux.

La discussion empirique de l'approximation de l'ETL pour les raies métalliques a été considérée par de nombreux auteurs dans le cadre des recherches sur les abondances (cf. ci-dessous). Ici nous noterons plus spécialement l'établissement par Holweger (7) d'un modèle empirique de la photosphère et de la basse chromosphère basé sur les intensités centrales des raies de Fraunhofer: le modèle obtenu est à température constamment décroissante jusqu'à $\tau(5000) \simeq 10^{-6}$ ($T = 3900^\circ$). L'emploi d'observations et de valeurs *f* récentes conduit à des résultats compatibles avec l'approximation de l'ETL. L'étude des largeurs équivalentes conduit aussi Teplitskaya (8) et Pagel (RG 8) à des températures d'excitation très voisines des températures électroniques adoptées.

Mitropolskaya (9, 10, 11) applique la théorie de l'élargissement par effet Stark et effet de pression à ses observations des profils des raies de l'hydrogène $H\alpha$ et $H\beta$, Paschen β et Brackett γ . Un accord raisonnable est obtenu avec le modèle classique de de Jager; le cas des raies de Balmer dans les facules est aussi traité.

Pande et Sitnik (12) et Pande (13, 14) ont étudié les raies des bandes de CO dans la photosphère et insistent sur le fait que les molécules CO sont concentrées au voisinage du minimum de température. Les observations nouvelles (14) conduisent à une température de rotation pour CO.

Rachkovsky a poursuivi l'étude du transfert dans les raies en présence d'un champ magnétique (15). Le calcul numérique (16) conduit à des écarts significatifs entre les résultats de la théorie de Unno et de celle de l'auteur.

La discussion des profils des raies de Fraunhofer peut être améliorée ou simplifiée de diverses manières. On notera une discussion de la représentation du profil des ailes des raies fortes par Gussman (17) qui critique la formule à deux paramètres de Mattig et Schröter et lui préfère une formule à un seul paramètre. Le même auteur (18) présente une modification de la méthode des fonctions de poids permettant de simplifier son emploi.

Enfin, bien qu'il porte sur le cas stellaire, nous citerons ici un travail de Traving (19) qui étudie l'effet sur la courbe de croissance d'une épaisseur optique $\Delta\tau$ finie des éléments turbulents de l'atmosphère: il s'agit là d'une tentative bienvenue pour dépasser les concepts classiques de micro- et macroturbulence où $\Delta\tau$ est supposée nulle ou infinie.

(d) Abondances des éléments

Dans la mesure où un effort plus grand est fait pour la mesure des forces d'oscillateurs, la détermination de valeurs plus précises des abondances des éléments dans le Soleil devient possible et est activement poursuivie.

Ainsi les valeurs f de Corliss, Bozman et Warner ont été employées par Goldberg *et al.* (1) à une nouvelle estimation de l'abondance de Fe I. Leftus (2, 3) étudie en détail le cas du titane. Moyennant l'emploi des données les plus récentes sur les forces d'oscillateurs, les spectres de Ti I et Ti II conduisent aux mêmes abondances, et l'approximation de l'ETL semble tout à fait acceptable.

Nous avons reçu d'Aller un rapport sur un programme important de détermination des abondances dans le Soleil et certains types d'étoiles, programme auquel participent plusieurs astronomes. Les données solaires sont des profils mesurés, avec double passage sur le réseau, par Mitchell et Mohler (4) aux Observatoires MacMath et du Mount Wilson. Le programme comporte une étude approfondie des causes d'erreurs d'ordre physique (valeurs f) et astrophysique: cf. Aller *et al.* (5) et la revue détaillée de Aller (6). Mugglestone et O'Mara (7) ont montré que l'élargissement par amortissement (effet Stark et effets de pression) peut jouer un rôle notable dans l'estimation des abondances, ce qui conduit à rejeter la méthode des fonctions de poids. Les auteurs préfèrent le calcul complet des profils à l'aide de deux modèles thermiques extrêmes avec variation de l'abondance jusqu'à ce que le profil calculé s'accorde au profil observé. Pour le cas des raies faibles où l'on rencontre souvent le problème des 'blends' la méthode comporte également le calcul d'un spectre 'synthétique' couvrant l'ensemble du 'blend'. Aller note que 'the effects of uncertainties in the f -values mask the errors which may arise from the uncertainties in the model or theoretical treatment'. Ceci conduit à un programme de calculs quantiques des probabilités de transition, calculs très difficiles mais possibles pour certains métaux comme Al et Mg: cf. Chapman *et al.* (8). Aller communique aussi des valeurs préliminaires d'abondances pour Ru, In, Au.

Les abondances des terres rares ont été étudiées par A. Righini et Rigutti (9) ainsi que par Wallerstein (10). De nouvelles mesures de largeurs équivalentes conduisent Grevesse (11) à réviser légèrement l'abondance admise pour le strontium.

Le lithium, représenté seulement par sa faible raie de résonance fortement 'blendée' à 6708 Å, pose un problème intéressant discuté par Lynds (12). Cependant Dubov (13) a remarqué que la raie 6708 est très renforcée dans les taches solaires, ce qui permet une détermination meilleure de l'abondance. La question a été reprise par Schmahl et Schröter (14); une analyse soignée montre que l'abondance de Li est supérieure à la valeur admise antérieurement; le rapport isotopique Li^6/Li^7 est de l'ordre de 5%.

E. A. Müller nous annonce les premiers résultats d'un programme étendu de recherches sur les abondances poursuivi en collaboration avec Mutschlecner. Le cas du nickel a été traité par l'analyse des largeurs équivalentes observées en plusieurs positions sur le disque: une même abondance représente correctement les spectres obtenus du centre au bord et les raies de divers potentiels d'excitation. D'autre part le même auteur passe en revue les problèmes des abondances solaires dans deux publications récentes (RG 4, RG 6).

Sur la base d'observations et de données de laboratoire nouvelles, L. Herzberg, Delbouille et Roland montrent que les raies de $C^{13}N$ sont indécélables dans le spectre de Fraunhofer et obtiennent une limite inférieure du rapport C^{12}/C^{13} (16).

Gökdoğan et Pecker (15) ont signalé que deux multiplets de Fe I conduisent à des courbes de croissance distinctes, ce qui jetterait quelques doutes sur la détermination des abondances par la méthode classique. L'amélioration des observations et des forces d'oscillateurs disponibles tend à réduire les discordances que Pecker et ses collaborateurs attribuaient aux écarts à l'ETL: mais la mise en garde demeure salutaire!

(e) Modèles et théories de la photosphère et de la zone convective

Il n'existe pas actuellement de 'modèle' de la photosphère susceptible de rendre compte de l'ensemble des faits d'observation. A fortiori n'existe-t-il pas de modèle qui aurait *en outre* l'avantage d'être basé sur une interprétation physique complète et cohérente. Il est vrai que si un tel modèle existait la physique de l'atmosphère solaire normale serait 'achevée'!

Heintze *et al* (1) ont proposé un nouveau modèle empirique, le 'Utrecht Reference Model of the solar photosphere and low chromosphere' en vue de faciliter la comparaison et la discussion de résultats obtenus par l'analyse des divers types d'observations. Il est certain que l'emploi d'un tel modèle de référence présente des avantages considérables à condition que ce modèle soit fréquemment révisé. Une première révision sera préparée à l'issue de discussions prévues pour 1967 d'une part à Utrecht (International Study Week on the Quiet Photosphere), d'autre part au sein de la Commission 12.

L'équilibre radiatif dans la photosphère a été discuté par Waddell sur la base des observations du continuum solaire, en considérant le flux d'énergie et aussi le flux de photons (2). Gingerich a calculé un nouveau modèle en équilibre radiatif de la photosphère en tenant compte soigneusement de l'effet de blanketing (14): des écarts notables et inexplicables subsistent avec les observations de la courbe d'énergie solaire. Frisch (15) étudie l'influence des fortes raies de Fraunhofer sur l'équilibre radiatif dans les couches supérieures où il n'y a plus équilibre thermodynamique local.

Cependant les contributions les plus importantes aux problèmes de transfert dans la photosphère portent sur l'interprétation des fluctuations locales du rayonnement émergent. Wilson (3, 4) traite cette question en vue de l'interprétation des données sur la variation centre-bord des écarts quadratiques moyens de brillance dans la granulation en termes de fluctuations de température. L'analyse du même problème par Edmonds (16) conduit à des fluctuations thermiques qui croissent régulièrement avec la profondeur et atteignent une valeur quadratique moyenne de 450° (à τ constant) vers $\tau = 1.3$ ou 740° à profondeur géométrique constante. Dans un article plus récent (5) Wilson montre que les *valeurs moyennes* de la fonction-source S dans la photosphère déduites des valeurs moyennes de l'intensité émergente en appliquant l'équation de transfert de l'atmosphère homogène (négligeant la granulation) ne sont pas correctes, parce que les relations entre S et T , et surtout entre τ et T , ne sont pas linéaires. Une analyse entièrement cohérente du spectre continu solaire compte tenu de ses fluctuations locales reste à faire.

Des méthodes mathématiques pour l'analyse du transfert de rayonnement dans un milieu fluctuant ont été développées par Rybicki (6). Il établit les équations qui lient les fluctuations

d'opacité et d'énergie locale (décrites par leurs fonctions de corrélation) aux fluctuations du champ de rayonnement, en particulier du rayonnement émergent. La méthode s'applique donc au cas où une partie de l'énergie n'est pas sous forme radiative. La théorie suggère que certaines fluctuations spatiales à grande échelle du rayonnement émergent sont liées à l'épaisseur de la couche convective plutôt qu'à l'échelle adoptée pour la convection.

De nouveaux efforts sont déployés pour obtenir une théorie hydrodynamique meilleure de la zone convective et on consultera avant tout dans ce domaine les mises au point de Spiegel et Böhm (RG 5). Dans un travail non encore publié Böhm a développé une méthode pour analyser les modes convectifs compte tenu de l'influence de la viscosité et de la conductivité thermique liées à la turbulence, ainsi que des échanges radiatifs; la méthode permet une évaluation du spectre d'énergie des modes convectifs.

De nombreux travaux ont été entrepris en vue d'expliquer les observations des oscillations photosphériques et d'analyser la propagation et la dissipation dans l'atmosphère solaire des divers modes possibles.

Kato (7) a calculé le spectre du champ acoustique produit dans une zone de convection turbulente et modifié par son transfert dans l'atmosphère stable. Le spectre obtenu a un pic au voisinage de la fréquence critique. Par ailleurs le même auteur a analysé la réponse d'une atmosphère stable à une perturbation ayant une source ponctuelle, perturbation harmonique (8) ou impulsive (9).

Uchida (10) a étudié la propagation des divers modes d'ondes gravitationnelles et aérodynamiques dans une atmosphère non isotherme et trouve que certains modes de période 300 s sont piégés dans la couche voisine du minimum de température. Il décrit d'autre part (11) l'excitation des oscillations par les mouvements des granules. Enfin Uchida étudie (12) la propagation dans la couronne de perturbations magnéto-hydrodynamiques: l'intersection du front de l'onde rapide avec la surface solaire parcourt cette dernière à une vitesse de 10^8 km s^{-1} et peut être identifiée aux perturbations se propageant à partir des éruptions solaires (films de Moreton, Lockheed Solar Observatory).

Souffrin (13) a étudié le 'filtrage' par une atmosphère convectivement stable du champ de vitesse aléatoire qui est imposé à sa base par une couche convective sous-jacente. L'atmosphère se comporte comme un filtre coupant les basses fréquences et le spectre des oscillations photosphériques peut être expliqué comme conséquence de ce filtrage. La dissipation radiative s'oppose à l'existence d'ondes de gravité dans la photosphère.

Enfin Meyer et Schmidt (RG 10) ont analysé la réponse de l'atmosphère stable à l'excitation par un 'granule', considéré comme un soulèvement local de la couche limite inférieure. Pour un choix convenable des paramètres décrivant ce granule, il y a excitation des modes d'oscillations propres de l'atmosphère; la solution numérique permet d'interpréter les oscillations observées.

INSTRUMENTS

On notera avec satisfaction la multiplication des grands instruments solaires modernes.

Dans l'île de Capri le Fraunhofer Institut a installé un télescope d'une conception révolutionnaire dont on trouvera la description par Kiepenheuer et Mattig dans la référence (RG 10). Un magnétographe photoélectrique permettant de mesurer le vecteur champ magnétique lui est associé (Deubner, RG 10).

A l'Observatoire Astrophysique de Crimée le magnétographe a été adapté à la mesure des champs transverses (Bruns *et al.* (1)) ainsi qu'à la mesure des composantes longitudinales pour deux raies. Les mêmes facilités existent à l'IZMIRAN (Joschpa, Obridko (2)). D'autre part le spectromètre à double passage pour la mesure des profils des raies de Fraunhofer à Poulkovo est décrit par Karpinsky (3).

Livingston a établi un remarquable magnétographe en association avec le télescope McMath de l'Observatoire de Kitt Peak. Deux raies peuvent être mesurées simultanément; avec 5250 Fe I le bruit est seulement de 0.5 gauss pour un trou d'exploration de 1" × 1" et une constante de temps de 1 s. L'appareil peut être aussi adapté à la mesure des trois composantes du vecteur champ.

A Kodaikanal également un magnétographe photoélectrique a été construit par Battacharya.

A Meudon un laboratoire de spectroscopie solaire à télescope horizontal ($D = 40$ cm, $F = 13$ m) construit par G. Wlérick est entré en service en 1965. Le même auteur dirige la construction de la nouvelle tour solaire ($D = 60$ cm, $F = 45$ m) qui pourra être utilisée en 1967-68. Un nouveau coronomètre photoélectrique amélioré, construit par P. Charvin, doit être installé à l'Observatoire de Nice.

Enfin à Sacramento Peak la nouvelle tour solaire sera la première à comporter un télescope dans le vide, ainsi que nombre de particularités révolutionnaires. Sa construction est activement poursuivie sous la direction de Dunn et Evans.

Nous avons aussi été informé de nouvelles réalisations instrumentales pour l'étude du Soleil à Edinburg (Brück), à Kanzelhöhe (Mathias) et à Arosa où un nouveau coronographe a été installé (Waldmeier).

BIBLIOGRAPHIE

Références Générales

1. *The solar spectrum*, Ed. C. de Jager, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1965.
2. *Stellar and solar magnetic fields*, Ed. R. Lüst, IAU Symposium no. 22, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 1965.
3. *Astronomical observations from Space vehicles*, Ed. J. L. Steinberg, IAU Symposium no. 23, in *Ann. Astrophys.*, 27, 28; also in book from Publ. CNRS, Paris, 1965.
4. *Abundance determinations in stellar spectra*, Ed. H. Hubenet, IAU Symposium no. 25, Acad. Press, London and New York, 1966.
5. *Cosmical gas dynamics*, Ed. R. N. Thomas, IAU Symposium no. 28, Acad. Press, London and New York, 1967.
6. *Solar physics*, Ed. J. Xanthakis, John Wiley and Sons Ltd., London, in press.
7. First Harvard-Smithsonian Conference on stellar atmospheres, Cambridge, Mass., 1964, *Smithson. Inst. astrophys. Obs.*, spec. Rep., no. 167, 1964.
8. Second Harvard-Smithsonian Conference on stellar atmospheres, Cambridge, Mass., 1965, *Smithson. Inst. astrophys. Obs.*, spec. Rep., no. 174, 1965.
9. *Campi magnetici solari e la spettroscopia ad alta risoluzione*, Ed. M. Cimino, Barberi, Firenze, sous presse.
10. *The fine structure of the solar atmosphere*, Ed. K. O. Kiepenheuer, Forschungsberichte Deuts. Forschungsgemeinsh., F. Steiner Verl. Wiesbaden, 1966.
11. *Solar corona and corpuscular radiation in interplanetary space*, S. K. Vsekhviatsky et al., Kiev University, 1965.
12. Billings, D. E. *A guide to the solar corona*, Acad. Press, London, New York, 1966.

Le spectre continu solaire

1. Labs, D. *Z. Astrophys.*, sous presse.
2. Peyturaux, R. 1964, *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 258, 1159.
3. Murashova, M. S., Sitnik, G. F. 1963, *Astr. Zu.*, 40, 819.
4. Sitnik, G. F. 1965, *Astr. Zu.*, 42, 59.
5. Sitnik, G. F. 1965, *Astr. Cirk.*, no. 344, 1.
6. Sitnik, G. F. 1965, *Astr. Zu.*, 42, 996.

7. Makarova, E. A. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 681.
8. Makarova, E. A. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 288.
9. Lambert, D. L., Willstrop, R. V. 1965, *Observatory*, **85**, 124.
10. Houtgast, J. 1965, *Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch.*, Amsterdam Proceed., Series B, **68**, no. 5.
11. Murcray, F. H., Murcray, D. G., Williams, W. J. 1964, *Appl. Opt.*, **3**, 1373.
12. Beer, R. 1966, *Nature*, **209**, no. 5029, 1226.
13. Léna, P. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 361.
14. Noyes, R., Gingerich, O., Goldberg, L. 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 344.
15. Blamont, S., Bonnet, R. 1966, *C.R. Acad. Sci.*, Paris, **262**, 3152.
16. Kodaira, K. 1965, *Z. Astrophys.*, **60**, 240.
17. Mouradian, Z. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 805.
18. Kristenson, H. 1964, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **128**, 13.
19. Heintze, J. R. W. 1965, *Rech. astr. Obs. Utrecht*, **17**.
20. Mulders, G. F. W., Slaughter, C. D. 1965, *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **77**, 295.
21. Appenzeller, I., Schröter, E. H. *Astrophys. J.*, sous presse.
22. Cowley, C. 1965, *Astr. J.*, **70**, 671.
23. Delache, Ph. *Astrophys. J.*, (soumis à).
24. Delache, Ph. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 109.
25. Bode, G. 1965, *Veröff. Inst. Theoret. Phys. Sternw.*, Kiel.

Atlas et Tables du Spectre de Fraunhofer. Identifications

1. Ahmad Kiasatpoor 1962, *Georgetown Obs. Monograph*, no. 19.
2. Swensson, J. W., Risberg, G. 1966, *Ark. Fys.*, **31**, no. 16.
3. Swensson, J. W. 1966, *Z. Astrophys.*, **64**, 11.
- 3 bis. Swensson, J. W. *Bull. Acad. Roy. Belg.* (sous presse.)
4. Grevesse, N. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 365.
5. Kodaira, K. 1964, *Z. Astrophys.*, **60**, 24.
6. Swings, J. P. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 703.
7. Swings, J. P. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 371.
8. Mitchell, W. E., Jr., Mohler, O. C. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1126.
9. Swensson, J. W. 1960, *Ark. Fys.*, **32**, no. 25, 463.
10. Pottasch, S. R. 1964, *Space Sci. Rev.*, **3**, 816.
11. Goldberg, L., Parkinson, W. H., Reeves, E. M. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1293.
12. Black, W. S., Booker, D., Burton, W. M., Jones, B. B., Shenton, D. B., Wilson, R. 1965, *Nature*, **206**, no. 4985, 654.
13. Burton, W. M., Wilson, R. 1965, *Nature*, **207**, no. 4992, 61.

Longueurs d'onde. Rotation. Circulation

1. Aslanov, I. A. 1963, *Astr. Zu.*, **40**, 1036.
2. Aslanov, I. A. 1964, *Uchen. Zap. Leningrad. gos. Univ.*, Ser. mat. Nauk, **21**, no. 38, 53.
3. Aslanov, I. A. 1964, *Acad. Sci. Az. SSR*, Bakou.
4. Melnikov, O. A., Zhuravlev, S. S., Aslanov, I. A., Kuliev, D. M., Salmanzade, R. Kh. 1964, *Trans. Shamakha astr. Obs.*, **3**, 63.
5. Melnikov, O. A., Zhuravlev, S. S., Aslanov, I. A., Kuliev, D. M., Salmanzade, R. Kh. 1964, *Uchen. Zap. Leningrad. gos. Univ.*, Ser. mat. Nauk, **21**, no. 38, 27.
6. Melnikov, O. A. 1964, *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **23**, no. 175.
7. Ward, F. 1964, *Astr. J.*, **69**, 562.
8. Ward, F. 1964, *Pure appl. Geophys.*, **58**, 157.
9. Ward, F. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 534.
10. Starr, V. F., Gilman, P. A. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1119.
11. Starr, V. P., Gilman, P. A. 1965, *Tellus*, **17**, 334.
12. Sakurai, T. 1966, *Publ. astr. Soc. Japan*, **18**, 174.
13. Rubashev, B. M. 1965, *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **24**, no. 178, 41.

*La Photosphère**(a) Granulation. Structures cinématiques et magnétiques*

1. Bray, R. J., Loughhead, R. E. *The solar granulation*, International Astrophysics Series, Chapman and Hall, London (in press).
2. Vassiljeva, G. Y., Yudina, I. V. 1965, *Soln. Dann.*, no. 3, 58.
3. Krat, V. A., Petrova, N. N. 1965, *Soln. Dann.*, no. 10, 48.
4. Lévy, M. *Ann. Astrophys.* (soumis aux).
5. Edmonds, F. N., Jr., McCullough, J. R. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 754.
6. Simon, G. W., Leighton, R. B. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1120.
7. Lévy, M. 1965, *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **260**, 806.
8. Edmonds, F. N., Jr., Michard, R., Servajean, R. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 534.
9. Mein, P. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 153.
10. Edmonds, F. N., Jr. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 733.
11. Edmonds, F. N., Jr. 1967, *Solar Physics*, **1**, 5.
12. Orrall, F. Q. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1131.
13. Orrall, F. Q. 1966, *Astrophys. J.*, **143**, 917.
14. Vasiljeva, G. Y. 1964, *Izv. glavn. astr. Obs. Pulkove*, **23**, no. 175, 28.
15. Krat, V. A., Vjalshin, G. F. 1965, *Izv. glavn. astr. Obs. Pulkove*, **24**, no. 178, 26.
16. Beckers, J. M., Schröter, E. H. Boulder AAS Meeting, October, 1966.
17. Severny, A. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 217.
18. Severny, A. 1966, *Izv. Krym. astrofiz. Obs.*, **35**.
19. Severny, A. 1966, *Izv. Krym. astrofiz. Obs.*, **37** (in press).
20. Livingston, W. C. 1966, *Scientific American*, **215**, no. 5, 54.
21. Grigorjev, V. M., Stepanov, V. E. 1966, Reports on Solar Physics, *Sib. IZMIR. Acad. Sci. USSR*, **32**.
22. Stenflo, J. O. 1966, *Observatory*, **86**, 73.
23. Michard, R. 1964, *Trans. IAU*, **12B**, 532.
24. Pikelner, S. B. 1966, *Usp. fiz. Nauk*, **88**, 505.
25. Severny, A. 1966, *Usp. fiz. Nauk*, **88**, 3.
26. Bumba, V., Howard, R., Smith, S. F. Proc. Goddard Magnetic Stars Symposium, 1965, in press.

(b) Profils et largeurs équivalentes des raies de Fraunhofer

1. De Jager, C., Neven, L. *Bull. astr. Inst. Netherl.* (sous presse).
2. De Jager, C., Namba, O., Neven, L. 1966, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **18**, 128.
3. De Jager, C., Neven, L. 1966, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **18**, 306.
4. De Jager, C., Neven, L. 1964, *Mém. Soc. R. Sci. Liège*, **9**, 151.
5. De Jager, C., Neven, L. 1967, *Solar Physics*, **1**, 27.
6. Kulander, J. L., Jefferies, J. T. 1966, *Astrophys. J.*, **146**, 194.
7. Kuli-Zade, D. M. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 920.
8. Kuli-Zade, D. M. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 1022.
9. Kuli-Zade, D. M. 1964, *Vestnik Leningrad Univ.*, no. 19.
10. Kuli-Zade, D. M. 1964, *Soln. Dann.*, no. 11, 56.
11. Khetsuriani, T. S. 1965, *Acad. Sci. Georg. SSR*, **37**, no. 3, 563.
12. Bubke, O. 1965, *Z. Astrophys.*, **62**, 83.
13. Föppl, H. *et al.* 1964, Max Planck Inst. Phys. Astrophys. München, MPI-PA-23/64.
14. Cowley, C. R., Cowley, A. P. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 713.
15. Nissen, P. E. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 556.
16. Schadee, A. 1964, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **17**, 311.
17. Ruzickova-Topolova, B. 1965, *Bull. astr. Inst. Csl.*, **16**, 23.
18. Withbroe, G. L. *Astrophys. J.* (sous presse).
19. Poletto, G., Rigutti, M. 1964, *Z. Astrophys.*, **60**, 199.
20. Olson, E. C. 1966, *Astrophys. J.*, **143**, 904.

(c) *Théorie du spectre de Fraunhofer*

1. Johnson, H. R. 1965, *Ann. Astrophys.*, **27**, 695.
2. Chamaraux, P. 1966, *Ann. Astrophys.*, 1966 (sous presse).
3. Hénoux, J.-C. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 271.
4. Dumont, S. 1966, *C.R. Acad. Sci., Paris*, **263**, 85.
5. Dumont, S. 1966, *C.R. Acad. Sci., Paris*, **262**, 740.
6. Cuny, Y. 1964, *C.R. Acad. Sci., Paris*, **258**, 3292.
7. Holweger, H. *Z. Astrophys.* (sous presse).
8. Teplitskaya, R. B. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 907.
9. Mitropolskaya, O. N. 1963, *Astr. Zu.*, **40**, 427.
10. Mitropolskaya, O. N. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 930.
11. Mitropolskaya, O. N. 1966, *Astr. Zu.*, **43**, 694.
12. Pande, M. Ch., Sitnik, G. F. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 1250.
13. Pande, M. Ch. 1966, *Astr. Zu.*, **43**, 407.
14. Pande, M. Ch. 1966, *Astr. Zu.*, **43**, 708.
15. Rackovsky, D. N. 1963, *Izv. Krym. astrofiz. Obs.*, **30**, 267.
16. Rackovsky, D. N. 1965, *Izv. Krym. astrofiz. Obs.*, **33**, 111.
17. Gussman, E. A. 1964, *Z. Astrophys.*, **59**, 66.
18. Gussman, E. A. *Z. Astrophys.* (sous presse).
19. Traving, G. 1964, *Z. Astrophys.*, **60**, 167.

(d) *Abondances des éléments*

1. Goldberg, L., Kopp, R. A., Dupree, A. K. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 707.
2. Leftus, V. 1965, *Bull. astr. Inst. Csl.*, **16**, 311.
3. Leftus, V. 1965, *Publ. astr. Inst. Csl.*, no. 51, 17.
4. Mitchell, W. E., Mohler, O. C. 1964, *Appl. Optics*, **3**, 467.
5. Aller, L. H., O'Mara, B. J., Little, S. 1964, *Proc. nat. Acad. Sci.*, **51**, 1238.
6. Aller, L. H. 1965, *Adv. Astr. Astrophys.*, **3**, 1.
7. Mugglestone, D., O'Mara, B. J. 1966, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **132**, 87.
8. Chapman, R. D., Clarke, W. H., Aller, L. H. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 376.
9. Righini, A., Rigutti, M. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 379.
10. Wallerstein, G. 1966, *Icarus*, **5**, 75.
11. Grevesse, N. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 287.
12. Lynds, C. R. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 396.
13. Dubov, E. E. 1964, *Izv. Krym. astrofiz. Obs.*, **32**, 26.
14. Schmahl, G., Schröter, E. H. 1965, *Z. Astrophys.*, **62**, 143.
15. Gökdoğan, N., Pecker, J.-C. 1964, *Ann. Astrophys.*, **27**, 417.
16. Herzberg, L., Delbouille, L., Roland, G. *Astrophys. J.* (sous presse).

(e) *Modèles et théories de la photosphère et de la zone convective*

1. Heintze, J. R. W., Hubenet, H., De Jager, C. 1964, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **17**, 442.
2. Waddell, J. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 326.
3. Wilson, P. R. 1964, *Astrophys. J.*, **139**, 929.
4. Wilson, P. R. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1148.
5. Wilson, P. R. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 1195.
6. Rybicki, G. B. 1965, *Smithson. Inst. astrophys. Obs., spec. Rep.*, no. 180.
7. Kato, S. 1966, *Astrophys. J.*, **143**, 372.
8. Kato, S. 1966, *Astrophys. J.*, **143**, 893.
9. Kato, S. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 326.
10. Uchida, Y. 1966, *Astrophys. J.*, **142**, 335.
11. Uchida, Y. 1967, *Astrophys. J.*, **147**, (sous presse).
12. Uchida, Y. (sous presse, revue non précisée).
13. Souffrin, P. 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 55.
14. Gingerich, O. 1966, *J. quant. Spect. rad. Transfer*, **6**, 609.
15. Frisch, H. 1966, *J. quant. Spect. rad. Transfer*, **6**, 629.
16. Edmonds, F. N. Jr. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 733.

Instruments

1. Bruns, A. V., Nikulin, N. S., Severny, A. B. 1965, *Izv. Krym. astrofiz. Obs.*, **23**, 80.
2. Joschpa, B. A., Obridko, V. N. 1965, in *Regul. issled. Progr. mejd. geofiz. God., Soln. Aktiv.*, p. 131, Ed. Izdatel. Nauka, Moscou.
3. Karpinsky, V. N. 1965, *Izv. glav. astr. Obs. Pulkove*, **24**, no. 178, 84.

THE CHROMOSPHERE

Report prepared by R. G. Athay

(a) Trends in Research and Reviews

The period since the previous Draft Report seems to be characterized by somewhat more emphasis on disk observations of chromospheric structure and chromospheric heating and somewhat less emphasis on eclipse data. However, new spectrophotometric data from eclipses still plays a vital role in chromospheric research. Much important data from earlier eclipses still remain unpublished. Eclipse observers are urged to make data available to other astronomers on a shorter time scale than has been characteristic of the past.

Review articles on chromospheric phenomena by J. T. Jefferies, R. G. Athay, H. E. Hinteregger and R. O. Redman are contained in the proceedings of the Utrecht Conference on The Solar Spectrum (1) held in 1963. Other important reviews include a review of the extreme ultra-violet spectrum of the chromosphere by Tousey (2).

(b) Spectrophotometry at Eclipse

Optical continuum intensities near the solar limb recorded at the 1954 total eclipse have been reported at four wavelengths, $\lambda\lambda$ 3860, 4155, 4760 and 6190, by Kristenson (1) and at five wavelengths, $\lambda\lambda$ 4605, 4910, 5200, 5700 and 6430, by Heintze (2). Narrow band continuum intensities in the blue and red regions of the spectrum were measured at the 1961 eclipse by Mouradian (3). All of these data are in fair quantitative agreement with each other and with earlier continuum data. The continuum data now provide a rather good basis for realistic models of the lower chromosphere. However, improved photometric precision is still needed.

Radio continuum brightness temperatures at 3 cm were observed at the 1961 eclipse by Hackenberg, Popowa and Prinzler (4) and by Drago, Noci and Piatelli (5). The latter authors report limb brightening along equatorial diameters and limb darkening along polar diameters, a result that may be due partially to coronal contributions but may also have a strong chromospheric component.

Makita (6) has reported intensities and profiles of $H\alpha$ and the H and K lines observed at the 1958 eclipse and intensities of $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$ and H and K observed at the 1961 eclipse have been reported by Stolov (7). Takayanagi (8) has reported intensities in the CN λ 3800 band observed at the 1958 eclipse.

Successful observations at the May 1965 eclipse were made by Houtgast (9) and several groups have reported successful observations at the 1966 May 20 and November eclipses. Data for these more recent eclipses are not yet available.

(c) Spectrophotometry of the Disk and at the Solar Limb Outside of Eclipse

Observers at the Kitt Peak Observatory under the supervision of Pierce (1) are preparing a catalogue of approximately 8000 emission lines observed in the low chromosphere at the solar limb with the McMath tower telescope. We look forward to the publication of this important catalogue in the near future.

Mouradian (cf. ref. 3 §b) and Guljaev (10) have observed the profiles of the Paschen-gamma and $\lambda 10830$ lines for the mean (spicules unresolved) chromosphere. Profiles and equivalent widths are given as a function of height. White and Wilson (2) report similar data for $H\alpha$ and conclude that unit opacity at line center is found at about 1500 km above the solar limb.

Considerable discussion of the phenomena of a 'double-limb' observed in $H\alpha$ filtergrams occurred during this period. Both Bhavilai, Norton and Giovanelli (3) and Simon and White (4) report that the 'double-limb' effect disappears when proper allowances and corrections are made for scattered light in the optical system.

Disk profiles of the $\lambda 10830$ line were observed by de Jager, Namba and Neven (5). They conclude that this line is formed predominately in spicules covering about 10% of the solar disk, that the optical thickness of spicules at line center is 1.3 to 2.6 and that the mean broadening velocity is 9–11 km s⁻¹. Fisher (6) finds for the same line $\tau_0 = 2$ to 4 and a broadening velocity of 15 km s⁻¹ has published a profile of the mean $H\alpha$ line on the disk with a central intensity of 15.5%. Zirin and Howard (7) show from spectroheliograms made at $\lambda 10830$ that 10830 absorption is limited to the edges of the chromospheric network. They interpret this to mean that the network boundaries have relatively high temperature and density.

Suemoto (8) has studied variations in the H and K profiles observed with high resolution from point to point on the solar disk. He interprets the profile as a superposition of emission and absorption lines.

White (9) has published data on the mean $H\alpha$ profile on the disk showing a central intensity of 15.5%.

Measurements of chromospheric polarization in $H\alpha$ by Brückner (RG 9) give information on polar magnetic fields.

(d) *Spectrophotometry in the XUV*

Tousey's (ref. 2, §a) review article includes profiles of the Mg II resonance lines, showing the central emission features well resolved but with insufficient quantitative information. Profiles of Lyman- α and Lyman- β lines observed at different positions on the disk are given by Tousey, Purcell, Austin, Garrett and Widing (1). The wavelength interval from $\lambda\lambda 310-55 \text{ \AA}$ containing the Lyman-like lines of He II has been observed by Hinteregger, Hall and Schweizer (2) and by Hall, Schweizer, Heroux and Hinteregger (3). Other references on the XUV spectra are given in other parts of this Draft Report.

(e) *Spicules and Chromospheric Structure*

Improved spatial and spectral resolution in disk filter- and spectroheliograms have led to serious attempts to identify spicules on the solar disk. Beckers (1) and Zirin (2) have concluded that spicules occur predominately in the dark features outlining the chromospheric network. The spicules occur in clumps with several spicules found within a given dark mottle. Statistical properties of these dark features according to Beckers, agree well with the expected statistics for spicules. Bhavilai (3), however, concludes from similar observational data that the spicules are bright against the disk and are to be identified with small bright mottles found within the dark mottles, which are generally larger. Thus, the different observers agree as to the general location of the spicules but differ in the detailed identifications.

Mouradian (ref. 3, §b) studied time sequences of Doppler shifts of spicules observed spectroscopically in $H\alpha$ at the limb. He found only ascending motions. Beckers, Noyes and Pasachoff (4) report from similar studies, however, that they find both ascending and descending motions and that a given spicule may reverse its direction of motion, i.e., first rise then fall. Nikolskii and Sazanov (5) also find that the sign of the Doppler shift may reverse for a given spicule.

Widths of spectral lines emitted by spicules has received considerable attention. Athay and Bessey (6) indicate that the wide profiles reported earlier for the K line are not satisfactorily explained as a collection of narrower profiles of unresolved features. Giovanelli, Michard and Mouradian (7) dispute this claim as do also Gulyaev and Livshits (8). On the other hand, Beckers, Noyes and Pasachoff (4) agree with the conclusions of Athay and Bessey. More recently Livshits (8 bis) places emphasis on velocities inside spicules.

Nikolskii (9) finds narrower profiles for $\lambda 5876$ than reported by other observers. He attributes this to lack of resolution in previous observations. Nikolskii and Sazanov (5) note a similar effect in $H\alpha$ profiles arising from closely spaced spicules moving relative to one another. Spicules spectra are also being studied in Kodaikanal by Sivaraman.

Contradictory results on the nature of the interspicule medium also persist. Beckers, Noyes and Pasachoff (4) agree with an earlier suggestion by Michard that the interspicular medium has a non-negligible opacity and produces observable absorption in the spicule $H\alpha$ profiles. This is at variance with most models of the chromosphere which portray the interspicule medium as coronal-like, i.e., relatively hot and tenuous.

Oscillatory motions in the chromosphere have been studied in the K line by Jensen and Orrall (10) and by Orrall (11). They find that the oscillatory period for the K_3 component is only 180 seconds as contrasted with a period of 300 seconds for lines formed deeper in the atmosphere. Orrall identifies this period with a high-frequency tail on the spectrum of periodicities observed in the photosphere. For lines formed progressively higher in the atmosphere, this high-frequency tail becomes progressively more important and dominates in the chromosphere.

Quasi-periodic intensity fluctuations in K_2 and K_3 were also found by Jensen and Orrall (10). Simon and Leighton (12) have found that the borders of the chromospheric network coincide with local regions of enhanced magnetic field strength and descending matter as inferred from Doppler shifts in $H\alpha$ and $H\beta$. Field strengths are of the order of 20 gauss and descending velocities are 1–2 km s⁻¹. They find a lifetime for the network cells of about 20 hours.

Godoli, Mazzucconi, Fossi and Torrisi (13) have studied the size of $H\alpha$ chromospheric mottles utilizing the progressive occultation of the mottles by the moon during the eclipse of 1966 May.

(f) *Theoretical Spectroscopy and Models*

Models of the low chromosphere derived from the continuous spectrum by Hiei (1) and Heintze (2b) both show an outwards increase of temperature in the lowest layers of the chromosphere. Heintze places the temperature minimum at $\tau_c \approx 3 \times 10^{-2}$. De Jager (2) derives the location of the temperature minimum from the transition from absorption lines to emission lines at $\lambda 1800$. He places the minimum at $\tau_c = 2 \times 10^{-3}$.

The Utrecht reference model photosphere extends through the temperature minimum to $\tau_c = 10^{-4}$. It shows a temperature minimum of 4250° at $\tau_c = 2 \times 10^{-2}$ and a temperature of 5100° at $\tau_c = 10^{-4}$. The concept of a single reference model seems desirable and the Utrecht reference model serves as a useful first step. It could profitably be extended higher in the chromosphere and critically appraised by those deriving chromospheric models.

Takayanagi (8b) derives electron temperatures in the low chromosphere from CN data. He finds $\tau_c \approx 4000^\circ$ at the base of the chromosphere and $T_e \approx 5000^\circ$ near 500 km. Kodaira (3) identifies the depression in the continuum at $\lambda 2085$ with the ionization limit of Al I $3P^2P^0$.

Zheleznyakov (4) finds electron temperatures from radio data at mm wavelengths of about 5700° between heights of 2000 km and 2800 km and rising to about 8000° at 3000 km. He points out, however, that these temperatures, as well as an indicated drop in temperature above 3000 km, may reflect uncertainties due to non-uniform structure in the chromosphere.

Dietz and House (5) have discussed the Lyman continuum of hydrogen formed in the chromosphere but they do not arrive at a definite temperature. Johnson (6) discusses the Na D lines and concludes that on the basis of present models and theory he is unable to reconcile the excitation temperatures inferred from the line profiles. Athay (7) discusses the XUV data of hydrogen, He I and He II in relation to the chromospheric model. He finds a hot, tenuous interspicule regime that exhibits a rapid transition to coronal conditions just above the Lyman- α emitting region which ends near $T_e \approx 50\,000^\circ$. The He II $\lambda\,304$ line is formed in the sharp chromosphere-corona transition region. Similar conclusions are reached by Athay (8) from a study of the XUV lines of heavier elements.

Suemoto and Moriyama (9) conclude from XUV and radio data that the Sun emits these radiations from only a small fraction of the surface, which is an alternative to the rapid transition region. Nikolskii (ref. 9, §e) criticizes the hard-shell model of Dietz and Zirin (10) which eliminates the chromospheric component to the interspicule medium at lower heights.

Miyamoto (11) concludes from a discussion of the thermal stability of the chromosphere-corona transition region that the region is dynamically unstable and must give rise to phenomena resembling spicules. Problems of thermal stability are also discussed by Hunter (26).

Excitation of hydrogen in the chromosphere has been discussed by Kingston (12) and Athay (13). Helium I excitation has been discussed by Athay (14) and Nikolskaya (15) and helium II excitation by Athay (13). Controversy still exists as to the required electron temperatures for He I excitation resulting mainly from difference in the photoionization rates adopted. Nikolskaya (15) and several earlier authors conclude that relatively low electron temperatures ($6000\text{--}10\,000^\circ$) are sufficient whereas others (Athay, 14) have concluded that temperatures of $30\,000^\circ$ or higher are required.

The subject of source function equality and inequality has stimulated considerable discussion. Waddell (16) demonstrated empirically that the source functions for different multiplet members in the Na D lines and the Mg *b* lines were equal at a given point in the atmosphere. White (17) concluded from his analysis of Balmer line profiles that within the Balmer series the source functions were not equal. This conclusion was challenged by Pierce and Waddell (18) and defended by White (19). On the basis of the empirical results for Na D and Mg *b* and from numerical calculations, Waddell (20) concluded that the inferred source function equality required that collision rates between excited levels must exceed spontaneous transition rates to the ground state. Athay (21) challenged this conclusion, which was again defended by Waddell (22). Numerical calculations by Avrett (23) demonstrated that the required equality could be achieved with collision rates considerably lower than those inferred by Waddell.

A possible mechanism to explain the K₂ and H₂ emission peaks was advanced by Goldberg (24). He suggested that dielectronic recombinations may produce a relatively wide emission feature shifted slightly to the violet of the normal absorption line. Tandberg-Hanssen (25) has investigated the H and K lines of Ba II in chromospheric spectra from the 1952 and 1962 eclipses. He finds an overpopulation of the $\tilde{J} = 3/2$ level relative to the $\tilde{J} = 1/2$ level which he suggests may possibly arise from interlocking transitions to the 6^2P levels and by spin change collisions with hydrogen atoms.

(g) *Theory of Chromospheric Heating and Structure*

The period since the last Draft Report has been marked by an interest in mechanical energy transport mechanisms in the chromosphere; however, many authors still propose coronal heating mechanisms that traverse the chromosphere without dissipation.

Dubov (1) pointed out that Osterbrock's previous estimate of chromospheric energy requirements was very likely overestimated by a large factor. A similar result was found by

Athay (2) who also found that the rate of energy per proton (or electron) was independent of height in the chromosphere.

Heating of the chromosphere by hydrodynamic and hydromagnetic shock waves has been discussed by Kuiperus (3), Bird (4, 5), Saito (6), Lüst and Scholer (7), Livshits (8), Pikel'ner and Livshits (9). Saito suggests that shock waves may produce spicules in the upper chromosphere and Lüst and Scholer find a radial steeping of wave fronts in the presence of magnetic fields and a strong channeling of the waves along lines of force. Pikel'ner and Livshits suggest that difficulties associated with the strong refraction of magnetosonic shock waves in the middle chromosphere may be eliminated by using an appropriate chromospheric model. Interference of wave fronts produces a two-dimensional pattern whose scale is comparable with the wavelength of the wave disturbance. Energy is transferred to the chromosphere mainly by the Alfvén mode. Recent work by Biermann (RG 10) suggests that more energy is dissipated near the bottom than in higher layers of the chromosphere.

Pikel'ner (10) has suggested a model for the supergranulation and chromospheric network which couples the material motions with the magnetic field structure. Magnetic lines of force are concentrated at the cellular boundaries by the outwards flow of gases.

Various modes of standing waves in the chromosphere have been discussed. Bahng and Schwarzschild (11) have attributed the chromospheric oscillations to standing acoustic waves and Uchida (12) has pointed out that an alternative possibility is a standing compressional gravity wave. Jensen and Orrall (ref. 10, §e) note that the periods of oscillation are consistent with standing sonic waves or isobaric oscillations.

REFERENCES

(a) *Chromosphere—Review*

1. Jefferies, J. T., Athay, R. G., Hinteregger, H. E., Redman, R. O. 1965, *The Solar Spectrum*, ed. C. de Jager, Reidel, Dordrecht, Holland.
2. Tousey, R. 1963, *Space Sci. Rev.*, 2, 3.

(b) *Chromosphere—Eclipse*

1. Kristenson, H. 1964, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, 128, 113.
2. Heintze, J. R. W. 1965, Thesis, Utrecht Observatory.
3. Mouradian, Z. 1965, *Ann. Astrophys.*, 28, 805.
4. Hackenberg, O., Popowa, M., Prinzler, H. 1964, *Z. Astrophys.*, 58, 36.
5. Drago, F., Noci, G., Piatelli, M. 1964, *Ann. Astrophys.*, 27, 708.
6. Makita, M. *Publ. astr. Soc. Japan*, in press.
7. Stolov, A. L. 1963, *Astr. Zu.*, 40, 532.
8. Takayanagi, Y. *Publ. astr. Soc. Japan*, in press.
9. Houtgast, J. 1967, private communication.

(c) *Chromosphere—Disk and Limb*

1. Pierce, A. K. 1967, private communication.
2. White, O. R., Wilson, P. 1966, *Astrophys. J.*, 146, 241.
3. Bhavilai, R., Norton, D. G., Giovanelli, R. G. 1965, *Astrophys. J.*, 141, 274.
4. Simon, G. W., White, O. R. 1966, *Astrophys. J.*, 143, 38.
5. Jager, C. de, Namba, O., Neven, L. 1966, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, 18, 128.
6. Fisher, R. R. 1964, *Astrophys. J.*, 140, 1326.
7. Zirin, H., Howard, R. 1966, *Astrophys. J.*, 146, 367.
8. Suemoto, Z. 1966, *Proc. Japan Acad.*, in press.
9. Suemoto, Z. 1967, *Solar Physics*, submitted for publication.
10. White, O. R. 1964, *Astrophys. J.*, 139, 1340.
11. Guljaev, R. A. 1964, *Astr. Zu.*, 41, 313.

(d) *Chromosphere—XUV*

1. Tousey, R., Purcell, J. D., Austin, W. E., Garrett, D. L., Widing, K. G. 1963, *Space Res.*, **4**, 703.
2. Hinteregger, H. E., Hall, L. A., Schweizer, W. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 319.
3. Hall, L. A., Schweizer, W., Heroux, L., Hinteregger, H. E. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 13.

(e) *Chromosphere—Spicules and Structure*

1. Beckers, J. M. 1963, *Astrophys. J.*, **138**, 648.
Beckers, J. M. 1964, Thesis, Utrecht Observatory.
2. Zirin, H. 1964, private communication.
3. Bhavilai, R. 1965, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **130**, 411.
4. Beckers, J. M., Noyes, R. W., Pasachoff, J. M. 1966, *Astr. J.*, **71**, 155.
5. Nikolskii, G. M., Sazanov, A. A. 1966, *Astr. Zu.*, **43**, 928.
6. Athay, R. G., Bessey, R. J. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1174.
7. Giovanelli, R. G., Michard, R., Mouradian, Z. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 871.
8. Gulyaev, R. A., Livshits, M. A. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 661.
- 8 bis. Livshits, M. A. 1966, *Astr. Zu.*, **43**, 718.
9. Nikolskii, G. M. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 64.
10. Jensen, E., Orrall, F. Q. 1963, *Astrophys. J.*, **138**, 252.
11. Orrall, F. Q. 1966, *Astrophys. J.*, **143**, 917.
12. Simon, G. W., Leighton, R. B. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1120.
13. Godoli, G., Mazzucconi, F., Monsignorini Fossi, B. C., Torrisi, S. 1966, *Mem. Oss. Arcetri*, **85**, 73.

(f) *Chromosphere—Theoretical Spectroscopy and Models*

1. Hiei, E. 1967, in press.
2. Jager, C. de. 1963, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **17**.
- 2b. Heintze,
3. Kodaira, K. 1965, *Z. Astrophys.*, **60**, 240.
4. Zheleznyakov, V. V. 1965, *Astr. Zu.*, **41**, 1021.
5. Dietz, R., House, L. L. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1393.
6. Johnson, H. R. 1964, *Ann. Astrophys.*, **27**, 695.
7. Athay, R. G. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 755.
8. Athay, R. G. 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 784.
- 8b. Takayanagi,
9. Suemoto, Z., Moriyama, F. 1964, *Ann. Astrophys.*, **27**, 775.
10. Dietz, R., Zirin, H. 1963, *Astrophys. J.*, **138**, 664.
11. Miyamoto, S. 1965, *Publ. astr. Soc. Japan*, **17**, 127.
12. Kingston, A. E. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 736.
13. Athay, R. G. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 732.
14. Athay, R. G. 1963, *Astrophys. J.*, **137**, 931.
15. Nikolskaya, K. I. 1966, *Astr. Zu.*, **43**, 936.
16. Waddell, J., III. 1963, *Astrophys. J.*, **137**, 1210.
17. White, O. R. 1963, *Astrophys. J.*, **137**, 1217.
18. Pierce, A. K., Waddell, J., III. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1160.
19. White, O. R. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1164.
20. Waddell, J., III. 1963, *Astrophys. J.*, **138**, 1147.
21. Athay, R. G. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1579.
22. Waddell, J., III. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1586.
23. Avrett, E. H. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 59.
24. Goldberg, L. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 384.
25. Tandberg-Hanssen, E. 1966, private communication.
26. Hunter, J. H. 1966, *Icarus*, **5**, 321.

(g) *Chromosphere—Heating and Structure*

1. Dubov, E. E. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 1014.
2. Athay, R. G. 1966, *Astrophys. J.*, **146**, 223.
3. Kuperus, M. 1965, Thesis, Utrecht Observatory.
4. Bird, G. A. 1964, *Astrophys. J.*, **137**, 684.
5. Bird, G. A. 1964, *Astrophys. J.*, **137**, 340.
6. Saito, M. 1964, *Publ. astr. Soc. Japan*, **16**, 179.
7. Lüst, R., Scholer, M. 1966, *Z. Naturforschung*, **21**, 1098.
8. Livshits, M. A. 1965, *Astr. Zu.*, **41**, 473.
9. Pikel'ner, S. B., Livshits, M. A. 1965, *Astr. Zu.*, **41**, 1007.
10. Pikel'ner, S. B. 1963, *Astr. Zu.*, **39**, 973.
11. Bahng, J., Schwarzschild, M. 1963, *Astrophys. J.*, **137**, 601.
12. Uchida, Y. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 335.

THE CORONA

Report prepared by C. W. Allen

The corona is an object of outstanding interest both in its own right and as a source of particle and XUV emissions that have significant effects in interplanetary space and in the ionosphere. Although the interests are wide it is necessary to restrict the scope of the corona for the purpose of this review. My intended limits for coronal space are between the transition layer (separating corona and chromosphere) and the upper level beyond which no direct visible or radio radiations are detected. Problems of interplanetary space are considered only if they refer back to this more directly detectable corona. Scattering of radio sources is omitted. Furthermore it is only the normal and persistent features of the corona that are to be included. The permanent condensations are included but the sporadic condensations (39) are omitted as being more suited to the consideration of Commission 10.

The period covered by this report represents literature from about August 1963 until October 1966; that is, from those given in *Trans. IAU*, **12A**, p. 120, up to the time of writing October 1966. During this period I. S. Shklovski's book 'Physics of the Solar Corona' has been published in English, but it refers mainly to work completed by 1961. The fine 'Guide to the Solar Corona' by D. Billings should also be mentioned (RG 12).

(a) *Continuous Spectrum*

Since most of the coronal light comes from the continuous spectrum representing electron scatter the photometry of heterochromatic images is used mainly for the purpose of indicating electron density distribution. The best opportunities for the study of such images are at total solar eclipses. The types of observations and analyses made can be summarized as, (i) image details and delineation, (ii) photometry, radial distribution, particular regions, complete isophotes, (iii) polarimetry, (iv) spectral distribution, colour, (v) electron density distribution, (vi) magnetic field distribution.

Results from recent eclipses are as follows:

1961 February 15

Polarization and electron densities: Fracassini and Hack (1).

Colour, polarization of low corona: Chalonge and Andriolat (2).

Image, isophotes: Löchel and Högner (3).

Isophotes, polarization: Michard and Sotirovsky (4).

Photometry: Cimino and Croce (5).

1962 February 4-5

- Isophotes, polarization: densities of coronal condensation: Saito and Billings (6).
 General polarization, photometry, densities: Saito and Hata (7).
 Polar plumes, polarization, magnetic field, density variations: Saito (8).
 Image, polar plumes, photometry: Tsubaki *et al.* (9).
 Density and loops in condensation: Tsubaki (10).
 Polar plumes and magnetic field: Waldmeier (11).

1963 July 20

- Image, isophotes: Waldmeier (12).
 Spectral distribution: Falciani and Rigutti (13).
 F-K separation and density at great distance: Blackwell and Petford (14).
 Polar rays and magnetic field details: Harvey (15).
 Polar rays and magnetic field details: Stoddard *et al.* (16).

1965 May 30

- Image, isophotes: Waldmeier (17, 18).
 Polar plumes: Saito (19).

There have been results from the earlier eclipses of 1936 by Falchi *et al.* (20), and of 1952 by Falciani and Rigutti (21). A review of accumulated eclipse data has been made by Hata and Saito (22).

In addition to eclipse observations the electron corona has been studied for many years at Climax, Colorado, and the results made available in graphical form up to November 1960 in the Data Centre A reports (23). Data since that time although lodged at the Data Centre does not appear to be published, except for the days near the 1963 eclipse (24). The K-coronameter has since been installed at Mount Haleakala, Hawaii, and the data for the days near the 1965 eclipse have been reported from this station (25). Data from Pic-du-Midi have been assembled since about 1963 and sent to data centres. Studies of the Climax routine data have been made, for example, by Newkirk (26) who found the mean coronal brightness to be about twice that given by the van de Hulst model (27). This was probably associated with the very high solar activity during the period of analysis 1956-58.

From 1963 white light coronal observations are being reported from Japan. Nishi and Nagasawa (28) find the intensity to be in fair agreement with the van de Hulst model (27), and the streamers to coincide with quiescent prominences.

The increasing evidence and importance of the streaming of material outward from the Sun has led to heightened interest in the white light coronal features at large distances from the Sun. Recently Bohlin *et al.* (29) obtained the 3-dimensional structure of a large streamer by combining eclipse and coronameter data. Moreover efforts have been made to observe from great heights by using balloons, rockets or satellites.

The work of Coronascope II, observing white light corona from the stratosphere at 30 km, is described by Newkirk and Bohlin (30). An electron streamer extending to 0.5 solar radii appeared to be associated with a recurrent geomagnetic storm. The use of balloons during an eclipse in 1963 enabled Gillett, Stein and Ney (31) to trace the corona to a distance of 8°.

The observations of a coronagraph flown in a rocket by Tousey (32) give white light intensities in polar and equatorial directions to a distance of 9°. This experiment did not appear to reveal any obvious streamers.

Proposals to fly a coronagraph in OSO satellites have been made since 1961 but whereas there has been some partial success this has not yet led to useful results. Later OSO flights are awaited to obtain the full benefit of satellite coronagraph possibilities. In the meanwhile the corona has been photographed from the Moon with the TV camera on board Surveyor I while the Sun was setting beyond the lunar horizon (personal communication from G. Newkirk).

The main intentions of coronal continuum photometry are to convert the measurements into electron and gas densities. The integral equations for this conversion have been reconsidered by Fracassini (33). The density estimates from the papers quoted do not lead to any significant change from earlier models but the results are becoming more reliable and they extend good density measurements to about 20 solar radii (14). Blackwell (34) shows that we are near the limiting extension that can be measured and that improvement will depend on the use of satellites. Density measurements are used mainly for coronal physics and solar wind problems. Chamberlain (35) and Parker (36) have considered a hypothetical problem concerning a slow wind (breeze) emission. Brandt *et al.* (37) have shown that coronal temperature derived from density gradient is similar to that derived spectroscopically using dielectronic recombination.

Eclipse photometry can be applied also to the measurement of the density and size of coronal features. An outstandingly clear condensation seen on the west limb at the eclipse of 1962 has been studied by Tsubaki (10), Saito and Billings (6), and Waldmeier (38). The central density has been found to be about 10 times that of the normal corona and the size about 10° of solar circumference. Tsubaki (10) shows that the main structure is composed of a loop system. Such loops appear normal to stable condensations as well as 'sporadic condensations' (39).

The thermal radio emission from the Sun comes from the electrons of the Sun's atmosphere and, in the metre waves, from the corona. However, the fact, that the radiation is emitted from a wide range of depth, with many irregularities making it difficult to trace the paths of the rays, means that radio observations have not in the past provided any very satisfactory estimates of coronal temperature nor density. Recently Barkov (40) solved the transfer equation for a spherically symmetrical corona at $\lambda = 9.1$ cm and found a fairly satisfactory agreement with observations. For many years the metre wave solar emissions have led to coronal temperature estimates of about 800 000 °K but a new attack on this problem by Oster and Sofia (41) using their new theory of radiative transfer in a dispersive medium led to about 2×10^6 °K in agreement with recent spectroscopic estimates. The problem has now been reconsidered by Fokker (42) who contends that the Oster dispersion theory is incorrect and arrives at 640 000 °K for the coronal temperature. This is to be compared with spectroscopic evaluation in the next section. The Oster theory has also been criticized by Cronyn (43). The burst emission has led Morimoto (44) to an estimate of coronal streamer (condensation) density that is much higher than those derived from electron scatter or line emission.

In recent years it has been possible to observe the electron corona by radar reflection. Chisholm and James (45) observing at 38.26 MHz have found the effective target size of the Sun, 15 to 20×10^{17} m²; the outward streaming velocity, 16 km s⁻¹; and random mass motions, ± 35 km s⁻¹. Mass motion of this order could account for the coronal emission line widths and would imply that line measurements gave no evidence on thermal broadening. Billings (46) points out that if the mass motions are radial the line broadening effect will be much smaller.

(b) Spectral Emission

Many coronal structures observable in the continuum can also be seen in emission lines and the two types of observation can give a complementary interpretation. The continuum is proportional to electron density and the line emission is approximately proportional to the square of the density. The density can also be derived from the intensity ratios of certain emission lines, e.g. those of Fe XIII, and spacial distributions have been determined from such ratios by Dumont and Perche (50). This work has been extended to Ni XV by Schmiedler, Perche and Wlérick (in preparation).

Line emission observations are well suited to the study of coronal condensations. Kleczek (51) showed the 5303 line to be composed mainly of loops and arches in agreement with

Tsubaki's (10) white light condensations. However, Waldmeier (52) prefers the line 5694 of Ca xv for giving a representation of the size and shape of condensations. Hori (53) has shown that the 5694 coronal line is seen with greater frequency for the more active spots (Class F). Although the 5694 line statistics look much the same as those of slowly changing condensations, dm wave emission areas, and XUV ionizing emission areas, Hori is inclined to associate this line physically with the flare mechanism. Nishi and Nakagomi (54) and also Suzuki and Hirayama (55) find the form of a condensation varies considerably with the emission line used, being largest for the 5303 line. Models have been derived. Bumba *et al.* (56) found 5303 emission closely associated with photospheric magnetic fields.

Systematic coronal line observations have been maintained and considered by Gentili, *et al.* (57), Rösch (58), Gnevyshev (59), Kalinkov and Raikova (60), and Lexa (60a). Waldmeier has studied in (61) the variation of the polar zone through the sunspot cycle, and in (62) the 5303 radial intensity distribution.

The 1961 eclipse visible coronal lines were observed for distribution with heliographic latitude by Kerno *et al.* (63), and a difference between 'hot' and 'cold' regions was detected.

A spectroscopic measurement of the wavelengths of the yellow coronal lines has been made by Boardman and Billings (64) giving the values 5694.44 and 5646.44 Å. Billings (65) has continued his studies of coronal line profiles in an attempt to discriminate between mass motions of (a) an oscillatory, or (b) a radial type. There is evidence of (a) in the sharp features and (b) in the more diffuse features. Billings (66) does not consider that the random Doppler velocities found in the Chisholm and James (45) radar studies would necessarily have a significant line of sight component. Line profiles of 5303 and 6374 with the Fraunhofer line effect eliminated have been made by Nikolsky and Sassanov (67).

Hyder (68) has considered earlier measurements of coronal line polarization together with his own. There are disagreements amongst the observations and moreover there are theoretical complications in that the polarization might be caused by both radiatively and collisionally excited atoms. A full theoretical discussion of 5303 polarization has been given by Charvin (69). Data are insufficient for clear conclusions but there is some agreement with expectations on the magnetic field and on collision excitation. Such calculations have been extended to Fe XIII lines by Perche (69a).

A study of the identification of coronal lines in the ground based observable region has been made by Pryce (70) and Collins (71) who identify 5926 as Ar xv and 7144 as Ni ix. This suggests a total of 39 identified lines. Ten other possible identifications with Ne VIII, Na ix, Mg x, Al xi and Si xii have been proposed by Ch. Pecker (72). Lines of Si x, Al ix, Mg viii and Si ix that should be detectable in the infra-red have been proposed by Münch (73).

However it is in the far ultra-violet and X-ray regions (the XUV) that the greatest efforts at identification have been concentrated. Progressively improved and extended spectra have become available from rocket and satellite spectroscopy (fairly recent review by Tousey (74) and Lindsay (75)). Line spectra have been obtained by Hinteregger *et al.* (76), Blake *et al.* (77), Hall *et al.* (78), Tousey *et al.* (79), Austin *et al.* (80). Standardizations are mainly due to Hinteregger (81). For comparison with these measurements, wavelengths have been predicted mainly by extrapolating spectroscopic data along isoelectronic sequences. Extrapolations and resulting identification lists have been prepared by Pecker and Rohrlich (82), Rohrlich and Pecker (83), Jordan (84), Nikitin (85), Zirin (86), Feldman *et al.* (87).

The greatest resistance to identification was provided by the strong lines in the region 170–220 Å. The first step towards recognition came from the discovery of a similar set of lines in the spectrum of the Zeta torus by Fawcett *et al.* (88) who suspected the iron of the torus walls. This was soon accepted, Elton *et al.* (89). However, before the degree of ionization and spectroscopic transitions could be determined it was necessary to establish further

laboratory techniques to produce the same lines under better controlled conditions. The theta-pinch was used by House (90) and, together with various spark discharges, by Fawcett and Gabriel (91) to produce not only the solar lines but also the spectra of many iron group ions. This made it possible to sort out the lines of the complex ion mixture producing the spectra. In the meantime Neupert (92) effected a separation of ions by their intensity changes with solar activity. As a result of these analyses a classification of most of the solar lines in the 170–220 Å region has been made; Cowan and Peacock (93), Gabriel, Fawcett and Jordan (94), and Gabriel and Fawcett (95), Alexander *et al.* (96, 97). Probably all the identifications of (94) can be accepted.

(c) Coronal Physics

The new attack on coronal physics of recent years has been stimulated by the increase of XUV spectroscopic data. Physical evaluations depend heavily on the ionic excitation, ionization, and recombination coefficients which were reviewed by Seaton (100). Seaton (101) also determined the excitation associated with proton collisions. Since Seaton's review there has not been much change proposed for the effective ionizing rate except that Goldberg *et al.* (102) and van Rensbergen (103) have determined the increase associated with autoionization. On the other hand the recombination coefficients have been profoundly modified by the introduction of dielectronic recombination by Burgess (104, 105, 106).

The degree of ionization in relation to the temperature is affected by the Burgess results and consequently the calculations of House (107) are rendered out of date. Ionization temperatures using dielectronic recombination are found by Burgess and Seaton (108) to be about double the previous values. There is no longer any serious difference between the ionization temperature and the Doppler or equilibrium temperature of the corona. There is no need to postulate that ion temperature is greater than electron temperature although House and Billings (109) consider this to be a partial explanation. Ionization temperatures in coronal condensations by Letfus (110) have been found higher than in the quiet corona. Shklovsky (111) finds 1.5×10^6 °K is high enough to account for coronal X-ray emission. Hughes (111a) suggests measuring temperature from $L\alpha$ scattering.

XUV line intensities have been used extensively to determine coronal ion numbers or densities. For this the relative populations of upper and ground levels are needed and can in some cases be determined by Jordan's (112) method.

Renewed efforts have been made to determine the coronal chemical composition. From the visible and XUV lines, Pottasch (113) and Widing and Porter (114) determine the relative abundances of certain heavy elements and compare results with the photosphere and meteorites. There has been much evidence by Letfus (110), Jefferies and Orrall (115) and Jordan (116) confirming Pottasch's earlier conclusion (117) that Fe and other heavy atoms were more abundant in the corona than the photosphere. On the other hand Dupree and Goldberg (118) find agreement. The possibility that the difference is real has led to some search for an explanation. The infall of meteoritic material has been considered (100), and also the thermal diffusion process (100, 119) whereby the abundance of heavy multiple ions can be increased in the hot regions of a plasma. In a number of papers Brandt *et al.* (120, 121, 122, 123) have discussed analogous problems connecting composition, temperature, solar wind, heliocentric latitude, etc. Neupert (124) and Delache (125, 125a) also relates electron temperature to coronal expansion.

Each XUV or visible line intensity measurement may be used to derive the amount of coronal material within a certain temperature range and this information may then be used to determine a temperature, density, height model of the corona (126). Various attempts by Athay (127), Dupree and Goldberg (118), Jordan (128) and Kanno (129) have led consistently to the conclusion that there is a very thin transition layer separating the corona from the

chromosphere. For such computations it is usual to assume approximate constancy of pressure. On the other hand Livshits and Nikolskii (130) find a $N_e^{2.5} T = \text{const.}$ law for the transition layer. The model so produced has been used by Livshits (131) to balance ultraviolet emission against dissipation of shock wave energy. In this work self absorption of lines is usually neglected but on Stockhausen's evidence (131a) some correction may be necessary.

The very existence of the corona demands a heating mechanism and it is now widely agreed that acoustical energy from the convection zone is transmitted through the photospheric layer and dissipated in the corona. This process has been reviewed by Schatzman (132). Kuperus (133) has made a quantitative study of the various propagation and dissipative processes and derives a coronal model that agrees well with spectroscopic results (128). Birds' analyses (134, 135, 136) give a fairly natural explanation of the rather consistent temperature of the corona as a whole and the rapid drop at the transition zone. Uchida (137) has investigated the effect of facular magnetic fields and finds a result that is rather similar to a coronal condensation. Whitaker (138) finds that energy could be transmitted to the corona by gravity waves.

The physical reality of the Parker hydrodynamic theory of the outward wind through the corona has been supported by an alternative analysis by Caravillano and King (139). New numerical solutions relating to the viscous effects and energy input have been made by Scarf and Noble (140). Jensen (141) has applied Coulomb collision cross-sections to coronal evaporation and finds a mass loss comparable with space probe requirements.

INSTRUMENTS

The recent instrumental developments have been mainly concerned with applications for observations with balloons, rockets, or artificial satellites. Coronagraphs have necessarily been provided with occulting disks which are apodized either by the saw-tooth method or by several nearly equal disks on the axis: (150), Newkirk and Bohlin (151), Zanoni and Hill (152). Zirin and Newkirk (153) have shown that a reflecting coronagraph is feasible. Noxon (154) has developed a coronagraph which can make regular measurements of coronal lines in poor skies.

There have been several developments in XUV reflecting telescopes and spectrographs but, in general, these were not designed specifically for the corona. The increased accuracy of rocket pointing control has, however, enabled Burton, Ridgeley and Wilson (155) to set the slit of their spectrograph 10" outside the solar limb and obtain spectra that are coronal in the region 950–2950 Å.

BIBLIOGRAPHY

1. Fracassini, M., Hack, M. 1963, *Mem. Soc. astr. ital.*, **34**, 277.
2. Chalonge, D., Andriolat, Y. and H. 1963, *Ann. Astrophys.*, **26**, 439.
3. Löchel, K., Högnér, W. 1965, *Z. Astrophys.*, **62**, 121.
4. Michard, R., Sotirovsky, P. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 96.
5. Cimino, M., Croce, V. 1965, *Mem. Soc. astr. ital.*, **36**, 3.
6. Saito, K., Billings, D. E. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 760.
7. Saito, K., Hata, S. 1964, *Publ. astr. Soc. Japan*, **16**, 240.
8. Saito, K. 1965, *Publ. astr. Soc. Japan*, **17**, 1.
9. Tsubaki, T., et al. 1964, *Publ. astr. Soc. Japan*, **16**, 13.
10. Tsubaki, T. 1966, *Publ. astr. Soc. Japan*, **18**, 1.
11. Waldmeier, M. 1965, *Z. Astrophys.*, **61**, 186.
12. Waldmeier, M. 1964, *Z. Astrophys.*, **60**, 28.
13. Falciani, R., Rigutti, M. 1966, *Mem. Soc. astr. ital.*, **37**, 189.
14. Blackwell, D. E., Petford, A. D. 1966, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **131**, 383 and 399.
15. Harvey, J. W. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 832.

16. Stoddard, L. G., *et al.* 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 796.
17. Waldmeier, M. 1966, *Z. Astrophys.*, **63**, 242.
18. Waldmeier, M. 1966, *Astr. Mitt., Zurich*, no. 268.
19. Saito, K. 1965, *Publ. astr. Soc. Japan*, **17**, 421.
20. Falchi, A., *et al.* 1966, *Mem. astr. Soc. ital.*, in print.
21. Falciari, R., Rigutti, M. 1966, *Z. Astrophys.*, **63**, 85.
22. Hata, S., Saito, K. 1966, *Ann. Tokyo astr. Obs.*, **10**, 16.
23. Data Centre A. 1962, *Solar Activity Rep.*, Series 16.
24. 1963, *High Alt. Obs. Rep.* no. 59.
25. 1965, *High Alt. Obs. Rep.* no. 62.
26. Newkirk, G. 1961, *Astrophys. J.*, **133**, 983.
27. van de Hulst, H. C. 1950, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **11**, 135.
28. Nishi, K., Nagasawa, S. 1964, *Publ. astr. Soc. Japan*, **16**, 285.
29. Bohlin, J. D., Hansen, R. T., Newkirk, G. A. 1966, *Communic. AAS Special Meeting on Solar Astronomy*, October 1966.
30. Newkirk, G., Bohlin, J. D. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 234.
31. Gillett, F. C., *et al.* 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 292.
32. Tousey, R. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 600.
33. Fracassini, M. 1963, *Mem. Soc. astr. ital.*, **34**, 15.
34. Blackwell, D. E. 1964, *Space Sci. Rev.*, **1**, 612.
35. Chamberlain, J. W. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 320.
36. Parker, E. N. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 322.
37. Brandt, J. C., *et al.* 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 809.
38. Waldmeier, M. 1963, *Z. Astrophys.*, **56**, 291.
39. Jefferies, J. T., Orrall, F. Q. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 505 and 519.
40. Barkov, V. I. 1965, *Astr. Zu.*, **42**, 749.
41. Oster, L., Sofia, S. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1139.
42. Fokker, A. D. 1966, *Bull. astr. Inst. Netherl.*, **18**, 359.
43. Cronyn, W. M. 1966, *Astrophys. J.*, **144**, 834.
44. Morimoto, M. 1963, *Ann. Tokyo astr. Obs.*, **8**, 125.
45. Chisholm, J. H., James, J. C. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 377.
46. Billings, D. E. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 325.
50. Dumont, J. P., Perche, J. C. 1964, *Mém. Soc. R. Sci. Liège*, **9**, 186.
51. Kleczek, J. 1963, *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **75**, 9.
52. Waldmeier, M. 1963, *Z. Astrophys.*, **58**, 57.
53. Hori, M. 1963, *Z. Astrophys.*, **58**, 117.
54. Nishi, K., Nakagomi. 1963, *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 56.
55. Suzuki, T., Hirayama, T. 1964, *Publ. astr. Soc. Japan*, **16**, 58.
56. Bumba, V., *et al.* 1965, *Publ. astr. Soc. Pacif.*, **77**, 55.
57. Gentili, M., *et al.* 1966, *Ann. Astrophys.*, **29**, 43.
58. Rösch, J. 1963, *C. r. Acad. Sci., Paris*, **256**, 1221.
59. Gnevyshev, M. N. 1963, *Astr. Zu.*, **40**, 401.
- 59a. Rybansky, M. *Bull. astr. Inst. Csl.*, in press.
60. Kalinkov, M. P., Raikova, D. V. 1964, *C. r. Acad. Sci., Paris*, **259**, 2181.
- 60a. Lexa, J. 1965, *Publ. astr. Inst. Csl.*, no. 51, 125.
61. Waldmeier, M. 1964, *Z. Astrophys.*, **59**, 205.
62. Waldmeier, M. 1965, *Z. Astrophys.*, **61**, 144.
63. Kernea, A., *et al.* 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 716.
64. Boardman, W. J., Billings, D. E. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1289.
65. Billings, D. E. 1964, *Astrophys. J.*, **139**, 710.
66. Billings, D. E. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 325.
67. Nikolsky, G. M., Sassanov, A. A. 1964, *Solar Data* 1963 Nov. 12, p. 57.
68. Hyder, C. L. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1382.
69. Charvin, P. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 877.
- 69a. Perche, J. C. 1965, *C. r. Acad. Sci., Paris*, **260**, 6037, and **261**, 5319.
70. Pryce, M. H. L. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1192.

71. Collins, P. D. B. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1206.
72. Pecker, Ch. 1963, *Contr. Inst. Astrophys.*, Paris, Sér. A, no. 302.
73. Münch, G. 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 237.
74. Tousey, R. 1964, *Q.J.R. astr. Soc.*, **5**, 123.
75. Lindsay, J. C. 1964, *Planet. Space Sci.*, **12**, 379.
76. Hinteregger, H. E., *et al.* 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 319.
77. Blake, R. L., *et al.* 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 1.
78. Hall, L. A., *et al.* 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 13.
79. Tousey, *et al.* 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 755.
80. Austin, W. E., *et al.* 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 373.
81. Hinteregger, H. E. 1965, *Space Sci. Rev.*, **4**, 461.
82. Pecker, Ch., Rohrlich, F. 1963, *Astrophys. J. Suppl.*, **8**, no. 79, 227.
83. Rohrlich, F., Pecker, Ch. 1963, *Astrophys. J.*, **138**, 1246.
84. Jordan, C. 1965, *Comm. Univ. London Obs.*, no. 68.
85. Nikitin, A. A. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 482.
86. Zirin, H. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1332.
87. Feldman, V., Fraenkel, B. S., Hoory, S. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 719.
88. Fawcett, B. C., *et al.* 1963, *Nature*, **200**, 1303.
89. Elton, R. C., *et al.* 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 390.
90. House, L. L., *et al.* 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 814.
91. Fawcett, B. C., Gabriel, A. H. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 343.
92. Neupert, W. M. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 446.
93. Cowan, R. D., Peacock, N. J. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 390.
94. Gabriel, A. H., *et al.* 1965, *Nature*, **206**, 390.
95. Gabriel, A. H., Fawcett, B. C. 1965, *Nature*, **206**, 808.
96. Alexander, E., *et al.* 1965, *Phys. Letters*, **14**, 40.
97. Alexander, E., *et al.* 1965, *Nature*, **206**, 176.
100. Seaton, M. J. 1965, *The Solar Spectrum*, ed. de Jager, p. 273, Reidel.
101. Seaton, M. J. 1964, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **127**, 191.
102. Goldberg, L., *et al.* 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 589.
103. van Rensbergen, W. 1967, submitted to *Solar Physics*.
104. Burgess, A. 1964, *Astrophys. J.*, **139**, 776.
105. Burgess, A. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 774.
106. Burgess, A. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1588.
107. House, L. L. 1964, *Astrophys. J. Suppl.*, **8**, no. 81, 307, 1964.
108. Burgess, A., Seaton, M. J. 1964, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **127**, 355.
109. House, L. L., Billings, D. F. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 1182.
110. Letfus, V. 1965, *Bull. astr. Inst. Csl.*, **16**, 231.
111. Shklovsky, I. S. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 676.
- 111a. Hughes, C. J. 1965, *Astrophys. J.*, **142**, 321.
112. Jordan, C. 1965, *Phys. Letters*, **18**, 259.
113. Pottasch, S. R. 1964, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **128**, 73.
114. Widing, K. G., Porter, J. R. 1965, *Ann. Astrophys.*, **28**, 779.
115. Jefferies, J. T., Orrall, F. R. 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 231.
116. Jordan, C. 1966, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **132**, 463.
117. Pottasch, S. R. 1964, *Space Sci. Rev.*, **3**, 816.
118. Dupree, A. K., Goldberg, L. 1966, submitted to *Solar Physics*.
119. Chapman, S. 1958, *Proc. Phys. Soc.*, **72**, 353.
120. Brandt, J. C., *et al.* 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 809.
121. Brandt, J. C., *et al.* 1965, *Icarus*, **4**, 19.
122. Brandt, J. C. 1966, *Observatory*, **86**, 138.
123. Brandt, J. C. 1966, *Astrophys. J.*, **143**, 266.
124. Neupert, W. M. 1964, *Astrophys. J.*, **139**, 935.
125. Delache, Ph. 1965, *C. r. Acad. Sci.*, Paris, **261**, 643.
- 125a. Delache, Ph. 1966, in *Symp. on Interdisciplinary Aspects of Radiative Transfer*, Philadelphia, February, 1966.

126. Allen, C. W. 1965, *Space Sci. Rev.*, **4**, 91.
 127. Athay, R. G. 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 784.
 128. Jordan, C. 1965, Thesis.
 129. Kanno, M. 1966, *Publ. astr. Soc. Japan*, **18**, 103.
 130. Livshits, M. A., Nikolskii, G. M. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 75.
 131. Livshits, M. A. 1964, *Astr. Zu.*, **41**, 473.
 131a. Stockhausen, R. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 277.
 132. Schatzman, E. 1965, *Introduction to Solar Terrestrial Relations*, Eds. J. Ortner and H. Masseland, p. 112, Reidel.
 133. Kuperus, M. 1965, *Rech. astr. Obs. Utrecht*, **17**, no. 1.
 134. Bird, G. A. 1964, *Astrophys. J.*, **139**, 684.
 135. Bird, G. A. 1964, *Astrophys. J.*, **140**, 288.
 136. Bird, G. A. 1964, *Astrophys. J.*, **141**, 1455.
 137. Uchida, Y. 1963, *Publ. astr. Soc. Japan*, **15**, 376.
 138. Whitaker, W. A. 1963, *Astrophys. J.*, **137**, 914.
 139. Carovillano, R. L., King, J. H. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 526.
 140. Scarf, F. L., Noble, L. M. 1965, *Astrophys. J.*, **141**, 1479.
 141. Jensen, E. 1963, *Astrophys. Norv.*, **8**, 99.
 150. *Sky Telesc.*, 1962, **24**, 197, 315, 327; 1964, **28**, 16.
 151. Newkirk, G., Bohlin, J. D. 1964, *Appl. Optics*, **3**, 543.
 152. Zanoni, C. A., Hill, H. A. 1965, *J. opt. Soc. Am.*, **55**, 1608.
 153. Zirin, H., Newkirk, G. 1963, *Appl. Optics*, **2**, 977. *High Alt. Obs. Repr.*, no. 298.
 154. Noxon, J. F. 1966, *Astrophys. J.*, **145**, 400.
 155. Burton, W. M., et al. 1966-67, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, in press.

WORKING GROUP ON SOLAR ECLIPSES

CHAIRMAN: J. Houtgast

The total eclipses of 1965 May 30, and 1966, November 12, the annular-total eclipse of 1966, May 30, were actively observed from the ground, from aircrafts and with sounding rockets.

In connection with the total eclipses, steps were taken by the General Secretary of IAU to implement the Resolution no. 5 passed by the IAU General Assembly in Hamburg, in order to avoid interference caused to ground based observations by vapour trails from airplanes.

A comprehensive report of the work performed during the 1965-66 eclipses will be prepared after the next IAU General Assembly.

WORKING GROUP ON CENTRAL LINE INTENSITIES

CHAIRMAN: A. K. Pierce

The Working Group actively pursued its goals during the last three years and intermediate progress reports were circulated to members and interested colleagues.

A comprehensive report will be prepared after the coming IAU General Assembly.