

36. COMMISSION DE LA SPECTROPHOTOMETRIE

PRÉSIDENT: M. CHALONGE.

MEMBRES: Mlle Adam, MM. Adel, Allen, L. H. Aller, E. A. Baker, Barber, Barbier, Beals, W. Becker, Brück, ten Bruggencate, Chandrasekhar, Dufay, Dunham, D. S. Evans, Goldberg, Greaves, Greenstein, Hall, Hiltner, Houtgast, Hunaerts, Hunter, Mlle Iwanowska, MM. Järnefelt, Kienle, R. B. King, Kourganoff, Kuiper, Kuprevich, Lindblad, McCrea, McKellar, Melnikov, Menzel, Minkowski, Minnaert, Münch, Mustel, Öhman, Pannekoek, Pecker, Plaskett, Rahman, Redman, Righini, Rudkjøbing, G. A. Shajn, Shane, Spitzer, Strassl, Strömgren, Struve, Thackeray, Unsöld, Wempe, O. C. Wilson, Woolley, K. O. Wright, Yü.

SOUS-COMMISSION DES ÉTALONS D'INTENSITÉS DE RAIES

PRÉSIDENT: M. K. O. WRIGHT.

MEMBRES: MM. Greenstein, Houtgast, Plaskett, Redman.

SOUS-COMMISSION POUR LA THÉORIE DES ATMOSPHÈRES STELLAIRES

PRÉSIDENT: M. M. G. J. MINNAERT.

MEMBRES: MM. Barbier, Biermann, Chandrasekhar, Goldberg, Kosirev, Kourganoff, Labs, Menzel, Münch, Plaskett, Sobolyev, Spitzer, Strömgren, Mlle Underhill, M. Unsöld.

Les techniques de la spectrophotométrie sont devenues d'un emploi si général en astrophysique que l'on pourrait rattacher à cette commission un nombre de travaux beaucoup plus considérable qu'il n'a été fait dans le présent rapport.

Il sera discuté ici plus spécialement de ceux d'entre eux qui apportent des innovations techniques ou des améliorations dans les bases expérimentales ou les méthodes de la spectrophotométrie, les autres n'étant souvent que brièvement mentionnés.

D'autre part, un grand nombre de publications, principalement celles qui se rapportent aux raies (contours, intensités totales, courbes de croissance, etc.), bien que faisant en général usage d'observations nouvelles, comportent une grande part de discussions et d'interprétations d'ordre théorique et relèvent plutôt soit de la sous-commission de la théorie des spectres stellaires, soit de la Commission de spectroscopie; quant aux travaux solaires ils sont en général déjà passés en revue dans le rapport de M. Minnaert pour la Commission de la radiation et de la spectroscopie solaire.

Dans des rapports distincts, M. Minnaert présente les travaux théoriques concernant les problèmes de spectrophotométrie, et K. O. Wright résume les travaux de la sous-commission des étalons d'intensité pour les raies.

L'ensemble des trois rapports couvre ainsi les principaux champs d'activité de la spectrophotométrie.

Je suis heureux d'exprimer ici ma reconnaissance à tous les collègues membres de la Commission qui ont contribué par leurs informations à l'établissement de ces rapports.* Je remercie Mlle L. Divan pour l'aide qu'elle m'a apportée dans l'exécution du présent rapport.

I. SPECTROGRAPHES (PARTIE OPTIQUE)

Le rapport du Comité National Japonais mentionne d'intéressants progrès réalisés au Japon pour la production de réseaux et de prismes: Y. Fujioka, T. Kitayama et Y. Sakayanagi ont réussi à fabriquer de bons réseaux plans ainsi que de grands monocristaux de NaCl, KCl, etc.

* Les renseignements généraux sur les travaux soviétiques contenus dans le rapport de E. R. Mustel ont été inclus dans le présent rapport. Les informations concernant les recherches accomplies au Japon, reçues tardivement, sont en partie mentionnées dans ce rapport, en partie reproduites en appendice.

Peu de nouveautés sont à signaler dans l'arrangement optique général des spectrographes à part le montage du spectrographe installé sur une fusée pour l'étude du spectre solaire dans l'ultraviolet lointain [I, 1]* et un nouveau modèle de spectrographe à miroirs de grande ouverture utilisable dans l'ultraviolet et destiné à des recherches sur le ciel nocturne et les nébuleuses [I, 2].

On peut toutefois mentionner diverses réalisations. Je citerai tout d'abord (bien qu'il ne constitue pas une nouveauté de principe) l'emploi fait par Woolley et Gottlieb [I, 3] d'un réseau de fils parallèles très peu serrés (à peu près un fil par cm.) placé devant l'objectif d'un réfracteur pour obtenir de très petits spectres utilisables à des mesures spectrophotométriques grossières mais applicables à des étoiles faibles (voir plus loin).

Un nouveau procédé d'élargissement des spectres stellaires a été appliqué à un spectrographe à fente à optique de quartz enregistrant tout le domaine 6500–3000 Å. [I, 4, 5]. Il consiste à imprimer au porte-plaque un mouvement oscillatoire de faible amplitude dans son plan, le centre de rotation se trouvant sur le prolongement ultraviolet du spectre. Le spectre obtenu ainsi a une hauteur plus faible dans l'ultraviolet (0,3 mm. vers 3000 Å.) que dans le rouge (1 mm. à H_{α}). Pour un même noircissement dans le rouge, un tel spectre présente dans l'ultraviolet un noircissement plus fort que si sa hauteur restait constante d'un bout à l'autre. Ce dispositif est très favorable pour l'étude des spectres peu intenses dans l'ultraviolet: étoiles A0, sources incandescentes à température peu élevée, etc.

Tolansky et Ranade décrivent [I, 6] une modification à l'interferomètre Fabry-Pérot permettant d'utiliser les franges par réflexion: le gain énorme en luminosité ainsi réalisé rendrait l'instrument applicable à des sources faibles.

Treanor [I, 7] utilise l'interferomètre Fabry-Pérot à l'étude du spectre solaire. Un petit étalon placé derrière le spectroscopie solaire d'Oxford reçoit la lumière d'une étroite portion du spectre et en permet l'analyse. Cet arrangement rend possible la détermination photométrique des contours de raies.

En Astronomie, on peut considérer que l'atmosphère terrestre constitue une partie et même une partie nuisible de l'optique du spectrographe par suite de l'agitation qu'elle imprime aux images stellaires et de l'absorption qu'elle exerce sur la lumière. Aussi, le transport d'un spectrographe dans une station de haute altitude peut-il être souvent considéré comme un progrès. Jusqu'ici, les astronomes travaillant dans l'ultraviolet avaient à peu près seuls utilisé les observatoires élevés. Migeotte vient de transporter au Jungfraujoch son spectrographe infra-rouge solaire et de se mettre ainsi à l'abri d'une grande partie de l'absorption par la vapeur d'eau: les résultats de ses observations ont été considérablement améliorés, car de nombreux détails du spectre étaient couverts par les bandes de la vapeur d'eau dans les stations de plaine [VI, 13].

II. SPECTROPHOTOMETRIE PHOTOGRAPHIQUE

(a) MICROPHOTOMÈTRES

Ces appareils sont les auxiliaires indispensables des spectrographes photographiques. Deux appareils classiques mais spécialement adaptés à la spectrophotométrie ont été décrits: comme détecteur, l'un utilise une pile de Moll [II, 1], l'autre une cellule photo-électrique au césium et un amplificateur à courant continu [II, 2]. Ce dernier n'est pas un instrument nouveau mais un modèle amélioré d'un instrument ancien. un perfectionnement important a été apporté dans l'amplification par l'emploi de la lampe électromètre double de Laffineur. Le système d'éclairage du cliché a également été amélioré et permet d'éliminer la lumière diffusée provenant de l'ampoule de la lampe.

Dans deux articles [II, 3, 4] dont seul le second nous est parvenu, Markov décrit deux nouveaux modèles de microphotomètres visuels et passe en revue un certain nombre de modèles de microphotomètres connus. Il discute les causes d'erreur dans les mesures et, en particulier, l'influence de la lumière diffusée par le négatif et par le système optique.

* Figures in square brackets refer to entries in the Bibliography on pp. 302–5. The Roman numerals indicate the section under which they are numbered.

Les instruments décrits sont plutôt destinés à la photométrie stellaire qu'à la spectrophotométrie.

Il faut noter l'apparition de deux nouveaux modèles de microphotomètres à lecture directe d'intensité, celui de Babcock [II, 5] en service au Mont Wilson et celui de Laffineur [II, 6] qui en est encore au stade de la mise au point: les instruments de ce type ont l'avantage de réduire notablement le fastidieux travail qu'impliquent les déterminations faites par photométrie photographique.

(b) EMULSIONS

Parmi les travaux concernant la plaque photographique elle-même, on peut noter quelques déterminations assez grossières mais utiles pour l'astronome qui doit choisir une émulsion adaptée à un travail donné [II, 7]. Il serait toutefois désirable que le travail couvre un plus grand nombre de types de plaques.

Un procédé tendant à corriger les 'erreurs locales' de la plaque photographique et à améliorer la précision des déterminations a été décrit [II, 8]. Il ne contribue malheureusement pas à simplifier les méthodes de la photométrie photographique.

(c) GRADATION DE LA LUMIÈRE

Pour la comparaison des spectres continus de deux sources ayant des brillances très inégales, on peut songer à employer deux largeurs différentes de la fente du spectrographe, la fente la plus fine étant réservée au spectre le plus brillant: l'égalité des temps de pose, condition favorable à une spectrophotométrie correcte, pourrait ainsi être réalisée. Mais trois publications successives [II, 9, 10, 11] attirent l'attention sur les erreurs que peut entraîner l'emploi d'une fente trop fine: la distribution de l'énergie dans un spectre continu qu'enregistre un spectrographe muni d'une telle fente peut être grossièrement altérée si le système optique qui concentre la lumière sur la fente n'a pas une ouverture numérique assez grande.

III. SPECTROPHOTOMETRIE PHOTOELECTRIQUE

(a) EMPLOI D'UNE CELLULE PHOTOÉLECTRIQUE SIMPLE

Malgré les perfectionnements apportés aux techniques de la photométrie photographique, ces procédés d'étude des spectres restent longs et pénibles. De plus, la photographie cesse pratiquement de pouvoir rendre des services dès le proche infra-rouge. Aussi, s'efforce-t-on de plus en plus de s'affranchir de la photographie et d'étudier les spectres par des méthodes photoélectriques.

L'emploi d'une cellule est beaucoup plus facile pour les études solaires que pour les études stellaires. Kuprevich [III, 1] a réalisé un spectrophotomètre solaire à cellule photoélectrique et amplificateur (H. A. Brück avait déjà réalisé un instrument semblable, il y a quelques années, *Monthly Notices*, 99, 8, 1939) l'auteur insiste sur l'utilité que présente l'enregistrement détaillé et rapide du spectre solaire dans de nombreux problèmes, en particulier pour l'étude des relations entre les phénomènes solaires et terrestres.

(b) EMPLOI DE CELLULES A MULTIPLICATEURS D'ELECTRONS

Nous n'en sommes encore en ce qui concerne la spectrophotométrie photoélectrique stellaire qu'aux premiers tâtonnements, mais la supériorité que garde pour l'instant la photographie pourrait disparaître assez vite.

Par contre, on note dès maintenant le succès croissant des méthodes de 'photométrie de plusieurs couleurs' qui consistent à diviser le spectre en un certain nombre de régions et à mesurer, en général photoélectriquement, l'énergie globale que contient chacune d'elles: ces méthodes caractérisent une marche très nette de la photométrie vers le spectro-

photométrie photoélectrique. Ces mesures se font généralement à l'aide de photomètres à photomultiplicateurs munis d'un certain nombre de filtres colorés. L'un des photomultiplicateurs les plus employés jusqu'ici reste le tube IP₂₁ de la R.C.A. Il constitue l'élément sensible des deux nouveaux photomètres dont l'un vient d'être installé par Whitford sur le réflecteur de 15 pouces de l'Observatoire Washburn et l'autre par Kron sur le réflecteur de 12 pouces de Lick [v, 2]. C'est à l'aide de ces photomètres que O. Eggen peut exécuter les recherches dont il sera question un peu plus loin. Un photomètre analogue fonctionne depuis peu à l'Observatoire d'Uppsala [III, 2].

La sensibilité actuellement atteinte avec des appareils de ce genre est définie par la donnée suivante: Stebbins et Whitford ont pu étudier une étoile de magnitude 19,3 avec leur photomètre (muni de la cellule IP₂₁ la plus perfectionnée, et refroidie) associé au réflecteur de 100 pouces du Mt Wilson et muni des filtres bleu et jaune habituels [III, 3].

Lenouvel a installé également un photomètre photoélectrique à l'Observatoire de Haute-Provence, mais il utilise le photomultiplicateur de Lallemand dont il sera question un peu plus bas [III, 4].

Passons maintenant à la spectrophotométrie proprement dite.

Hiltner travaille à équiper un spectrographe à grande dispersion d'un dispositif à multiplicateurs pour l'étude spectrophotométrique directe des contours de raies. La principale difficulté n'est pas d'obtenir une sensibilité suffisante mais de compenser les variations d'intensité dues à la scintillation: Hiltner s'efforce de surmonter cet obstacle en faisant varier l'amplification en raison inverse du flux qui pénètre dans la fente [III, 5].

Le laboratoire de Physique Astronomique de l'Observatoire de Paris réalise, sous la direction de A. Lallemand, des multiplicateurs à plusieurs étages (les derniers construits ont 19 étages), sensibles entre la limite ultra-violette des spectres des astres et le proche infra-rouge [III, 6].

À l'Institut d'Astrophysique de Paris, Laffineur essaie d'équiper de ces multiplicateurs le petit spectrographe qui est décrit dans [I, 4, 5].

(c) EMPLOI DE CELLULES PHOTOCONDUCTRICES

Les cellules photoconductrices les plus employées sont celles au sulfure de plomb. À côté des cellules Cashman, il faut signaler maintenant celles que construisent A. Lallemand et B. Bartels à l'Observatoire de Paris et qui ont des performances très comparables [III, 7].

De nouvelles cellules photoconductrices, les unes au sélénium, les autres au tellure de plomb ont une sensibilité s'étendant plus loin dans l'infra-rouge.

Les cellules photoconductrices sont employées principalement sur des spectrographes solaires, destinés à l'étude du proche infra-rouge. Ces spectrographes ont la caractéristique d'être précédés par un petit monochromateur qui élimine la lumière diffusée provenant de la partie centrale, très intense, du spectre solaire.

Trois spectrographes répondent aux caractères précédents: les deux premiers, semblables, sont des instruments à réseaux, à grande dispersion du type de Pfund (analogues à celui qui utilise Migeotte); ils ont été installés aux observatoires McMath-Hulbert et du Mont Wilson et ont déjà permis de nombreuses et importantes recherches [III, 8, 9]. Le troisième, en construction à l'Institut d'Astrophysique de Paris, est un spectrographe à prismes de quartz et à miroirs. Il sera employé par Peyturaux à l'étude quantitative du spectre continu solaire.

Ces spectrographes peuvent évidemment utiliser aussi comme appareil détecteur un thermo-élément: pour aller au delà de 5μ on ne connaît pour l'instant pas d'autre méthode.

IV SOURCES DE COMPARAISON

Les recherches de spectrophotométrie absolue (photographique ou photoélectrique) se font en comparant le rayonnement de l'astre étudié à celui d'une source lumineuse terrestre ayant une répartition d'énergie bien connue. La comparaison est évidemment d'autant plus facile que le rayonnement de la source terrestre est plus semblable à celui de l'astre.

Dans le cas du Soleil, cette similitude signifie non seulement des températures de couleur voisines mais aussi, dans la mesure du possible, des brillances pas trop différentes. Un travail très important pour le choix d'une telle source vient de paraître à Utrecht [IV, 1]: il concerne la production et la mesure des températures hautes et constantes jusqu'à 7000° (four électrique, arc, flamme).

Une source de spectre continu à grande brillance et dont il ne semble pas avoir encore été fait usage en Astrophysique consiste en un arc jaillissant entre électrodes de tungstène dans une atmosphère de gaz rares à l'intérieur d'un tube de quartz. La source émet un spectre continu allant de l'infra-rouge à l'ultra-violet et sa brillance peut atteindre 5000 bougies/cm.² [IV, 2, 3, 4, 5].

Une communication personnelle de H. Kienle annonce les premiers résultats qu'il a obtenus dans l'étude de lampes de cette espèce, lampes au xénon construites par Schulz: la distribution de l'énergie dans le spectre varie extrêmement peu avec l'intensité du courant employé pour exciter la lampe, une variation d'intensité de 20 % ne produisant qu'un changement très faible dans la courbe d'énergie de la lampe: c'est là une condition très favorable pour l'emploi de telles lampes comme sources étalons. La vie moyenne d'une lampe, qui est de l'ordre de 300 heures, peut être prolongée si on la sous-volte.

Pour les recherches relatives aux étoiles, on peut recommander l'emploi de sources fluorescentes constituées par un mélange de certaines poudres (sels minéraux cristallisés) placé entre deux lames de quartz: sous l'influence du rayonnement ultraviolet d'une lampe à vapeur de mercure sous faible pression (raies de résonance et raies voisines), elles émettent un spectre continu s'étendant de 2800 Å. jusqu'au delà de 7000 Å. Ces sources, de faible brillance, ont l'avantage d'une très grande stabilité: la forme de leur courbe d'énergie semble dépendre très peu de la composition et de l'intensité du rayonnement excitateur. Aussi de telles plaquettes fluorescentes pourraient-elles constituer des sources étalons faciles à échanger entre laboratoires et permettant de définir avec une bonne approximation un spectre de référence standard: on pourrait songer à utiliser une telle source pour définir, selon la suggestion de Greenstein (voir plus loin), le fond continu d'une étoile dont on veut étudier quantitativement les raies (voir le rapport de K. O. Wright, sub-commission of line Intensity-Standards).

Ces poudres sont préparées à Paris par Servigne. Une étude actuellement en cours sera bientôt publiée à leur sujet. Pour l'instant les seules références sont un travail de Vigroux [*Ann. Astrophys.* 5, 41, 1942] et une courte publication de Servigne [*G.A.M.S. Congrès* 1948, p. 121].

V. SPECTROPHOTOMETRIE DES SPECTRES CONTINUS

(a) PHOTOMÉTRIE DE PLUSIEURS COULEURS

Comme il a été signalé plus haut, on peut rattacher à la spectrophotométrie la 'photométrie de plusieurs couleurs', telle que la pratiquent avec tant de succès Stebbins et Whitford depuis quelques années.

La photométrie de plusieurs couleurs ne peut prétendre, ainsi qu'on le verra plus loin, atteindre des résultats aussi précis que la spectrophotométrie proprement dite. Mais pour l'étude d'astres faibles, pour l'exploration rapide de vastes régions (recherche d'étoiles très rougies par absorption, etc.), pour la surveillance de fluctuations rapides et de faible amplitude dans le rayonnement d'une étoile, les méthodes de cette espèce sont très efficaces.

C'est par cette méthode que Stebbins et Whitford ont pu mettre en évidence un rougissement des nébuleuses extragalactiques éloignées [v. 1]. La cause de ce rougissement n'est pas encore très clairement expliquée. Pour les nébuleuses extragalactiques les plus proches, ils trouvent un excès de rouge et un excès d'ultraviolet par rapport au rayonnement d'une étoile moyenne: cette répartition s'explique bien par un mélange convenable d'étoiles des divers types.

O. Eggen, utilisant les photomètres photoélectriques des Observatoires Washburn et Lick à l'étude des étoiles d'un certain nombre d'amas (Hyades, Pléiades, Coma Berenices, Ursa Major), vient de montrer l'existence des séquences nouvelles, les 'naines bleues', les 'naines bleues brillantes', distinctes de la séquence des naines [v, 2, 3, 4].

On peut encore signaler un travail de Westerlund [v, 5] qui se rattache nettement à la photométrie de plusieurs couleurs, mais utilise une méthode photographique. Il fait usage d'un télescope de Schmidt muni d'un réseau objectif et de plaques Kodak 103 E. Grâce à la forme de la courbe de sensibilité de ces plaques, les images du premier ordre se réduisent sensiblement à 2 maxima (un bleu, un rouge) séparés par un minimum très prononcé dans le jaune. En mesurant les deux maxima et le minimum, on peut déterminer sur *une seule* plaque les magnitudes bleue, jaune et rouge et deux indices de couleur différents.

Dans ce groupe de travaux qui marquent la transition entre la photométrie et la spectrophotométrie, peuvent être classées d'autres recherches, effectuées à Stockholm sur des spectres très courts par des méthodes depuis longtemps classiques en Suède [v, 6, 7].

Le réseau de fils employé par Woolley et Gottlieb [1, 3] et déjà mentionné plus haut permet d'obtenir en une quinzaine de minutes un petit spectre d'une étoile de dixième grandeur: on ne peut mesurer sur ce spectre qu'une magnitude bleue et une rouge (c'est pourquoi cette méthode est classée dans le § (a) plutôt que dans le § (b)): on en déduit un gradient avec une précision qui serait de l'ordre de 0,08, résultat assez surprenant lorsqu'on sait la difficulté des déterminations de gradients.

(b) SPECTROPHOTOMÉTRIE STELLAIRE RELATIVE

Plusieurs études sont parues ou en cours d'exécution sur la spectrophotométrie des spectres continus. Ce sont des études relatives: la courbe d'énergie du spectre continu des étoiles y est déterminée par comparaison avec celle d'étoiles standard qui ont été préalablement l'objet d'une étude absolue (c'est-à-dire comparées directement à une source terrestre connue). Toutes font appel à la photométrie photographique, sauf celles de Gauzit et Proisy [v, 8], les déterminations de ces deux auteurs sont faites visuellement, par égalisation de couleur et permettent l'établissement d'une échelle de températures de couleur qui se trouve être très voisine de l'échelle résultant des mesures spectrophotométriques les plus récentes.

De tous les travaux parus, le plus important par son étendue (166 étoiles) et ses résultats est celui de Gascoigne [v, 9]. Prolongeant en quelque sorte le travail fondamental de Greenwich (pour l'intervalle spectral 4500-6500 Å.), il constitue la première étude spectrophotométrique systématique des étoiles de l'hémisphère Sud. Il apporte notamment des données nombreuses sur les étoiles B, plus faciles à observer dans l'hémisphère Sud que dans l'hémisphère Nord. L'étude des étoiles les plus bleues du ciel conduit, pour le type B₀, à une température de couleur plus élevée qu'on ne l'admettait jusqu'ici: 38,000° dans l'échelle de Greenwich (température de couleur des A₀: 16,000°).

Pour la fixation de l'échelle des températures de couleur en fonction du type spectral, la discussion de Gascoigne montre bien que ce sont les déterminations spectrophotométriques qui doivent servir de base et non les données semi-photométriques telles que celles de Stebbins et Whitford* qui reposent sur l'étude d'une série de bandes spectrales plus ou moins larges dont l'intensité globale est influencée par la fréquence de raies, variant elles-mêmes en nombre et en importance avec le type spectral.†

* Ou celles de Gauzit et Proisy.

† Voir, sur le même sujet, la remarque contenue dans une lettre de Greaves [Vd].

W. Petrie [v, 10] a déterminé les gradients spectrophotométriques de 39 étoiles B, O et de Wolf-Rayet. Cette étude qui couvre le domaine spectral 3400–6250 Å., n'est pas conduite avec une précision suffisante pour déceler l'existence de la discontinuité de Balmer, qui, bien que faible, est certainement très appréciable dans le cas des étoiles observées. L'auteur pensait pouvoir corriger les gradients individuels qu'il détermine pour chaque étoile, du rougissement interstellaire à partir de la mesure de l'intensité de la raie K interstellaire. Mais il n'a pu parvenir qu'à l'évaluation du gradient moyen pour chaque type spectral considéré.

L'étude spectrophotométrique de quelques céphéides a été faite par R. Canavaggia [v, 11] et par M. C. Ballario et M. Hack [v, 12]. La nouveauté, dans le travail de R. Canavaggia, réside dans l'étude faite pour la première fois de la région ultraviolette et de la discontinuité de Balmer.

A partir des spectres obtenus entre 1936 et 1939 à l'observatoire de Siméïs, en collaboration avec G. A. Shajn, Dobronravin a étudié la distribution de l'énergie dans les spectres de β Peg, ρ Peg et α Her entre 4000 et 8000 Å. par comparaison avec le spectre de α Ari. Le spectre de ces étoiles diffère de celui de α Ari et il est certain que l'absorption par les bandes de l'oxyde de titane contribue pour beaucoup à la décroissance du rayonnement le long du spectre [v, 13].

Des travaux étendus sont en cours dans divers observatoires. A Hambourg-Bergedorf, on observe les spectres continus des étoiles à grandes vitesses, des étoiles A à raies métalliques, des étoiles de certains amas ouverts.

A l'Institut d'Astrophysique de Paris ont été étudiés les spectres de quelques sous-naines [v, 14] et d'étoiles A à raies métalliques [v, 15]: dans les deux cas la discontinuité de Balmer a été trouvée beaucoup plus faible que dans les étoiles normales ayant un spectre analogue. Pour trois shell-stars de types voisins de B3 la discontinuité de Balmer observée est au contraire très supérieure à la normale [v, 16]. Il en est de même pour HD 190,073 [v, 18]. Des étoiles particulières sont également à l'étude (λ Boo [v, 17], etc.).

(c) SPECTROPHOTOMÉTRIE STELLAIRE ABSOLUE—TEMPÉRATURES DE BRILLANCE

Spectrophotométrie absolue

On groupe sous le titre de 'spectrophotométrie stellaire absolue' les comparaisons directes entre les spectres continus stellaires et le spectre d'une source terrestre bien connue qui, en fait, est toujours le corps noir.

Les seules nouvelles déterminations de cette nature qui soient à signaler sont actuellement en cours à l'Institut d'Astrophysique de Paris et n'ont pas encore été l'objet de publication. Elles semblent confirmer entièrement les résultats annoncés par Kienle [*Zs. f. Ap.* 20, 91, 1940]: la description du spectre continu d'une étoile des premiers types spectraux par une seule température de couleur dans le domaine 3700–6500 Å. n'est qu'une première et assez grossière approximation; en seconde approximation on peut faire appel à deux températures de couleur correspondant aux deux domaines 3700–4500 et 4500–6500 Å.: pour une étoile A0 la première est supérieure à 16,000° et la seconde inférieure.

En fait, la température de couleur T_c varie d'un bout à l'autre du spectre; elle est fonction de λ . Cette constatation enlève à cette grandeur une partie de son intérêt pratique: les températures de couleur définissent en effet la courbe d'énergie par les pentes de ses tangentes et l'on pourrait tout aussi bien déterminer cette courbe par la valeur de son ordonnée pour plusieurs longueurs d'onde.

Températures de brillance

Cette ordonnée est, à un facteur constant près (variable d'une étoile à l'autre), la brillance moyenne du disque stellaire.* Si l'on parvenait à définir la valeur même de la brillance moyenne du disque, on aurait en valeur absolue la courbe d'énergie de l'étoile. Pour

* La brillance moyenne est la grandeur que les astronomes appellent 'flux'

y parvenir il suffit de connaître, pour une longueur d'onde, la valeur de la brillance moyenne, ou la température de brillance moyenne T_b , du disque de l'étoile. Aussi la détermination des températures de brillance peut-elle être considérée comme un problème fondamental de la spectrophotométrie stellaire.

Ainsi que le rappelle Mustel [VII, 2], les températures de brillance étaient mal connues jusqu'ici. Mais en même temps que le tout récent travail de Pilowski sur ce sujet [v, 19], il faut signaler les recherches entreprises actuellement en divers endroits, notamment à l'Observatoire de Hambourg-Bergedorf et à l'Institut d'Astrophysique de Paris, en vue de les déterminer en plus grand nombre et avec plus de précision.

Les efforts sont orientés vers la mesure de la température de brillance relative à la longueur d'onde effective λ_e pour la magnitude visuelle ou photographique. Sa détermination est immédiate si l'on connaît le rayon et la parallaxe de l'étoile étudiée, ainsi que la magnitude stellaire du Soleil.* La brillance a pu être déterminée de cette façon pour les rares étoiles† [v, 23] dont on connaît à la fois le rayon et la parallaxe.

W Becker a proposé une ingénieuse méthode pour augmenter le nombre de ces déterminations directes‡ [v, 24]. Il considère les étoiles doubles à éclipses: leur observation permet d'évaluer le rapport des rayons et le rapport des luminosités des deux composantes, d'où le rapport de leurs brillances (la connaissance de la parallaxe est inutile): à partir de là en supposant connues les températures de couleur T_c des deux étoiles, Becker parvient à établir une relation empirique entre T_b et T_c , d'une façon plus simple et un peu schématique, on peut dire que, lorsque l'on connaît le rapport des brillances des deux étoiles ainsi que leur type spectral, si l'une des composantes appartient à un type dont la température de brillance est connue, on en déduit celle de l'autre.

Une autre méthode, très indirecte, pour l'évaluation de la température de brillance relative à la longueur d'onde effective λ_e qui correspond à la magnitude repose sur l'emploi des températures effectives et des corrections bolométriques [v, 21, 22, 25]. Ces dernières grandeurs étant mal connues, la méthode ne peut pas conduire à des résultats très précis.

Lorsque l'on a déterminé par l'une ou l'autre des méthodes ci-dessus la brillance pour une certaine longueur d'onde, il est facile de la calculer de proche en proche pour toute la partie du spectre dont la température de couleur est connue [v, 22]. On peut procéder ainsi [v, 23]: en vertu des définitions mêmes de T_c et T_b on peut écrire la relation

$$B_\lambda (T_b) = \phi B_\lambda (T_c)$$

où B_λ désigne la fonction de Planck et ϕ une constante pour l'intervalle spectral où T_c est constant. Si l'on connaît une valeur de T_b dans l'intervalle spectral en question, ϕ est déterminé. La connaissance de T_c et de ϕ définit donc complètement le spectre continu qualitativement et quantitativement.

Il est facile de voir, en s'appuyant sur les relations dites d'Eddington-Barbier [v, 26], que ϕ doit être inférieur ou supérieur à 1 suivant que le coefficient d'absorption de l'atmosphère stellaire est fonction croissante ou décroissante de λ [v, 27, 28]. Il doit donc être inférieur à 1 pour les types O, B, A si l'hydrogène atomique y est la seule cause d'absorption continue. Le fait que l'on trouve quelques valeurs de ϕ un peu supérieures à 1 dans la région ultraviolette ($\lambda < 3700 \text{ \AA}$.) pour les premiers types spectraux conduit à suspecter que l'échelle des températures de couleur de Barbier et Chalonge n'est pas très exacte. De nouvelles comparaisons directes du rayonnement des étoiles B au corps noir sont en cours à l'Institut d'Astrophysique de Paris en vue de redéterminer le zéro de cette échelle.

Des tentatives sont faites en vue d'évaluer directement le facteur ϕ à partir de l'in-

* Une nouvelle détermination de cette magnitude vient d'être faite [v, 20]. Le passage des magnitudes au rayonnement continu monochromatique exige des corrections de raies qui ont été refaites pour les divers types spectraux [v, 21, 22].

† Milford a utilisé pour le Soleil les données absolues de Pettit qui semblent moins précises que celles de Mulders. Mais il est facile de revenir aux données de Mulders.

‡ Son travail est d'ailleurs le premier en date de tous ceux qui sont cités ici.

tensité restante au centre des raies d'absorption de l'hydrogène: si l'on parvient à déduire de cette intensité restante la température superficielle de l'étoile, le problème serait résolu [v, 23, 29].

(d) SPECTROPHOTOMÉTRIE SOLAIRE

Les extrémités du spectre continu du centre du disque solaire ont fait l'objet de nouvelles recherches.

R. Michard a repris les mesures radiométriques de Pettit [*Ap. J* 91, 159, 1940] et amélioré les valeurs des termes correctifs déterminés par cet auteur pour tenir compte de l'influence des raies. Il est parvenu ainsi à des résultats (températures de couleur et discontinuité de Balmer) en accord assez satisfaisant avec ceux de Canavaglia-Chalonge [v, 30].

Les données récemment obtenues par ces derniers auteurs sur la région de courte longueur d'onde ($\lambda < 6000$ A.) ont été améliorées par l'emploi de termes correctifs tenant compte du pouvoir de résolution insuffisant du spectrographe employé [v, 31].

La discussion des résultats a été faite après transformation des brillances monochromatiques améliorées en températures de brillance [v, 28]: on voit ainsi que le sens de variation du coefficient d'absorption de la matière photosphérique change lorsqu'on traverse la discontinuité de Balmer. Ce fait révèle l'apparition d'une nouvelle cause d'absorption dans le domaine ultraviolet. Les résultats donnés par E. Vitense [v, 37] permettent d'attribuer cette absorption à la diffusion de Rayleigh par les atomes d'hydrogène non ionisés.

La même discussion étendue à la région infra-rouge montre que le maximum de transparence de la photosphère, que les travaux théoriques situaient au voisinage de $1,6\mu$, se produit vers 2μ . Cette anomalie peut s'expliquer en admettant que les valeurs de I_λ de Mulders pour le centre du disque sont un peu trop fortes* dans cette région spectrale. Peyturaux essaie actuellement de redéterminer cette partie du spectre continu du centre du disque solaire en comparant le rayonnement à celui d'une lampe étalon à ruban de tungstène au moyen d'une cellule Lallemand-Bartels au sulfure de plomb. Les premiers résultats [v, 38], justifiant l'hypothèse faite, mettent en évidence un défaut de la courbe de Mulders et ramènent le minimum vers $1,6\mu$.

Les travaux sur l'assombrissement entre le centre et le bord du disque solaire sont importants. La région infra-rouge a été explorée en détails au moyen de cellules à sulfure de plomb et de thermopiles [v, 32, 33] et les données s'étendent maintenant jusqu'à $10,2\mu$: pour que le spectre continu solaire soit connu jusque là, il faudrait étendre aussi dans l'infra-rouge l'étude absolue du spectre continu du centre du disque.

Mais ces travaux, comme les travaux antérieurs, s'arrêtent à une distance appréciable du bord du disque.† Or la connaissance de l'assombrissement jusqu'au voisinage immédiat du limbe aurait un très grand intérêt théorique: ce résultat a pu être atteint pour quelques longueurs d'onde.

Minnaert et ses collaborateurs ont pu mesurer avec une grande précision l'assombrissement pour les longueurs d'onde 5593 et 6245 A. jusqu'à $0,995R$, par une méthode photographique [v. 34], et T. V. Krat [v, 35] a fait un travail analogue jusqu'à la même distance du bord, pour les longueurs d'onde 4895, 5358 et 6687 A., à partir de spectrohéliogrammes. Les deux groupes de résultats sont en excellent accord.

D'autre part, un travail récent de ten Bruggencate, Golnow et Jager [v, 36] donne une nouvelle possibilité d'étudier l'assombrissement jusqu'au voisinage immédiat du limbe: il suffit d'opérer pendant une éclipse partielle de Soleil et de comparer la distribution des intensités au bord du disque solaire et au bord du disque lunaire, cette seconde observation permettant de corriger la première.

* Il est fort possible qu'il en soit ainsi car la lumière diffusée n'était pas éliminée dans les observations d'Abbot.

† On possède cependant quelques informations pour le bord même.

(e) NÉBULEUSES, MATIÈRE INTERSTELLAIRE

La distribution de l'énergie dans le spectre continu de nébuleuses par émission est déterminée par comparaison avec le spectre continu d'une étoile voisine. Barbier a étudié ainsi la nébuleuse d'Orion dans le domaine visible [v, 39]; Minkowski et Aller étudient, eux, un certain nombre de nébuleuses planétaires, de l'extrême rouge à la limite ultraviolette. Ils ont déjà publié les résultats relatifs à NGC 7027 [v, 40].

Les nébuleuses par réflexion ont été également l'objet de recherches spectrophotométriques de la part de Greenstein [v, 41] et de Schalén [v, 42] la couleur de la nébuleuse était comparée à celle de l'étoile excitatrice. Les nébuleuses apparaissent en général comme plus bleues que les étoiles.

Quant à la matière interstellaire, elle continue à faire l'objet de nombreux travaux. Il faut citer notamment les recherches de Baker [vi, 1] qui a obtenu d'intéressants résultats sur la raie interstellaire 4430: ce serait en fait une assez large bande continue (c'est à ce titre que ce travail est cité avec les spectres continus). Duke [v, 43] a cherché une corrélation entre l'intensité de cette bande et le rougissement interstellaire.

Au sujet des recherches faites et à faire sur le spectre continu de la matière interstellaire, Greaves donne des indications très intéressantes dans une lettre dont voici d'importants extraits:

There is a matter which I think might very well be brought to the notice of the Commission. This is the desirability of obtaining good values of gradient excess of reddened stars for all available wave-lengths from the near ultra-violet to the near infra-red.

The desirability of this is obvious since such results should tell us something about the size and distribution in size of scattering particles. I am personally unhappy about the use of photo-electric heterochromatic magnitudes for this purpose since one doesn't really know how these magnitudes are affected by spectral lines. We cannot assume that the line effect will cancel out as between a reddened and a normal star of the same type since reddening is often associated with the 'c' characteristic.

It seems obvious to me that this is a matter for spectrophotometric measurement and that the accuracy of measurement should be the highest which is possible. . . Since my (Presidential) address (to the Royal Astronomical Society) was given [vii, 1] Van de Hulst's valuable paper (*Utrecht Astronomical Researches*, Vol. **11**, part 2) has appeared and as I indicated above I am a little worried about the nature of some of the observational material used. I think the attention of spectrophotometric workers should be drawn to this problem. It seems to me that what is wanted is a detailed examination of the variation with wave-length of magnitude differences of *continuous* spectrum between reddened and unreddened stars.

Des études répondant en grande partie aux desiderata exprimés dans la lettre ci-dessus sont actuellement en cours à l'Institut d'Astrophysique de Paris. L. Divan, utilisant le spectrographe décrit plus haut [i, 4, 5] compare, suivant la méthode classique, les spectres continus de deux étoiles de types aussi voisins que possible, dont l'une est rougie par absorption (par exemple ζ Per et ρ Leo, toutes deux de type $B_1 I_b$); les deux spectres, qui sont pris sur la même plaque et au cours de la même nuit, couvrent tout le domaine 3150–6500 Å. Les courbes $\log \frac{I_1}{I_2} = f\left(\frac{1}{\lambda}\right)$ où I_1 et I_2 désignent respectivement les intensités pour la longueur d'onde λ , de l'étoile non rougie et de l'étoile rougie s'écartent nettement d'une droite entre 5000 et 6500 Å. (leur forme confirme bien les résultats déjà connus); cette courbure semble disparaître entre 5000 et 3100 Å. (contrairement aux résultats annoncés par Barbier et Chalonge, *Ann. Astroph.* **4**, 30, 1941) [v, 44].

VI. SPECTROPHOTOMETRIE DES RAIES

(a) MÉTHODES

La principale nouveauté est la méthode utilisée par Baker [VI, 1]. Elle consiste essentiellement à prendre une série de spectres de l'étoile étudiée, à mesurer, en un grand nombre de points correspondant à des longueurs d'onde bien définies, le noircissement et à combiner ensuite entre elles toutes les mesures relatives à chaque longueur d'onde. On constitue ainsi en quelque sorte un spectre composé duquel on peut espérer qu'ont disparu les effets de la granulation et des autres irrégularités photographiques affectant chaque spectre isolément.

Il est ainsi possible de reconnaître les régions exemptes d'absorption, de fixer avec précision la position du fond continu, d'étudier des raies de très faible intensité, etc.

(b) COURBES DE CROISSANCE

Spectrophotométrie générale des Raies

Les recherches de physique stellaire fondées sur l'utilisation des courbes de croissance ont été nombreuses et concernant la plupart des types spectraux moins avancés que K.

Pour la mise en œuvre de la méthode, un travail de T. Fofanova [VI, 11] apporte d'intéressantes données, notamment au sujet de l'influence de la dispersion des spectres étudiés sur la forme des courbes de croissance.

Aller [VI, 2] et A. B. Underhill [VI, 3] ont étudié des étoiles B. Aller s'est efforcé d'évaluer les abondances relatives des éléments légers dans γ Pegasi et Miss Underhill a appliqué la méthode à l'enveloppe double de Pleione.

Greenstein [VI, 4, 5] et Greenstein et Hiltner [VI, 6] ont considéré plus spécialement les étoiles F et les étoiles A à raies métalliques: ils ont trouvé dans les étoiles F, pour une vingtaine d'éléments, des abondances comparables à celles que l'on observe dans le Soleil. Il ne semble pas en être de même pour les étoiles à raies métalliques, mais cette divergence n'est peut-être qu'apparente et pourrait s'expliquer par un phénomène de superexcitation.

M. et B. Schwarzschild [VI, 7] ont recherché d'éventuelles différences de composition entre des naines de type F ayant, les unes, des vitesses faibles, les autres de grandes vitesses. Mais ils n'ont pu soupçonner que des différences extrêmement faibles entre les deux groupes.

Wright a étudié les étoiles K [VI, 8]. Il remarque que l'analyse de l'atmosphère d'une étoile de ces types par la méthode des courbes de croissance devrait se faire à partir des raies faibles: il serait urgent de connaître les valeurs de f pour ces raies.

Wright et E. van Dien ont déterminé la courbe de croissance de ζ Aurigae ainsi que les contours de ses raies [VI, 9]. Ils ont trouvé une température d'excitation de 6200° environ et suggèrent que la très grande largeur des raies de cette étoile peut être due soit à la rotation, soit à de vastes mouvements de turbulence.

L'une des grandes difficultés de tous ces travaux sur les courbes de croissance réside, suivant la remarque faite par Wright et ainsi que l'a déjà signalé Aller [VI, 2], dans la connaissance insuffisante des valeurs de f et des constantes d'amortissement relatives aux transitions observées.

Cependant, Greenstein annonce dans une lettre, dont voici un extrait, qu'il espère pouvoir bientôt fournir quelques-unes des données qui font actuellement défaut:

I have completed a spectrophotometric study of the peculiar star ν Sagittarii. This star has weak hydrogen lines and strong lines of the ionized metals, of He and of several stages of ionization of the light gases. It thus provides a high excitation furnace which, for the moment, I will assume to be in thermodynamic equilibrium. A curve of growth can be constructed from the theoretical line intensities. Then I have used this curve to obtain the 'empirical gf values' for the other metals and the gases which are not possibly observable in the laboratory furnaces. This will permit more detailed study of the B and A stars which have many ionized and high excitation lines.

Parmi les difficultés de la méthode des courbes de croissance se trouvent les suivantes : on doit utiliser en principe une seule courbe de croissance par étoile mais des observations faites par K. O. Wright [C.D.A.O. No. 2, 1946] exigent, pour une même étoile, des courbes différentes pour les raies des atomes neutres et ionisés et parfois même, dans le cas des supergéantes, des courbes différentes pour les raies du même atome ayant des potentiels d'excitation différents. Struve a signalé d'autre part des incompatibilités entre la forme de la courbe de croissance et les contours des raies observés dans une même étoile.

Ces difficultés ont conduit Struve et Unsöld à discuter dans quelle mesure l'emploi d'une seule courbe de croissance était légitime [VI, 10].

Il faut signaler la forme nouvelle sous laquelle T. Fofanova [VI, 11] a appliqué les courbes de croissance à l'étude des supergéantes (α Cyg, α Per, γ Cyg) : la température d'excitation d'une atmosphère stellaire est déterminée par comparaison de la courbe de croissance de l'étoile considérée avec celle d'une étoile dont l'atmosphère a la même structure (par exemple comparaison d'une supergéante à une autre supergéante). Cette méthode, théoriquement plus satisfaisante, conduit pratiquement à des résultats peu différents de ceux donnés par la méthode jusqu'ici en usage.

Dans le même ordre d'idées il faut citer un travail de Thackeray [VI, 12]. Cet auteur a étudié l'intensité des raies dans les étoiles de types G et K et essaie d'en déduire la dispersion des abondances pour les étoiles considérées. La méthode qu'il emploie est plus accessible que celle des courbes de croissance aux observatoires fort nombreux qui ne possèdent pas de spectrographes à grande dispersion, elle peut être considérée comme une généralisation de celle des courbes de croissance :

Instead of concentrating on one star and comparing lines formed in one atmosphere with the same lines produced in a controlled and highly simplified laboratory tube, we compare the same line (or group of closely related lines) produced in a number of different atmospheres which, superficially, resemble each other rather closely. In doing so we build up two other curves of growth (W, Sp) and (W, M) which have hardly been studied spectrophotometrically. Yet, if more theoretical work were done in relating spectral type and absolute magnitude to the physical variables in a normal stellar atmosphere, such curves might well yield valuable new information.

Cette dernière phrase contient une des critiques que l'on peut formuler contre la méthode.

(c) RECHERCHES DIVERSES SUR LA LARGEUR ET LE CONTOUR DES RAIES

(1) *Raies de l'hydrogène*

De Jager et Neven ont étudié les contours d'un certain nombre de raies des séries de Paschen et de Brackett, dans le Soleil [VI, 13]. Les observations ont été faites dans des conditions excellentes, au moyen du spectrographe infra-rouge de l'Université de Liège installé provisoirement à la Station Scientifique du Jungfraujoch. Les ailes des raies, notamment celles de la série de Brackett peuvent être suivies à 50 ou 100 Å du centre de la raie. Les largeurs équivalentes des raies de Brackett sont comparables à celles des raies de Balmer correspondantes : ce résultat s'explique surtout par la sensibilité anormale des raies de Brackett à la pression ; l'élargissement est accompagné d'une augmentation de la largeur équivalente.

Butler a mis en évidence l'influence de la magnitude absolue sur la largeur des raies de Paschen [VI, 14].

R. M. Petrie et Maunsell [VI, 15, 16] ont mesuré la largeur équivalente de H_γ dans les étoiles des types voisins de A0. Cette largeur qui varie de 1,7 Å dans les étoiles de grande luminosité à 20 Å dans les naines, par suite de l'effet Stark interatomique, semble être une fonction bien déterminée de la magnitude absolue. L'étude de 169 étoiles permet de définir avec précision cette fonction, dont une application a été faite aussitôt [VI, 42].

On peut se demander si la relation établie, valable pour la série principale, s'applique également aux autres séquences que l'on a définies dans le diagramme de Russell-Hertzsprung.

A. B. Underhill montre, dans un travail théorique [VI, 17], que chez les étoiles O il ne faut pas s'attendre à ce que les raies de Balmer présentent des effets de luminosité, contrairement à ce qui se passe chez les étoiles A.

Il est parfois possible de déduire des raies de Balmer plusieurs informations: par exemple, dans ses recherches sur le noyau des nébuleuses planétaires, Aller [VI, 18] calcule, à partir de ses mesures sur les raies de Balmer, le nombre des atomes d'hydrogène au-dessus de la photosphère, la pression électronique (moitié de la pression gazeuse), la gravité et même une limite inférieure de la masse du noyau.

Dans une série de travaux, Miczaika a étudié le nombre de raies de Balmer en tant que critère de la magnitude absolue pour les étoiles des premiers types [VI, 19, 20, 21].

E. van Dien a essayé de rendre compte du nombre de raies de Balmer visibles dans un spectre d'un modèle d'étoile dont l'atmosphère est faite uniquement d'hydrogène, l'effet Stark étant le seul agent d'élargissement. Mais l'observation révèle régulièrement plus de raies que le calcul n'en donne [VI, 22]. Le modèle stellaire choisi était sans doute assez différent des atmosphères réelles.

Shajn [VI, 23] explique l'apparence que présentent les contours des raies de Balmer dans de nombreux spectres (noyau central très étroit et ailes très développées) et notamment sur les spectres de Véga et de Sirius dans l'Atlas de Hiltner et Williams: selon toute vraisemblance, le noyau central prend naissance dans les couches atmosphériques les plus élevées où la pression électronique est faible et les ailes dans les couches profondes. Ce serait un cas limite de l'apparence observée dans les 'shell-stars'. Les étoiles en rotation n'auraient pas de noyau central.

(2) Raies diverses

Dans un travail [VI, 24] qui complète une précédente étude spectrophotométrique des nébuleuses planétaires [*Ap. J.* **93**, 236, 1941] Aller a observé, d'une part, la région ultraviolette de quelques nébuleuses déjà étudiées par Wyse dans le visible, d'autre part certains objets de faible brillance. Il a déterminé les intensités relatives des principales raies nébulaires. Il a également étudié les intensités des raies d'émission de quelques noyaux de nébuleuses planétaires présentant un spectre de Wolf-Rayet.

A partir de la mesure et de l'étude d'un certain nombre de raies fortes dans 20 étoiles O, R. M. Petrie améliore la classification de ces étoiles et en calcule la température (28,600 pour B0 et 36,500 pour O5). Les raies de Balmer devraient disparaître vers le type O4 [VI, 25].

Beals et Hatcher déterminent les 'températures photoélectriques' de 52 étoiles de l'espèce P Cygni [VI, 26] par la méthode de Zanstra, à partir de leurs raies d'émission. Ils trouvent ainsi 16,000° pour les A0, 35,000° pour les B0, et 40,000° pour les O5.

Dans une étude générale des étoiles de type P Cygni, Beals décrit les méthodes spectrophotométriques usitées dans les recherches sur leur spectre [VI, 27].

Les vitesses de rotation d'un certain nombre d'étoiles ont été évaluées à partir des contours de diverses raies: E. van Dien, étudiant le contour de la raie 4481 de Mg II pour près d'une centaine d'étoiles des Pléiades, a estimé leur vitesse de rotation à 90 km./sec. en moyenne et à 300 km./sec. au maximum [VI, 28]. Slettebak, examinant 123 étoiles des types O, B2-B5 et B2e-B5e, a trouvé que ces dernières ont la plus grande vitesse de rotation [VI, 29].

Pannekoek a publié une importante liste de largeurs équivalentes de raies de spectres stellaires de types F3 à G6 (géantes et naines) entre 4 et 5000 Å. [VI, 30].

Shajn a étudié les raies d'émission de H, Fe II et Fe I dans le spectre des variables à longue période [VI, 31]. Les caractères qu'il observe pour les raies de Balmer s'expliquent par un rayonnement excitateur intense et sans relation avec le rayonnement photosphérique. Il rend compte aussi de diverses anomalies dans les raies d'émission du fer.

A ces recherches d'importance générale il faut ajouter quelques travaux particuliers, par exemple l'étude d'une shell-star, HD 190073, qui fournit des renseignements sur le

diamètre de l'enveloppe [VI, 32], la recherche de variations possibles de raies du spectre de ν Sagittarii [VI, 33], l'étude de HD 193576 [VI, 34], l'étude des variations d'intensité des raies de H et He dans quelques étoiles Be [VI, 35].

(3) Spectres composites

R. M. Petrie a mis au point une ingénieuse méthode pour la détermination de propriétés des binaires spectroscopiques à partir de l'étude des contours de certaines raies fortes communes aux deux étoiles (voir rapport de la Commission 36, *Transactions of the I.A.U.* Vol. 7).

La méthode a reçu une importante série d'applications [VI, 36, 37, 38, 39, 40]. L'abondance des résultats a permis à Petrie de les appliquer à une nouvelle détermination de la relation masse-luminosité [VI, 41].

VII. TRAVAUX GÉNÉRAUX

L'adresse présidentielle de Greaves à la Royal Astronomical Society [VII, 1] constitue un exposé très général des principaux problèmes de la spectrophotométrie des spectres continus.

Dans des travaux très généraux qui paraissent en U.R.S.S. figurent des données spectrophotométriques importantes, définitions, méthodes, résultats. On peut citer, en premier lieu, le travail de Mustel [VII, 2] qui traite uniquement de questions intéressant la spectrophotométrie.

L'ouvrage de Vorontsov-Velyaminov sur les novae et les nébuleuses gazeuses [VII, 3] contient une revue des données sur les étoiles O et les novae.

Dans une étude de δ Cephei et η Aquilae, Melnikov examine les principaux problèmes qui se posent à propos des céphéides et donne de nombreux résultats, températures de couleur, courbes de croissance, etc. [VII, 4].

Le travail de Fofanova sur les supergéantes [VI, 11] évoque aussi des questions générales sur les courbes de croissance ainsi que sur les observations qui fournissent les données nécessaires à ces études: il a déjà été question de ce travail, un peu plus haut.

Il faut aussi signaler le très important document que constitue le 'Photometric Atlas of the near infra-red Solar Spectrum' de Mohler, Pierce, McMath et Goldberg [VII, 5], qui complète l'Atlas d'Utrecht, vers les grandes longueurs d'onde.

D. CHALONGE
Président de la Commission

LISTE DES PUBLICATIONS

parues depuis le Congrès de l'U.A.I. en 1948

I. SPECTROGRAPHES (OPTIQUE)

- [1] E. DURAND, J. J. OBERLY and R. TOUSEY. *Ap. J.* **109**, 1, 1949.
- [2] J. BIGAY. *Ann. Astroph.* **13**, 72, 1950.
- [3] R. v. D. R. WOOLLEY and K. GOTTLIEB. *M.N.* **110**, 206, 1950.
- [4] D. CHALONGE. *l'Astronomie*, **65**, 91, 1951.
- [5] A. BAILLET, D. CHALONGE, J. COJAN. *Ann. Astroph.* (en préparation).
- [6] S. TOLANSKY and J. RANADE. *M.N.* **109**, 86, 1949.
- [7] P. J. TREANOR. *M.N.* **109**, 389, 1949.

II. SPECTROPHOTOMÉTRIE PHOTOGRAPHIQUE

(a) Microphotomètres

- [1] J. HOUTGAST. *B.A.N* **10**, no. 396, 1948.
- [2] D. CHALONGE et M. LAFFINEUR (en préparation).
- [3] A. B. MARKOV. Dissertation. Leningrad, 1950.
- [4] A. B. MARKOV *Izvestia Poulkovo*, **18**, pt. 3, 1, 1950.
- [5] H. W. BABCOCK.
- [6] M. LAFFINEUR. *C.R.* **227**, 900, 1948.

(b) et (c) Emulsions et gradation de la lumière

- [7] P. GUÉRIN et G. DE VAUCOULEURS. *Ann. Astroph.* **13**, 2, 1950.
- [8] G. DE VAUCOULEURS. *Rev. Opt.* **27**, 541, 1948.
- [9] R. MICHARD. *Rev. Opt.* **28**, 479, 1949.
- [10] B. RIGHINI. *Ann. Astroph.* **14**, 105, 151.
- [11] B. RIGHINI. *Ann. Astroph.* **14**, 221, 1951.

III. SPECTROPHOTOMÉTRIE PHOTOÉLECTRIQUE

- [1] N. F. KUPRIEVICH. *Izvestia Poulkovo*, **3**, 118, 1950.
- [2] A. WALLENQUIST. *Kungl. Sv. Vetens. Handl.* **1**, no. 5, 1949.
- [3] J. STEBBINS, A. E. WHITFORD and H. L. JOHNSON. *Ap. J.* **112**, 1950.
- [4] LENOUVÉL. *C.R.* **232**, 385, 1951.
- [5] W. A. HILTNER and A. D. CODE. *J.O.S.A.* **40**, 149, 1950.
- [6] A. LALLEMAND. *Journal de Physique*, **10**, 235, 1949.
- [7] BARTELS. *Le Vide* (sous presse).
- [8] R. R. McMATH and O. C. MOHLER. *Sky and Telescope*, **7**, 143, 1948.
- [9] R. R. McMATH and O. C. MOHLER. *J.O.S.A.* **39**, 903, 1949.

IV SOURCES DE COMPARAISON

- [1] SMIT. *Obtention et mesure de températures hautes et constantes*. Utrecht, 1950.
- [2] P. SCHULZ. *Zs. f. Naturforschung*, Bd. **2a**, 583, 1947.
- [3] P. SCHULZ. *Ann. d. Phys.* **1**, 95 et 107, 1947.
- [4] J. N. ALDINGTON. *Trans. Illum. Engin. Soc.* **14**, 19, 1949.
- [5] W. A. BAUM and L. DUNKELMAN. *J.O.S.A.* **40**, 782, 1950.

V SPECTROPHOTOMÉTRIE DES SPECTRES CONTINUS

(a) Photométrie de plusieurs couleurs

- [1] J. STEBBINS and E. WHITFORD. *Ap. J* **108**, 43, 1948.
- [2] O. C. EGGEN. *Ap. J* **111**, 65, 1950.
- [3] O. C. EGGEN. *Ap. J* **111**, 81, 1950.
- [4] O. C. EGGEN. *Ap. J* **111**, 414, 1950.
- [5] B. WESTERLUND. *Arkiv för Astronomi*, **1**, no. 9, 1949.
- [6] T. ELVIUS. *Stockholms Ann.* **16**, no. 4, 1951.
- [7] T. ELVIUS. *Stockholms Ann.* **16**, no. 5, 1951.

(b) Gradients relatifs stellaires

- [8] J. GAUZIT et P. PROISY. *Ann. Astroph.* **11**, 137, 1948.
- [9] S. C. B. GASGOIGNE. *M.N* **110**, 15, 1950.
- [10] W. PETRIE. *P.D.A.O.* **7**, 383, 1948.

- [11] R. CANAVAGGIA. *Ann. Astroph.* **12**, 21 et 96, 1949.
- [12] M. C. BALLARIO et M. HACK. *Oss. e Mem. dell'Oss. Astrof. Arcetri*, No. 65, p. 87, 1949.
- [13] P. P. DOBRONRAVIN. *Cont. Crim. Ast. Obs.* **5**, 4, 1950.
- [14] J. BERGER, R. CANAVAGGIA, D. CHALONGE, A.-M. FRINGANT. *C.R.* **232**, 2079, 1951.
- [15] J. BERGER, A.-M. FRINGANT. *C.R.* **232**, 2185, 1951.
- [16] J. BERGER, R. CANAVAGGIA, D. CHALONGE, A.-M. FRINGANT. *C.R.* **232**, 2398, 1951.
- [17] J. BERGER, A.-M. FRINGANT. *C.R.* **233**, 225, 1951.
- [18] J. BERGER, R. CANAVAGGIA et D. CHALONGE. *C.R.* **231**, 1124, 1950.

(c) *Spectrophotométrie stellaire absolue*

- [19] K. PILOWSKI. *Z. Ap.* **27**, 193, 1950.
- [20] R. v. D. R. WOOLLEY and S. C. B. GASCOIGNE. *M.N.* **108**, 491, 1948.
- [21] N. MILFORD. *C.R.* **230**, 718, 1950.
- [22] N. MILFORD. *Ann. Astroph.* **13**, 243, 251 et 262, 1950.
- [23] D. CHALONGE et L. DIVAN. *C.R.* **231**, 215, 1950.
- [24] W. BECKER. *Z. Ap.* **25**, 185, 1948.
- [25] D. CHALONGE et L. DIVAN. *C.R.* **230**, 720, 1950.
- [26] V. KOURGANOFF. *C.R.* **228**, 1931, 1949.
- [27] R. CANAVAGGIA, D. CHALONGE et V. KOURGANOFF. *C.R.* **229**, 108, 1949.
- [28] D. CHALONGE, L. DIVAN et V. KOURGANOFF. *Ann. Astroph.* **13**, 347, 1950.
- [29] D. CHALONGE et L. DIVAN. *C.R.* **231**, 331, 1950.

(d) *Spectrophotométrie solaire*

- [30] R. MICHARD. *C.R.* **230**, 516, 1950 et *B.A.N.* **11**, 227, 1950.
- [31] R. CANAVAGGIA et D. CHALONGE. *Ann. Astroph.* **13**, 355, 1950.
- [32] R. PEYTURAUX. *C.R.* **230**, 368 et 517, 1950.
- [33] A. K. PIERCE, R. R. McMATH, L. GOLDBERG and O. C. MOHLER. *Ap. J.* **112**, 1950.
- [34] M. MINNAERT, E. VAN DEN HOVEN VAN GENDEREN and J. VAN DIGGELEN. *B.A.N.* **11**, 55, 1949.
- [35] T. V. KRAT. *Pulkovo Publ.* **17**, no. 137, 1948.
- [36] P. TEN BRUGGENCATE, H. GOLLNOW und F. W. JÄGER. *Z. Ap.* **27**, 223, 1950.
- [37] E. VITENSE. *Z. Ap.* **28**, 81, 1951.
- [38] R. PEYTURAUX. *C.R.* **232**, 931, 1951.

(e) *Nébuleuses, matière interstellaire*

- [39] D. BARBIER. *Ann. Astroph.* **12**, 6, 1949.
- [40] R. MINKOWSKI and L. H. ALLER. *Ap. J.* **53**, 202, 1948.
- [41] J. L. GREENSTEIN. *Harv. Monog.* **7**, 19, 1948.
- [42] C. SCHALÉN. *Kungl. Sv. Vetens. Handl.* **25**, no. 4, 1948.
- [43] D. DUKE. *Ap. J.* **113**, 100, 1951.
- [44] L. DIVAN. *C.R.* **233**, 284, 1951.

VI. SPECTROPHOTOMÉTRIE DES RAIES

(a) *Méthodes*

- [1] E. A. BAKER. *Publ. Roy. Soc. Edin.* **1**, 15, 1949.

(b) *Courbes de croissance*

- [2] L. ALLER. *Ap. J.* **109**, 244, 1949.
- [3] A. B. UNDERHILL. *Ap. J.* **110**, 166, 1949.
- [4] J. L. GREENSTEIN. *Ap. J.* **107**, 151, 1948.

- [5] J. L. GREENSTEIN. *Ap. J* **109**, 121, 1949.
- [6] J. L. GREENSTEIN and W. A. HILTNER. *Ap. J* **109**, 265, 1949.
- [7] M. and B. SCHWARZSCHILD. *Ap. J.* **112**, 248, 1950.
- [8] K. O. WRIGHT. *P.D.A.O.* **8**, 281, 1950.
- [9] K. O. WRIGHT and E. VAN DIEN. *C.D.A.O.* **43**, 195, 1949.
- [10] A. UNSÖLD and O. STRUVE. *Ap. J* **110**, 455, 1949.
- [11] T. M. FOFANOVA. *Izvestia Poulkovo*, **18**, pt. 3, 68, 1950.
- [12] A. D. THACKERAY. *M.N.* **109**, 436, 1949.

(c) *Largeur et contour des raies*

- [13] DE JAGER et NEVEN. *Comm. Observ. R. Belgique*, No. 23.
- [14] H. E. BUTLER. *Contr. Dunsink Obs.* No. 1, 1951.
- [15] R. M. PETRIE and C. D. MAUNSELL. *P.A.S.P.* **61**, 158, 1949.
- [16] R. M. PETRIE and C. D. MAUNSELL. *P.D.A.O.* **8**, 253, 1950.
- [17] A. B. UNDERHILL. *P.D.A.O.* **8**, 385, 1951.
- [18] L. ALLER. *Ap. J* **108**, 462, 1948.
- [19] G. MICZAÏKA. *Z. Ap.* **25**, 72, 1948.
- [20] G. MICZAÏKA. *Z. Ap.* **25**, 77, 1948.
- [21] G. MICZAÏKA. *Ap. J* **112**, 361, 1950.
- [22] E. VAN DIEN. *Ap. J.* **109**, 452, 1949.
- [23] C. A. SHAJN. *Publ. Crim. Abstr. Obs.* **25**, 1, 1948.
- [24] L. H. ALLER. *Ap. J.* **113**, 125, 1951.
- [25] R. M. PETRIE. *P.D.A.O.* **7**, no. 21, 1949.
- [26] C. S. BEALS and R. D. HATCHER. *C.D.O.* **2**, no. 1, 1948.
- [27] C. S. BEALS. *P.D.A.O.* **9**, 1, 1951.
- [28] E. VAN DIEN. *C.D.O.* No. 14, 1948.
- [29] A. SLETTEBAK. *Ap. J.* **110**, 498, 1949.
- [30] A. PANNEKOEK. *P.D.A.O.* **8**, no. 5, 1950.
- [31] G. A. SHAJN. *Publ. Crim. Astr. Obs.* Vol. **1**, part 1, 1947.
- [32] C. S. BEALS and M. S. BURLAND. *C.D.O.* **2**, no. 4, 1949.
- [33] J. L. GREENSTEIN. *Ap. J.* **111**, 20, 1950.
- [34] G. MÜNCH. *Ap. J.* **112**, 266, 1950.
- [35] E. M. and G. R. BURBIDGE. *Ap. J* **113**, 84, 1951.
- [36] R. M. PETRIE. *P.D.A.O.* **7**, no. 7, 1948.
- [37] J. K. McDONALD. *P.D.A.O.* **8**, no. 4, 1948.
- [38] R. M. PETRIE. *C.D.A.O.* No. 9, 1948.
- [39] R. M. PETRIE. *P.D.A.O.* **8**, 319, 1950.
- [40] A. MCKELLAR. *P.D.A.O.* **8**, no. 7, 1950.
- [41] R. M. PETRIE. *P.D.A.O.* **8**, no. 11, 1950.
- [42] M. G. FRACASTORO. *Oss. e Mem. dell'Oss. Astrof. Arcetri*, No. 65, p. 69.

VII. TRAVAUX GÉNÉRAUX

- [1] W. M. H. GREAVES. The Photometry of the Continuous Spectrum. *M.N.* **108**, no. 1, 1948.
- [2] E. R. MUSTEL. Echelle moderne des températures stellaires (en russe). *Ouspekhi astronomitchekikh naouk*, **3**, 1947.
- [3] B. A. VORONTSOV-VELYAMINOV. *Nebuleuses gazeuses et Novae* (en russe).
- [4] O. A. MELNIKOV. *Troudy Poulkovo*, **69**, 1, 1950.
- [5] O. C. MOHLER, A. K. PIERCE, R. R. McMATH and L. GOLDBERG. *Photographic Atlas of the near infra-red Solar Spectrum*, 8542-25242 Å. University of Michigan Press.

APPENDIX

ABSTRACT OF PAPERS PUBLISHED IN JAPAN

Z. Suemoto: On the Limb Effect of Faint Fraunhofer Lines. (*Publ. Astr. Soc. Japan*, **2**, no. 3, 1950 (in the Press).)

Limb centre variations of some fifty faint Fraunhofer lines were measured at the tower telescope of the Tokyo Astronomical Observatory for $\cos \theta = 1.0, 0.8, 0.6, 0.4, 0.3$ and 0.2 , and it was found that, statistically, lines with η decreasing more rapidly with depth show stronger limb-strengthening as compared with those with η of slower decrease. Limb centre variations were calculated for three types of η variations at $\lambda 5100 \text{ \AA}$., and they were compared with those measured by Adam.

Z. Suemoto: Line Contours in the Anomalous Regions of the Sun. (*Publ. Astr. Soc. Japan*, **2**, no. 3, 1950 (in the Press).)

Some three hundred standardized spectra concerning solar phenomena have been accumulated at the tower telescope of the Toyo Astronomical Observatory. For this purpose spectrohelioscope attachments and auxiliary camera were installed in the tower telescope. Measurements were made by the use of a self-registering microphotometer recently constructed at our Observatory. Contours of H_e , H and K lines in flares, flocculi, and flocculi over sunspots were studied. In one of the flare spectra, H_e line is well fitted to a Doppler contour, with half width 0.44 \AA ., corresponding to an electron temperature of $70,000$, while H and K lines are fitted to one which is the superposition of the natural damping wing and the Doppler core with its half width 0.070 \AA . Analysis of K line contour in flocculi yields the Doppler core of the same width, suggesting that the electron temperature of the enhanced layer is of the order $70,000$. The enhanced layer extends from the base of the chromosphere up to $10,000 \text{ km}$. for normal flocculi, but the layer seems to be lifted by several thousand kilometres over sunspots. Vertical extension of the flare layer must be much larger than that of flocculi.

SUB-COMMISSION ON LINE INTENSITY STANDARDS

Although the methods and procedures for obtaining intensities of lines in stellar spectra are well known and have been discussed in earlier reports of this Commission⁽¹⁾, serious differences have been found between measurements made at different observatories; as in other fields, e.g. trigonometrical parallaxes and stellar magnitudes, these differences have been larger than the internal probable errors of the measurements. However, the high-dispersion spectra of the sun studied at Utrecht⁽²⁾ and at Canberra⁽³⁾ have shown that it is possible to obtain consistent results between observatories for such line-intensity measurements using photographic methods. Therefore it seems desirable that suitable stellar spectra be studied in some detail, at several observatories, and that the results be adopted as standards for observations of stellar line intensities.

The present Sub-Commission was formed to study the problems relating to such standards. The need is apparent. The measurement of line intensities requires the most careful technique and many extraneous influences must be eliminated. The results, both the equivalent widths and the true profiles of individual lines, are fundamental for the determination of the abundances of the chemical elements and the development of the theory of stellar atmospheres. Two phases of the problem should be considered:

- (1) The elimination of systematic instrumental effects to make certain that all instruments of the same dispersion give the same results for selected lines in standard stars: and
- (2) The question of determining the position of the continuous background and the true shapes of lines, particularly in late-type stellar spectra.

Neither problem can be considered solved and only the first will be considered in any detail in this report. The problem of the continuous background may, in fact, be insoluble in certain regions of the spectrum of many-lined stars. Redman has questioned whether

there is a 'true' continuum where atomic and molecular lines seriously interfere with each other since if 'we were able to modify the star to remove the lines, we would be making fundamental changes in the whole atmospheric structure' Greenstein has suggested that new methods may be required to make even a partial study of these stars, such as working in the yellow, red, or infra-red, the inclusion of the spectrum of a standard lamp to facilitate a better location of the continuous spectrum over the great depressions caused by the lines, or the reconstruction of the spectrum by theoretical predictions. However, since it is hoped that line intensities in the spectra of stars of most classes will be studied in the future, and since the shapes of lines in early-type spectra are probably different from those in later types, it seems that representative stars of types from B to G should be included in lists of standard objects.

The problem of systematic differences in line intensities measured at different observatories is probably directly related to instrumental effects, which may be taken to include photographic effects. The necessity for careful, standardized technique in the calibration, development and reduction of observations has been treated fully before⁽⁴⁾ and therefore will be no more than mentioned here. However, the presence of general scattered light in spectrographs has usually been considered only in a qualitative manner and has often been neglected entirely; for example, Sawyer in a recent text⁽⁵⁾ notes that 'if an exposure . . . at least ten times that needed for a good spectrogram . . . shows no signs of stray light or fogging, it can be reasonably assumed that trouble from this source will not arise' In prism spectrographs there is little doubt that the present practice of 'blooming' the optical surfaces has cut down the amount of stray light considerably; and in gratings, the Rowland ghosts can be allowed for and light from other orders can be cut off by suitable filters. However, in all instruments, conditions (such as the presence of dust particles, or the reflectivity of gratings) may change and therefore it seems desirable that the performance of a spectrograph should be tested frequently. In particular, it may be possible to obtain filters or solutions having sharp, narrow absorption bands a few Angstroms in width, which could be measured accurately in the laboratory and which could be used for testing the amount of scattered light present at selected wave-lengths. Further, with modern photo-electric methods, it seems it should be possible to measure the amount of radiation at any given wave-length received from a laboratory source of known intensity distribution and thus to measure the amount of extraneous light present.

Since up to the present all stellar line intensities have been measured by photographic methods, it is important that Hiltner has been developing a photo-electric spectrophotometer⁽⁶⁾ at the McDonald Observatory which will provide a direct test of, and comparison with, the results obtained by photography. He has been able to eliminate the major source of error by compensating for seeing fluctuations and, with an improved instrument, he hopes to begin observations in 1951.

Although the equivalent width of a line is defined as the amount of energy absorbed from the continuous background of the stellar spectrum and is thus independent of the dispersion, it has been found that measures of a given line observed with low dispersion are frequently larger than those obtained with high dispersion⁽⁷⁾. In an investigation made specially for the Sub-Commission and included at the end of this Report, Houtgast studied the intensities of four solar lines in the region $\lambda\lambda 5570-5600$ and found that, for each line, the intensity decreased as the dispersion increased and approached a value close to that given in the Utrecht *Photometric Atlas of the Solar Spectrum*⁽²⁾. A similar investigation of lines in α Cygni in the region $\lambda\lambda 4000-4400$ has been begun at Victoria with dispersions ranging from 4.0 to 30 A./mm. but the results are not yet available.

The stars to be adopted as standards should be observed with high dispersion, and preliminary values for selected lines should be obtained as soon as possible, even though future work may require minor changes in the provisional line intensities. At the observatories equipped with high-dispersion spectrographs, the instruments have been undergoing modifications to improve their performances during the past two years and no detailed intercomparisons have been possible as yet. At the present time the best

modern, recently published data on line intensities seem to be the intensity tracings of the Hiltner and Williams' *Photometric Atlas of Stellar Spectra* (8), the observations of F-type stars by Greenstein (9) and, to the red of $\lambda 5000$, intensities of K-type stars by Wright (10).

The question of suitable stars has been discussed. In order to test the performance of stellar spectrographs, the stars should have spectra with moderately sharp lines and well-defined continuous backgrounds; i.e. they should be earlier in type than the Sun, at least for studies in the violet, and should belong to the main sequence since stars with extended atmospheres may show changes from time to time. They should be brighter than fifth magnitude in order that they may be observed with fairly high dispersions at observatories equipped with moderate-sized telescopes. Greenstein has noted that 'care should be taken to exclude stars of appreciable rotation which makes high-dispersion measurements inaccurate'. If possible, stars near the equator should be chosen in order that observations may be made from both northern and southern observatories. Stars listed below are suggested for study as provisional standards for this programme.

H.D.	Star	(1900)		m_v	Type
		h. m.	°		
886	γ Pegs	0 08.1	14 38	2.87	B2
27962	68 Taur	4 19.7	17 42	4.24	A2
61421	α C Min	7 34.1	5 29	0.48	F5
97633	θ Leon	11 09.0	15 59	3.41	A0
128167	σ Boot	14 30.3	30 11	4.48	F0
141004	λ Serp	15 41.6	7 40	4.42	G0
160762	ϵ Herc	17 36.6	46 04	3.79	B3
161797	μ Herc	17 42.5	27 47	3.48	G5
173667	110 Herc	18 41.4	20 27	4.26	F5
189849	15 Vulp	19 57.0	27 29	4.74	A5
222603	λ Pisc	23 36.9	1 14	4.61	A5

It has been suggested that

20902	α Pers	3 17.2	49 30	1.90	F5 and
197345	α Cygn	20 38.0	44 55	1.33	A2p

should also be included in the list of standard stars; α Cygni, though a supergiant with variable $H\alpha$ line, because the lines are broad enough to determine the true line shapes and because numerous observations are available; and α Persei, also a supergiant, because several studies of the line intensities in its spectrum have already been made, and also because 'lines to the red of $\lambda 4500$ would show the agreement or disagreement of results from the different spectrophotometric techniques used by the various observers while lines to the violet would bring in the essential feature of the problem, namely the determination of the continuous background' (Plaskett.)

It would seem desirable at first to restrict observations to the region $\lambda\lambda 4000-4600$, equivalent widths of representative weak and strong lines should be measured and also the complete profiles of $H\delta$ and $H\gamma$. Later, observations should be extended into the red and infra-red regions of the spectrum and the list of standard stars should be expanded to include more late-type objects.

The Sun is an excellent object for the study of line intensities since, at the centre of the disk, the lines seem to be of constant intensity. However, as a standard for stellar line intensities, it has certain disadvantages:

- (1) The slit illumination is so very different in the case of an extended source and a roughly point source. that the instrumental profiles given by the Sun will be different from those given by a star. (Plaskett.)
- (2) There are difficulties of correct calibration and exposure times when using a stellar spectrograph for the Sun and Moon (Redman), though with a long slit one can insert step weakeners in the light beam for calibration purposes. (Houtgast.)

- (3) The light is so much greater than starlight that the presence of scattered light may become important.
- (4) The reliable intensities of Allen and the Utrecht Atlas refer to the centre of the solar disk, whereas Moon or sky spectra refer to integrated sunlight.

Until an accuracy within 2% or better can be obtained in stellar spectrophotometry, many of these difficulties do not become important in practice but, though solar spectra may be studied to check stellar spectrographs, and though line intensities in stellar spectra very similar to the Sun should be compared with solar intensities, it does not seem advisable to consider the Sun as a standard object for stellar line-intensity work.

At Mount Wilson Observatory, Greenstein reports that he will have completed a spectrophotometric study of nine G- and A-type stars by the end of 1951. These are η Pegs, η Herc, μ Herc, λ Serp, ξ Boot, R Cor B, Gr. 1830, ν Sagr ($\lambda\lambda$ 3300–4600), and 15 Vulp. Four plates of each star were taken covering the range $\lambda\lambda$ 3800–6600 with the 100-inch Mount Wilson Coudé spectrograph which gives a dispersion of 2.8 Å./mm. in the blue and 4.2 or 5.6 Å./mm. in the red. Two different gratings were used, each of which has little scattered light. Two calibration devices were used simultaneously; one provides step-slit spectra exposed on the same dispersion and on the same plate as the stellar spectrum; the other is a V-shaped-slit grating spectrograph of lower dispersion. The spectra were analysed on the Babcock direct-intensity microphotometer which gives tracings on about the same scale as the *Utrecht Atlas*. This material will provide a large body of data representing the line-intensity scale of the present Mount Wilson spectrograph, though Greenstein does not recommend whole-heartedly the use of G stars as standards because of the bad continuum in the blue-violet.

In order to study the systematic differences which occur between different measurements of line intensities, nearly 100 lines in the spectrum of α Persei in the region $\lambda\lambda$ 4575–4825 were measured on each of three three-prism (8–10 Å./mm.) and on three grating (7 Å./mm.) plates obtained at Victoria, and compared with tracings in the Hiltner and Williams' *Atlas* (8) and with the data published by Greenstein (9). The average relative equivalent widths for each comparison are:

Victoria grating/Victoria prisms	= 0.90;
Hiltner and Williams/Victoria prisms	= 1.07;
Greenstein/Victoria prisms	= 1.00.

Another comparison (10) between Hiltner and Williams' *Atlas* and Victoria grating plates of α Bootis in the region $\lambda\lambda$ 4700–6600 shows systematic differences up to 25% but, on the average, Atlas/Victoria = 1.06. These results suggest that there may be from some 5 to 10% additional scattered light in the grating instrument which varies with wavelength and grating setting. Also at Victoria, but using one-prism dispersion, Petrie and Maunsell (11) have recently measured the intensity of $H\gamma$ in 169 B7–A3 stars; their results agree within 0.1 Å. with E. G. Williams' measures of Cambridge and Mount Wilson plates, and with Günther's Göttingen objective prism plates.

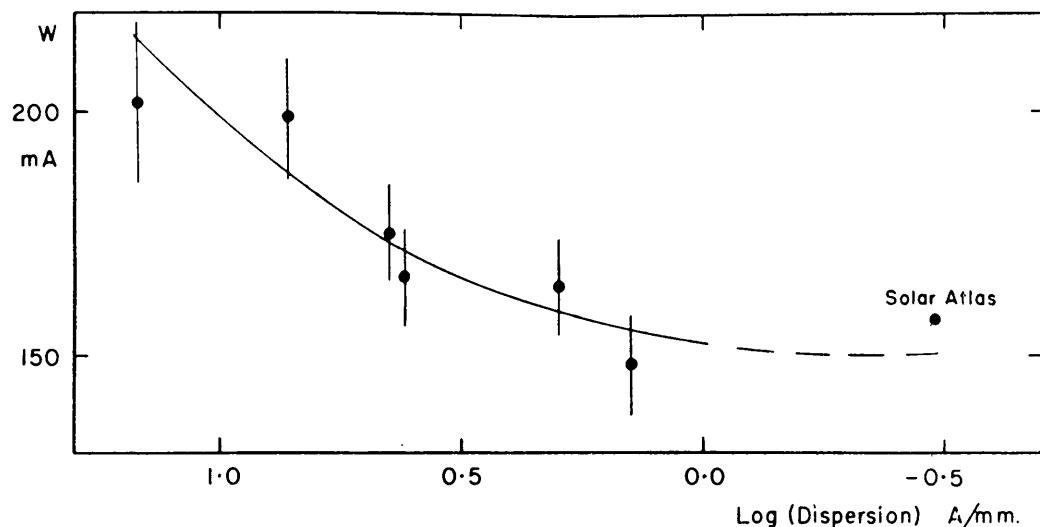
Thus a beginning has been made in the standardization of stellar line intensities and excellent co-operation has been received from the observatories where high-dispersion spectrographs are available. It is recommended that this Sub-Commission be continued and that, as more instruments suitable for this work are put into operation, additional members be appointed to the Sub-Commission.

J. L. GREENSTEIN	R. O. REDMAN
W. A. HILTNER	H. H. PLASKETT
J. HOUTGAST	K. O. WRIGHT, <i>Chairman</i>

DOMINION ASTROPHYSICAL OBSERVATORY,
VICTORIA, B.C.,
December 14, 1950

ON THE INFLUENCE OF DISPERSION ON THE EQUIVALENT WIDTHS OF FRAUNHOFER LINES

At my request Mr P. Gathier at Utrecht made a number of exposures of the solar spectrum in the green region. He used the solar spectrograph with a step weakener having six steps at the entrance slit; the diameter of the solar image was 7 cm. and this was centred on the 3 cm.-length slit which was used. The spectrum was first photographed in the first three orders of the grating which gave dispersions of 4.2, 2.0, and 1.3 Å./mm.; it was then photographed using an auxiliary camera which reduced the image to one-third, giving dispersions of 14.9, 7.3, and 4.5 Å./mm.



The variation of equivalent width with dispersion for four solar lines

The photographic plates used throughout were fine-grain Gevaert Replica plates which were all developed under standard conditions in Metol Hydroquinone, Ilford 1D20 for five minutes at 18° C. Several plates were taken with each dispersion and two or three were used for measurement. On each of the spectra, three or four strips corresponding to the separate steps of the step weakener were run through the self-recording microphotometer. Density curves were constructed for each plate separately and line-intensity profiles deduced. The lines chosen were Fe I, $\lambda\lambda$ 5569.6, 5576.1, and 5586.8, and Ca I, λ 5601.3, which even at the smallest dispersion stood out free from blends on the tracings. The equivalent widths were corrected for the grating ghosts which were 1, 5 and 11% for the three orders.

The four lines show the same variation of equivalent width with dispersion and the mean results are shown in the figure; the vertical lines are measures of the mean deviation. The fact that the values for the direct first order and the reduced third order are approximately the same gives a measure of confidence in the results. An additional measure is obtained from the Utrecht *Photometric Atlas of the Solar Spectrum*⁽²⁾ which we may consider very close to the true value. We might expect that the equivalent widths for the different dispersions approach this value as a limit. Therefore the data have been plotted in the form equivalent width, W , in milliangstroms against the logarithm of the dispersion, in Angstroms per millimetre. Phenomenologically we now have a satisfactory dependence of the equivalent width on the dispersion.

However, the cause of this dependence is totally unknown. It seems possible that on low dispersion plates the small images may be influenced by development effects, but a function such as that indicated here cannot be explained by this means. There may be many other factors involved; for example it is not certain that the same result would have been obtained if other photographic plates or another developer had been used.

A further question is how far this dependence is only a question of dispersion, and whether, with the same dispersion, weak lines give greater deviations than strong lines. It should be useful to examine these problems further and to include results of other investigators.

J. HOUTGAST

REFERENCES

- (1) *Trans. I.A.U.* **5**, 239, 1935; **6**, 293, 1938.
- (2) MINNAERT, MULDER and HOUTGAST. *A Photometric Atlas of the Solar Spectrum*. Amsterdam: Schnabel, Kampert and Helm, 1940.
- (3) C. W. ALLEN. *Mem. Comm. Sol. O.* **1**, no. 5, 1934, and no. 6, 1938.
- (4) See K. O. WRIGHT. *P. Dom. Ap. O.* **8**, 51, 1948.
- (5) R. A. SAWYER. *Experimental Spectroscopy*, p. 118. New York: Prentice-Hall, 1944.
- (6) W. A. HILTNER and A. D. CODE. *J.O.S.A.* **40**, 149, 1950.
- (7) See L. H. ALLER. *Ap. J.* **109**, 246, 1949.
- (8) Univ. of Michigan Press, Ann Arbor, 1946.
- (9) *Ap. J.* **107**, 151, 1948.
- (10) *P. Dom. Ap. O.* **8**, 281, 1950.
- (11) *P. Dom. Ap. O.* **8**, 253, 1950.

SOUS-COMMISSION POUR LA THEORIE DES ATMOSPHERES STELLAIRES

TRANSFER OF RADIATION IN THE CLASSICAL CASES

A basic and very thorough treatment of this whole problem is found in Chandrasekhar's *Radiative Transfer*. Most subjects, first treated by the author in the *Astrophysical Journal* and many others besides, are found here in systematic presentation. Especially important is the development of the principle of invariance, leading to an important category of non-linear integral equations. Kourganoff has prepared a book on the more restricted subject of Milne's problem, which will be of great use.

Kourganoff transferred to astrophysics the exact solution of Milne's problem, given by the nuclear physicists for the problem of neutron diffusion in a pile. He also obtained this exact solution by a new, variational method. He and his collaborators compared the different methods in use, and formed an opinion on the rate at which these converge towards the exact solution. It is useful to notice that Eddington's approximation, so often used for elementary work, gives rise to considerable errors in the outer layers. In the 'method of discrete ordinates', the quadrature formula by Gauss does not always give the quickest convergence. Other formulae have also been considered by Chandrasekhar (*Radiative Transf.* ch. ii). Kourganoff was able to obtain exact source functions for the internal layers, by an extension of Chandrasekhar's limiting process.

Menzel and Sen gave a new treatment of Milne's problem by an operational method; their method was criticized from the mathematical point of view, but their results appeared to be justified (cf. their answer in *Ap. J.* **113**, 485, 1951). Applying the method to the problem of reflection in binaries, they found easily a very precise solution.

Unsöld and Strömgren developed very general iterative methods for a scattering and absorbing atmosphere (see also p. 571).

The logarithms of the exponential integral were tabulated by Katterbach and Krause. Kourganoff studied the functions $\lambda_n = \Lambda_t K_n$ and $\phi_n = \Phi_\tau K_n$, Pecker tabulated $\chi = XK_n$.

For a grey atmosphere, Labs proposed a very simple formula, giving a good approximation for the T -distribution. The case of a non-grey atmosphere was treated by Münch for the Sun, in second approximation. Approximate darkening coefficients for main-sequence stars were given by Münch and Chandrasekhar. The transfer of radiation through a non-grey atmosphere was treated by Owaki along new lines. the transfer

equation is expanded in terms of Legendre polynomials and the Laplace transformation is applied to the resultant simultaneous differential equations; the problem is thus reduced to a system of linear algebraic equations.

Miss Underhill, Sobolev and Pecker studied the transfer of radiation in an atmosphere with both absorption and scattering, their ratio being independent of depth. The treatment of Sobolev may be applied to any particular phase function; it gives accurate values by a remarkably simple calculation.

Suzuki devoted two papers to the general theory of atmospheres with 'non-homogeneous temperature radiation', and to its application to the Sun. He assumes that there are large temperature variations of very small size, and shows that the characteristic properties of such atmospheres are found in the Sun.

The transfer of the Lyman continuum in a circumstellar atmosphere was calculated by Unno, taking into account the curvature of the envelope.

Apart from these purely theoretical papers, we have to consider also the direct calculation of the source function in the solar atmosphere from the limb darkening. The methods for this calculation have been improved by Pierce and Aller, by Menzel and Sen, by de Jager. In these three papers the authors have used new general expressions for the source function. It remains true that we have no really good method for the inversion of the Laplace relation. Pecker proposed a special electrical machinery for this purpose.

POLARIZATION OF THE LIGHT EMITTED BY A STELLAR ATMOSPHERE

For the solution of this very important problem, entirely new considerations had to be introduced in the theory of radiative transfer.

The simplest case was that of an atmosphere in which scattering by free electrons is predominant, as it may occur in early-type stars. This was treated by Chandrasekhar in a classical paper (*Ap. J.* **103**, 351, 1946). It is interesting to see that Sobolev has tackled this problem in an entirely independent way, by relatively simple methods and with a practically equivalent result ($p = 12.5\%$ at the limb).

If scattering by free electrons and pure absorption both play a role, the polarization is considerably decreased. Pecker and Code have treated very fully the grey case, and have also developed methods for an atmosphere in which κ/σ varies with wave-length or depth. Pecker has even applied the method to the case of the Sun, where $\sigma \simeq 10^{-3} \kappa$. Just for the case where the scattering is small, compared to the absorption, a simple method of calculation has been given by Voigt; applying this to the Sun, he noticed that here the Rayleigh scattering exceeds the scattering by free electrons.

Wrubel investigated a 'model' of a Wolf-Rayet star: a spherical photosphere radiates unpolarized light, but is surrounded by a spherical shell of free electrons, in which the opacity varies inversely as the square of the radius. The polarization of the light is studied as a function of the optical depth of the atmosphere and of the radius.

THE MEAN ABSORPTION COEFFICIENT

After Chandrasekhar had asserted that a straight mean is to be preferred to the Rosseland mean, there had been some contention on this subject. Unsöld is of opinion, that the Rosseland mean is computed much more easily, and that the straight mean is appreciably better only in the highest layers ($\bar{\tau} < 0.2$). Michard compares a grey atmosphere to the true solar atmosphere. The major part of the difference is due to the use of a constant $\bar{\kappa}$, and not to the way in which this mean has been taken; the Rosseland value is slightly better than the straight mean or the Planck mean, the Planck mean gives the best constant flux.

Another interesting comparison is found in the work of Pecker (*Ann. Ap.* **14**, 115, 1951), who complains of the badly convergent Chandrasekhar mean.

MODELS OF STELLAR ATMOSPHERES

Some general considerations on the construction of atmospheric models have been given by Pecker (I). These relate chiefly to the transfer problem; moreover, the radiation pressure has been calculated by him.

Fundamental tables have been computed by Unsöld, Miss Rosa and Miss Vitense, for a gas mixture similar to that considered by Strömgren ($H : He = 85 : 15$; $H : \text{metals} = 5000$). Ionization, gas pressure, molecular weight, enthalpy are found as functions of P_e and T ; the entropy, the adiabatic temperature gradient and the specific heat are found as functions of P_e and T . The delimitation of the convective zones is then easily determined, the Balmer discontinuity, the effective layer thickness, etc., are derived.

Tables of partition functions were computed by Claas.

An important systematic theoretical survey of the spectral sequences was obtained by Ueno from stellar models.

At the Copenhagen Observatory atmospheric models for high-temperature stars have been constructed by Miss Underhill. The model constructed is found to have an effective temperature of $36\cdot800^\circ$; the spectrum is calculated in details and is found to correspond with O 9.5 V. In this paper the not yet published iteration method of Strömgren is explained and used (cf. also Pecker, I and III). The effects of radiation pressure in such stars are considerable. In order to find the adiabatic gradient, Miss Underhill makes use of Unsöld's entropy method, but she shows that at these high temperatures the contribution of the radiation should be included. For stars of low surface gravity and high temperature, the atmosphere will expand as a whole or it will be turbulent.

Very similar models were calculated by Pecker assuming a pure hydrogen atmosphere: $T_e = 27\cdot300^\circ$, $T_e = 26\cdot360^\circ$ and $g = 4\cdot48$, corresponding to B1 and B1.5.

Aller computed a model for a B2 star with $T_e = 20\cdot000^\circ$ and $g = 3\cdot50 - 4\cdot10$.

Weenen discussed the model of a Be-star, assuming the density proportional to $1/\tau^2$ and applying the theory of extended atmospheres. The results did not correspond to the observations. Probably thermodynamic equilibrium does not apply: neither is $K = 1/3J$ nor $J = 2H$.

Zanstra and Weenen treated also W-stars after a model of Beals: photo-ionization and line emission by recombination. They find an abundance ratio $N_C/N_{He} = 0\cdot37$.

Two models of white dwarfs were constructed by Schatzman: $\vartheta_0 = 0\cdot45$, $\log g = 7\cdot69$ and $\vartheta_0 = 0\cdot50$, $\log g = 10\cdot00$. The atmosphere is found to be almost pure hydrogen, in which there is pressure ionization and strong line broadening by intermolecular Stark effects. Similar calculations were made by Cayrel: $\vartheta_0 = 0\cdot5$, $\log g = 9\cdot38$.

In the construction of atmospheric models a further refinement may be obtained by taking into account the blanketing effect. Pecker and Labs remarked that only lines formed by thermal absorption yield a contribution, and computed for the Sun into details the influence of the lines originating at each level in the atmosphere. Unsöld proposed to describe the temperature distribution in the Sun by a saw-tooth function, showing a temperature inversion near $t = 0\cdot3$. This suggestion was followed more in detail by Keys. Mrs Ch. Pecker studied the conditions inside a convective layer and the transition to the radiative layers.

Japanese astronomers did important work on the spectrum, the convective zone and the atmospheric model along the spectral sequence.

SCATTERING IN THE ATMOSPHERES OF THE EARTH AND THE PLANETS

This subject, though not strictly belonging to the field of the Sub-Commission, is closely connected to the problems of stellar atmospheres by its mathematical technique. A very stimulating and lucid survey of the questions involved has been given by van de Hulst, especially with regard to astrophysical applications. A much more elaborate and technical treatment is found in Chandrasekhar's book on *Radiative Transfer*. An interesting general paper by Sobolev should equally be consulted.

The problems of the scattering by semi-infinite atmospheres have been treated by

Chandrasekhar with a perfection never before attained. He considers successively the following cases: isotropic scattering with an albedo a ; asymmetric phase function with an albedo a ; Rayleigh phase-function with an albedo τ ; Rayleigh scattering with an albedo τ (with proper allowance for the partial polarization of the radiation field). The two last cases should be carefully distinguished, only the second one corresponding to the real phenomenon.

The problems of reflection and transmission by atmospheres of finite thickness require still more complicated calculations. A solution has been given by Chandrasekhar, especially for each of the scattering functions mentioned above.

The functions F , G , X , Y , and the exponential integral of the second order, which are of great importance in these problems, have been studied and tabulated by van de Hulst, Chandrasekhar and Breen.

The reflection of light by a planet includes the reflection by the atmosphere and the diffuse reflection by the solid surface. Van de Hulst treated the case of an atmosphere with isotropic scattering and a ground surface reflecting according to Lambert's law. The following special applications have also been provisionally treated by van de Hulst: the limb darkening of the outer planets; the formation of absorption lines; the polarization of Venus; the polarization of the areas near Jupiter's limb. Horak has applied Chandrasekhar's theory to the total brightness and limb darkening of the planets.

An especially interesting case is that of the scattered light of the sky and its polarization. In his latest work, Hammad has calculated the single and double scattering, taking account of the anisotropy and the polarization, and making use of the correct law of the Rayleigh scattering. Chandrasekhar and Donna Elbert have also treated this problem, taking into account the reflection by the ground and the scattering of higher than the second order; they obtained an excellent agreement with the observed neutral points, the neutral lines, the degree of polarization, etc.

LINE PROFILES

For the classical case of line broadening by the combination of Doppler effect and damping, the tables of Hjerting, Rosino and van de Hulst are of great use. These have been extended recently by Harris. The superposition of a Maxwell profile and a rectangular profile has been treated by Jentzsch and Unsöld.

Knowing the absorption coefficient near the line, the computation of the intensity requires a knowledge of the atmospheric model and of the absorption process. A simple and very practical method for the investigation of centre-limb variations has been given by Unsöld. Gradually theorists try to take into account the detailed atmospheric structure; the calculation may be made by means of Strömgren's variational method, which has not yet been published by the author, but has also been applied by Miss Underhill, Harris and Pecker. Another method is the method of the weight functions (p. 573).

The formation of the spectral lines in an extended atmosphere, built according to the Schuster-Schwarzschild model, has been studied by Miss Underhill; she assumes that the scattering coefficient is proportional to τ/r^2 , and takes into account the sphericity of the layers.

Special complications occur in expanding atmospheres, where the line profiles become asymmetric (Edmonds); and in the case of Compton scattering by free electrons, by which process the lines are shifted and broadened (Chandrasekhar, Münch). Sobolev gave an elementary theory of such line profiles, based on the view that in the same extended atmosphere both absorption lines and emission lines may be formed.

Starting from observational studies on the solar hydrogen lines, de Jager became convinced that the broadening of these lines by interatomic Stark effect has not yet been satisfactorily treated, especially the transition between collisional broadening and statistical broadening is a weak point. Korringa has recently given an entirely new treatment of this theoretical problem.

NON-COHERENT SCATTERING

Since the pioneer work of Houtgast and Spitzer, only a few authors have tried to solve this difficult problem.

Münch assumed that the energy absorbed is partly emitted in the same frequency, partly around the line centre. Assuming a Milne-Eddington model and making use of Chandrasekhar's H -functions, he computed the line profiles. Application to the K -line in the Sun gives a very good agreement with the observations; the difference with coherent scattering is small.

Suemoto objects that Münch has substituted the $J_\nu(\tau)$ for coherent scattering to the actual $\bar{J}(\tau)$. His own treatment is entirely different; he divides the line into narrow wave-length sections. Here also the effects on the profile are small, except for the centre-limb effect.

Labs divides the line into the core and the wings. The effect of the non-coherent scattering appears to be complicated. For a normal line, the core may be described by coherent scattering, the wings by absorption; for a broadened line, the reverse is the case; for a very broad line the core is intermediate and the wings have the absorption shape.

Houtgast calculated the profiles and their centre-limb variation from atmospheric models in which σ/κ varies with depth, assuming non-coherent scattering; this is formally described by absorption + extinction.

The problem has been really *solved* only by Sobolev, using Ambartsumian's powerful theorem, for the case of complete re-distribution in the M.E. model and constant temperature. The distribution of each wave-length over all others is completely described, without subdivision of the line profile in a few sections. The results are relatively simple expressions; the profiles are found to be less deep than with coherent scattering and to broaden near the limb.

WEIGHT FUNCTIONS

This simple and practical method was first proposed by Unsöld and by Minnaert for the wings of strong lines and for the profiles of faint lines. Recently Unsöld succeeded in refining still more the mathematical foundation.

Minnaert worked out the method for the special case of faint lines in the solar spectrum. The necessary weight functions were tabulated by him. From the observations, it is now possible to derive directly the abundance, the excitation temperature, the effective level of the photosphere, the mean depth of line formation, entire allowance being made for the detailed atmospheric structure. The method was also applied to molecular lines.

By means of this method, Claas made a quantitative spectral analysis of the solar atmosphere, using only faint and moderately strong lines; his calculation makes full allowance for the detailed atmospheric structure and hardly depends on the damping. For the case of the Sun the available tables of special functions were extended by Pecker and adapted to the different points of the disk.

Pecker was also able to extend the method to the calculation of medium lines and strong lines. The same weight functions, already computed for faint lines, are relevant here, but they have to be multiplied by a 'saturation function'. The extended method applies to the case of pure selective absorption or pure selective scattering, but does not yet solve the combined case.

CURVES OF GROWTH

Greenstein showed that the shape of the curve of growth varies markedly according to the stellar model used. It is now clear that more care should be devoted to the selection of the right model. Some exact curves of growth have been published for the Milne-Eddington model by Wrubel. The influence of turbulence has been studied in detail (cf. next paragraph).

Unsöld remarked that the curve of the absorption coefficient does uniquely determine the curve of growth, but that the reverse is not true. Each ordinate of the curve of growth simply determines the width of the Δ_ν region where κ exceeds a certain value.

The important progress, made by hydrodynamics in this field, has stimulated astrophysical research and will probably be the starting-point for many investigations. The distribution of the energy or of the velocities over the eddies of different sizes has been established by Kolmogoroff and by Heisenberg, and the decay of turbulence may be calculated when the stirring agency is cut off. A comprehensive and very useful survey of this modern field has been given by Chandrasekhar.

The influence of turbulence on line broadening has been analysed more in detail. Wright's curves of growth for solar-type stars can be readily interpreted by assuming a turbulence, increasing with the height in the atmosphere (Unsöld and Struve). The possibility of such a situation has been confirmed by model calculations for a cG4 supergiant (Baroin and Schatzman).

It has become clear that 'macroturbulence' influences only the line profiles, while 'microturbulence' influences both the profiles and the curve of growth. The distinction between these two cases is determined by the size of the eddies, compared to the mean free path of the light quanta (=the 'effective depth' of the atmosphere).

Su-Shu Huang calculated the line absorption coefficient for the combination of microturbulence according to a Gauss function and macroturbulence of different types; he also investigated their combination with thermal motion and damping.

Wrubel introduced a function $s(k)$, which describes the weight with which eddies of different sizes (corresponding to k) have an effect on the curve of growth. All eddies of diameter smaller than 2.5 times the atmospheric thickness appear in this curve. De Jager and Pecker showed that the microturbulence as well as the macroturbulence are underestimated if there is a radiative layer above.

From the discrepancy between line profiles and curves of growth, it is possible to estimate the size of the eddies where the greatest turbulence energy is found. For the Sun this may be near 150 km.; for supergiants, in the region of very large sizes (Richardson and Schwarzschild).

The broadening of the solar lines near the limb had been explained by Allen as due to anisotropic turbulence, the horizontal currents having the greater velocity. Houtgast showed that this assumption is not justified. The broadening at the limb is found from his formulae without any auxiliary hypothesis: at the limb the line profile becomes shallower, and therefore the half width is increased. A similar result is found by Sobolev from the theory of non-coherent scattering, no assumption concerning turbulence being introduced.

An interesting study of the convective layers in stellar atmospheres of different spectral types is due to Ueno and Matsushima.

DEVIATION FROM EQUILIBRIUM CONDITIONS. MOVING ENVELOPES

Mustel investigated whether the laws of Kirchhoff and Planck may be applied to stellar atmospheres. The deviations are found to be considerable in supergiants, in stars with extended atmospheres and in the solar chromosphere.

Mrs Berditshevskaya finds that the ionization in a convection zone follows nearly instantaneously the change of temperature (thus confirming Unsöld, Pannekoek, and others).

The theory of moving stellar envelopes was treated very extensively by Sobolev in a book of fundamental importance. He successively considers early-type stars, novae, gaseous nebulae and late-type stars with emission lines. Later he applied the theory more in particular to Nova Herculis. The ionization in moving envelopes was calculated by Gorbatski as a function of the temperature and of the velocity gradient.

VARIOUS PROBLEMS

The question of the refraction in the outer solar atmosphere, a formerly much discussed problem, has been treated by Proisy according to modern conceptions. The influence of this effect on the brightness of the Sun's disk is barely appreciable at the utmost limb.

The same author has also investigated the influence of the curvature on the brightness distribution. This effect is more important than the preceding one.

Divari computed the radiation pressure on the atoms of several elements in the solar atmosphere, and Pikelner studied the friction of a moving atom or ion.

BIBLIOGRAPHY

[The succession of the quotations corresponds with the subjects mentioned in the text.]

Transfer of Radiation in the Classical Cases

- Chandrasekhar: *Radiative Transfer*. Oxford, 1950.
Kourganoff: *Basic Methods in Problems of Radiation Transfer*. (Not yet published; Oxford, 1952.)
Kourganoff: *Ann. Ap.* **12**, 169, 1949 = *Contr. I.A.P.* ser. B, no. 42.—Neutron diffusion, variational method.
Kourganoff and Ch. Pecker: *Ann. Ap.* **12**, 247, 1949 = *Contr. I.A.P.* ser. B, no. 41.—Quadrature formulae.
Kourganoff: *Contr. I.A.A.* no. 31, 1948 = *C.R.* **227**, 895, 1948.—Comparison of methods.
Kourganoff: *Contr. I.A.A.* no. 34, 1948 = *C.R.* **227**, 1020, 1948.—Comparison of methods.
Kourganoff: *Contr. I.A.A.* no. 36, 1948 = *C.R.* **228**, 300, 1949.—Variational method.
Kourganoff: *Contr. I.A.A.* no. 46, 1948 = *C.R.* **228**, 2011, 1949.—Source function.
Kourganoff: *Astrophys. Norv.* **5**, no. 1, 1949.—Errors of Eddington's approximation.
Kourganoff: *Ap. J.* **113**, 419, 1951.—Exact source functions for the interior.
Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 19, 1948 = *C.R.* **226**, 1889, 1948.—Variational method.
Menzel and Sen: *Ap. J.* **110**, 1, 1949.—New operational method.
Busbridge: *Ap. J.* **111**, 654, 1950.—Criticisms.
Kourganoff: *Ap. J.* **111**, 443, 1950.—Criticisms.
Unsöld: *Z. Ap.* **25**, 363, 1948.
Katterbach and Krause: *Z. Ap.* **26**, 137, 1949.—Tables of K_n functions.
Kourganoff: *Contr. I.A.A.* No. 32, 1948 = *C.R.* **227**, 958, 1948.— K_n functions.
Labs: *Z. Ap.* **27**, 153, 1950.— T distribution.
Münch: *Ap. J.* **107**, 265, 1948.— T in Sun, non-gray atmosphere.
Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 20, 1948 = *C.R.* **226**, 1961, 1948.—Effective T and surface T .
Münch and Chandrasekhar: *Harv. Circ.* no. 453, 1949.—Darkening coefficients.
Owaki: *Publ. Astr. Soc. Japan*, **1**, 163, 1950.
Underhill: *Ap. J.* **110**, 340, 1949.—Continuous scattering and absorption.
Sobolev: *R.A.J.* **26**, 22, 1949.—Scattering and absorption.
Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 15, 1948 = *C.R.* **226**, 561, 1948.—Scattering and absorption.
Suzuki: *Publ. Astr. Soc. Japan*, **1**, 33 and 109, 1949.—Non-homogeneous T .
Pierce and Aller: *Ap. J.* **114**, 145, 1951.
Menzel and Sen: *Ap. J.* **113**, 482, 1951.—Absorption lines, Eddington model.
Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 74, 1950.

Extended Atmospheres

- Bouvier: *Arch. Sci. Phys. Nat.* **2**, 189, 1949.
Ueno: *Japan. Journ. Astr.* **1**, 27, 1949.
Underhill: *Ap. J.* **107**, 247, 1949.—Schuster Problem.

Polarization of the Light emitted by an Atmosphere with Free Electron Scattering

- Sobolev: *Učenie Zapiski, Seria Matem. Nauk.* No. 18, p. 3, 1949.
Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 17, 1948 = *C.R.* **226**, 1251, 1948.
Pecker (II): *Ann. Ap.* **13**, 319, 1950.
Code: *Ap. J* **112**, 22, 1950.
Voigt: *Zs. Ap.* **28**, 176, 1951.
Wrubel: *Ap. J* **110**, 288, 1949.

The Mean Absorption Coefficient

- Unsöld: *Z. Ap.* **25**, 340, 1948.
Michard: *Ann. Ap.* **12**, 291, 1949 = *Contr. I.A.P.* ser. B, no. 40; *Contr. I.A.P.* ser. A, no. 39 = *C.R.* **229**, 702, 1949.

Models of Stellar Atmospheres

- Pecker (I): *Ann. Ap.* **13**, 294, 1950.—General.
Rosa: *Z. Ap.* **25**, 1, 1948.
Unsöld: *Z. Ap.* **25**, 10, 1948.
Rosa and Unsöld: *Z. Ap.* **25**, 20, 1948.
Vitense: *Z. Ap.* **28**, 81, 1951; **29**, 73, 1951.
Claas: *Proc. Acad. Amsterdam*, **52**, 518, 1949.
Underhill: *Ap. J* **111**, 203, 1950.—B-star.
Underhill: *Publ. København Obs.* no. 151.—B-star.
Underhill: *M.N.* **109**, 562, 1949.—Radiation pressure.
Pecker (III): *Ann. Ap.* **13**, 433, 1950.—B-star.
Aller: *Ap. J.* **109**, 244, 1948.—B-star.
Weenen: *Over Be-sterren en de bouw en samenstelling van W-sterren.* (Diss. Amsterdam, 1949.)
Zanstra and Weenen: *B.A.N* **11**, 165, 1950.
Schatzman: *Publ. København Obs.* No. 149.—White dwarf.
Cayrel: *Ann. Aph.* **14**, 1, 1951.—White dwarf.
Pecker (V): *Contr. à la Théorie du Type Spectral*, ch. v (Diss. Paris, 1950).—*Ann. Aph.* **14**, 152, 1951.—Blanketing.
Labs: *Zs. Aph.* **29**, 199, 1951.—Blanketing.
Unsöld: *Zs. f. Naturforschung*, **3a**, 486, 1948.
Kets: *B.A.N.* **11**, 236, 1950.
Mrs Ch. Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, nos. 84 and 85, 1951.
Ueno: *Publ. Astr. Soc. Japan*, **1**, 59 and 138, 1950.
Ueno: Not yet published, on the continuous spectrum.
Ueno and Matsushima: *Publ. Astr. Soc. Japan*, **2**, 32, 1950.
Miyamoto: *Memoirs of Astrophysics*, Kyoto 1949.—White dwarfs.
Miyamoto: *Contr. Kyoto*, no. 24, unpublished.—W type stars.
Miyamoto: *Contr. Kyoto*, no. 19 = *Jap. J. Astr.* **1**, 17, 1949.—Be stars.
Miyamoto: *Contr. Kyoto*, no. 20, in press.—Be stars.
Miyamoto: *Contr. Kyoto*, no. 23, in press = *Publ. Astr. Soc. Japan.*—Be stars.
Miyamoto: *Ap. J* **113**, 181, 1950.—Extended atmospheres.
Jugaku: *Contr. Kyoto*, no. 15 = *Publ. Astr. Soc. Japan*, **3**, 42, 1951.—Extended atmospheres.

Scattering in the Atmosphere of the Earth and the Planets

- Chandrasekhar: *Radiative Transfer.* Oxford, 1950.
Chandrasekhar: *Ap. J* **107**, 188, 1948.—Scattering in finite atmospheres.
Chandrasekhar and Breen: *Ap. J* **108**, 92, 1948.—*F, G, X, Y* functions.
Chandrasekhar and Breen: *Ap. J* **109**, 555, 1949.—*G*-functions.

van de Hulst: *Ap. J* **107**, 220, 1948.—Scattering in planetary atmosphere.
 van de Hulst: *Atmospheres of the Earth and Planets*, ch. iii, 1949.—Scattering in planets.
 Horák: *Ap. J* **112**, 445, 1950.
 Hammad: *Ap. J* **108**, 338, 1948.
 Hammad: *Phil. Mag.* **39**, 956, 1948.
 Chandrasekhar and Donna Elbert: *Nat.* **167**, 51, 1950.—Sky polarization.
 Sobolev: *Učenie Zapiski, Seria Mat. Nauk.* No. 18, p. 17, 1949.—Absorption and scattering.

Line Profiles

Chandrasekhar: *Radiative Transfer*, p. 318. (Oxford, 1950.)
 Harris: *Ap. J* **108**, 112, 1948.—Absorption coefficient.
 Jentsch and Unsöld: *Zs. f. Phys.* **125**, 376, 1948.
 Unsöld: *Ann. de Phys.* **3**, 139, 1948.
 Harris: *Ap. J* **109**, 53, 1949.—Detailed profile calculation.
 Underhill: *Ap. J* **107**, 349, 1949.—Lines in B-stars.
 Underhill: *Ap. J* **110**, 340, 1949.—Continuous scattering and absorption.
 Edmonds: *Ap. J* **112**, 307, 1950.—Scattering by moving atmospheres.
 Chandrasekhar: *Proc. R. Soc. A*, **192**, 508, 1948.
 Münch: *Ap. J* **108**, 116, 1948.
 Sobolev: *R.A.J* **25**, 3, 1948.—Line profiles in moving atmospheres.

Non-coherent Scattering

Münch: *Ap. J* **109**, 275, 1949.
 Suemoto: *Publ. Astr. Soc. Japan*, **1**, 78, 1949.
 Labs: *Zs. Aph.* **28**, 150, 1951.
 Sobolev: *R.A.J* **26**, 129, 1949.

Weight functions

Unsöld: *Z. Ap.* **26**, 20c, 1949.
 Minnaert: *B.A.N.* **10**, 339 and 399, 1948; **11**, 51, 1949.
 Claas: *Recherches Obs. Utrecht*, **12**, 1951.
 Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 35, 1948 = *C.R.* **227**, 1341, 1949.
 Pecker: *B.A.N.* **11**, 43, 1949 = *Contr. I.A.P.* ser. B, no. 27.
 Pecker (IV): *Contr. à la Théorie du Type Spectral*, ch. iv (Diss. Paris, 1950); *Ann. Aph.* **14**, 115, 1951.

Curves of Growth

Greenstein: *Ap. J* **107**, 151, 1948.—Influence of model. Cf. *Ap. J* **113**, 705, 1951.
 Wrubel: *Ap. J* **109**, 66, 1949.—Influence of model.
 Wrubel: *Ap. J* **111**, 157, 1950.—Influence of model.
 Unsöld: *Zs. Ap.* **24**, 384, 1948.—General.

Turbulence

Chandrasekhar: *Ap. J* **110**, 329, 1949.
 Chandrasekhar: *Proc. R. Soc. London, A*, **200**, 20, 1949.
 Unsöld and Struve: *Ap. J* **110**, 455, 1949.
 Baroin and Schatzman: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 75, 1951.
 Su-Shu Huang: *Ap. J* **112**, 399, 1950.
 Wrubel: *Ap. J* **112**, 424, 1950.
 de Jager and Pecker: *Contr. Inst. Aph.* ser. A, no. 89, 1951.
 Richardson and Schwarzschild: *Ap. J* **111**, 351, 1950.
 Ueno and Matsushima: *Publ. Astr. Soc. Japan*, **2**, 32, 1950.
 Houtgast: *B.A.N.* **11**, 1952.

Deviations from Equilibrium. Moving Envelopes

- Mustel: *Izvest. Krymsk. Astrof. Obs.* **2**, 123, 1948.
Berditshevskaya: *Publ. G.A.I.Sh.* No. 60, 1950.
Sobolev: *Moving Stellar Envelopes*. (Leningrad, 1947.)
Sobolev: *R.A.J.* **27**, 81, 1950.—Effect of rapidly increasing radiation.
Gorbatski: *Uč. Zapiski Leningrad*, **22**, 72.

Various Problems

- Proisy: *Ann. Aph.* **12**, 123, 1949.—Refraction in solar atm.
Divari: *R.A.J.* **27**, 351, 1950.—Radiation pressure.
Pikelner: *Izvest. Krymsk. Astrof. Obs.* **3**, 51, 1948.

INQUIRY ON URGENT PROBLEMS CONCERNING
STELLAR ATMOSPHERES

In order to stimulate the interaction between theoretical and observational work, the members of the Sub-Commission were requested to give their opinion on the following question:

- A. Which new observations would be of direct use for the development of the theories on stellar atmospheres?

The members of the Commissions 12 and 29 were asked to inform us about the reciprocal question:

- B. Which theoretical developments would be helpful for the interpretation of observations on stellar atmospheres?

The answers received have been slightly condensed and have been systematically put together.

A. Observational Data required for the Development of Theory

1. Observational Technique

Influence of the photographic density on spectrum purity. Eberhard effect. (Miss Iwanowska.)

2. Atomic Data

Direct measurement of transition probabilities. (Spitzer; Goldberg; Aller.)

Pressure shifts of lines by H-atoms; experiments with He-atoms should produce about the same effect. Possible correlation with centre-limb shifts in the Sun. (Spitzer; Goldberg; Aller.)

Check absolute f -values for Ti and Fe. (Minnaert.)

3. Continuous Spectrum

Limb darkening in different wave-lengths at the extreme limb; the criticisms of Evans are met if the brightness is measured with respect to the centre. (Barbier; Biermann, Goldberg; Aller.)

Distribution of energy in the continuous spectrum, measured with high accuracy. (Goldberg; Aller.)

Absolute measurement of the energy distribution, especially in IR and UV (windows). (Kourganoff.)

Balmer discontinuity in early-type stars with interference filters (λ 3600, 3700, 4000, 5000 Å). (Barbier; Kourganoff.)

Paschen discontinuity in star spectra, with interference filters or by photo-electric photometry. (Kourganoff.)

Better co-ordination between the selection of stars for the determination of parallax, radius and monochromatic flux. These yield together the absolute value of the flux. (Kourganoff.)

4. *Line Profiles*

Accurate wave-length measurements, especially for lines of high excitation (e.g. iron), to be compared with those of iron lines in a He-atmosphere. (Goldberg; Aller.)

Measurements of line profiles across the disk with higher precision than is now possible with the photographic plate. (Goldberg; Aller.)

5. *Chromosphere and Special Phenomena*

Observations of the granulation, in connection with recent work of Richardson and Schwarzschild. (Biermann.)

Spectra and centre-limb variation of faculae, prominences, flares. (Unsöld.)

Variation of the flash spectrum with time near second or third contact; rate of decrease with height (high T or turbulence and low T ?). (Biermann.)

Repeat Redman's observation on the chromosphere with the highest resolution. (Goldberg; Aller.)

6. *Stellar Spectra*

Accurate line profiles and equivalent widths for representative stars, with high dispersion, including UV and IR. (Goldberg; Aller; Unsöld.)

Extra spectrophotometry of peculiar faint objects: sub-dwarfs, white-dwarfs, nuclei of planetaries. (Kourganoff.)

Spectra of active stars of late type. (Unsöld.)

B. *Theoretical Developments required for the Interpretation of Observations*

I. *Atomic Data*

Transition probabilities of metal lines, for use in abundance determination and determination of the level of ionization. (Babcock.)

Transition probabilities for lines of light atoms (C, N, O) in various stages of ionization. (Goldberg; Aller.)

Bates and Damgaard assumed H-like upper levels, but this is not always allowed; transition probabilities in intermediate coupling, which is better than LS coupling.

Transition probabilities for lines absorbed by high levels of atoms and ions (Mg, Fe, etc.), in view of the infra-red spectrum. (Goldberg; Aller.)

Transition probabilities of (FeII), (FeIII), etc., for investigations on extended atmospheres, novae, nebulae. (Goldberg; Aller; Swings.)

Transition probabilities and heats of dissociation of molecules, for investigations of late-type stars, comets, interstellar matter. (Swings; Hunaerts.)

According to the measurements of Chalonge, there must be in the solar atmosphere a gas other than H or H^- which produces a continuous absorption in the region of the short wave-lengths. The nature of this agent should be ascertained. (Barbier; Kourganoff.)

Absorption cross-section of H_2^+ which probably produces absorption in the Sun between $\lambda 2000$ and $\lambda 4000$ A. (Wildt.)

Damping constants for lines of intermediate and great strength. (Fe.)

Coefficients of the quadratic Stark effect, van der Waals constants. Effect of hydrogen atom collisions in broadening and shifting spectral lines. (Miss Adam.)

Collision broadening of spectral lines due to electrons, protons, hydrogen atoms, considering all angles of deflection. (Hagihara.)

Transition between the statistical theory of broadening and the collision theory, especially as applied to Balmer lines broadened by electrons. (Minnaert.)

2. *The Scattering Process*

Closer investigation of the scattering by a moving particle, extension of Henyey's older work. (Kourganoff.)

Detailed examination of line formation by non-coherent scattering. (Spitzer.) Extension of Sobolev's theory to other models. (Minnaert.)

3. *Hydrodynamics, Electromagnetism*

Convection in an isothermal atmosphere; generation and dissipation of eddies, large compared to the scale height. (Spitzer.)

How is the T -gradient established under the combined influence of convective and radiative transport of energy? Theory of turbulence with a T -gradient. (Goldberg; Aller; Schatzman.)

Study of ionized atmospheres in which there are varying magnetic and electric fields, with a particular attention to conductivities and mobilities of ions. Interpretation of coronal phenomena; prominence motions, variable magnetic fields. (Babcock; Barbier; Biermann; Stratton, Unsöld.)

Shock waves, acoustical waves, in view of theories on the chromosphere, on novae and on variable stars. (Babcock; Barbier.)

Motion of atoms in tenuous atmospheres, in view of the interpretation of emission line spectra.

- (1) Acceleration by light pressure;
- (2) Acceleration by electro-magnetic forces;
- (3) Dragging of atoms, viscosity;
- (4) Possible sources of ionization other than kinetic motions and radiation from the photosphere. (Merrill.)

The surface of most stars may be at a fairly high electrostatic potential, due to the differential escape of electrons and the development of a surrounding space charge. Is it possible to devise an observational test? (Evans.)

4. *Atmospheric Models*

Model atmospheres for hot stars. (Goldberg; Aller; McKellar; Wright.)

Model atmospheres for giants and supergiants. (Goldberg; Aller; McKellar; Wright.)

Model atmospheres with convection zones, which are

- (1) in radiative equilibrium even in these zones;
- (2) in convective equilibrium in these zones. (Rudkjøbing; Gratton.)

Explanation of the high turbulence observed in supergiants; this very marked phenomenon is still unexplained. (Spitzer.)

Closer examination of the 'roughening effect' (Barbier.)

In case κ varies with λ : construction of entirely rational and convergent models, free from the objections existing against the three available methods (iterative, variational, $\bar{\kappa}$). (Kourganoff; Goldberg; Aller.)

Effect of molecular and other absorption continua on late-type spectra. (McKellar; Wright.)

Till what spectral type is H^- the main cause of opacity? Which is the cause of opacity in cooler stars? (Gratton.)

Blanketing effect. (ten Bruggencate.)

Effects of He abundance on the spectrum. (Minnaert.)

5. *Line Profiles*

Extension of the theory of line intensities, due account being taken of the variation of T , κ , σ with depth, e.g. by a variational procedure. (Rudkjøbing; Hagihara; Righini.)

Theory of line formation without the Eddington approximation nor the ME or SS models. (Kourganoff.)

Theory of the central intensities; influence of non-coherent scattering. (ten Bruggencate.)

Theory of the central intensities of Balmer lines; are these indicative for the 'surface' temperature of the star? (Chalonge.)

Analysis of stellar atmospheres by large dispersion line profiles instead of by the curve of growth. (Goldberg; Aller.)

Detailed application of the theory of turbulence in order to predict the profiles of strong lines and the curve of growth. (Babcock.)

Line formation in moving atmospheres, extension of Sobolev. (Kourganoff.)

6. *Sunspots*

Structure of the atmosphere in a sunspot. (ten Bruggencate.)

Theory of the origin of sunspots. (Beals; Rottenberg.)

7. *Chromosphere*

Effects produced in the solar atmosphere by its chromosphere; some of the new evidence on high chromospheric temperatures might perhaps be generalized and applied to more unstable stars with larger and hotter chromospheres. (Babcock.)

Relation between the reversing layer, chromosphere and corona. (Goldberg; Aller.)

Theory of the accretion by interstellar matter, influence on the stellar radiation, as a function of the space velocity of the star, its luminosity, etc. (Miss Iwanowska.)

Mechanism of motions like those of solar spicules. (Beals; Rottenberg.)

8. *Stellar Spectra*

Theory for the orders of sequences for the appearance of the various elements in the atmospheres of stars, as shown by their spectra (especially for cool stars). (Lee.)

Quantitative theory of absolute magnitude effects on spectral lines. Spectroscopic parallaxes. (Goldberg; Aller; Thackeray.)

Theory of the Adams-Russell phenomenon, i.e. apparent superexcitation of high levels (Thackeray) at low T Idem in sunspots.

Explanation of some special stellar spectra, combining aspects of several regions of the H-R-diagram. The M-L-stars show a K -line of early A-type, metal-line intensities characteristic of early F-type or of high luminosity. However, these stars are not particularly luminous.

In the spectra of some giant stars the ground state lines of metals are strengthened as compared to lines of excited states. Why? (Babcock.)

Quantitative examination of the mechanisms whereby emission lines can be formed in the atmosphere of a single star. Most theories assume cyclic transitions in a dilute radiation field. However, in long-period variables and perhaps in Wolf-Rayet stars there is good reason to believe that the emission lines are formed below the absorption lines. (Plaskett; Gratton; Beals, Rottenberg.)

Composition and theory of Wolf-Rayet atmospheres. Explanation of the emission bands; photometric observations imply that the expanding shell is very close to the star, and thus the wide emission profiles must be explained as a result of both ascending and descending velocities. It is difficult to see how descending velocities as great as the escape velocity can be produced. Influence of electron scattering. (Spitzer.)

Microscopic processes in stellar atmospheres which could cumulatively produce the ejection of particles in W-type stars. (Beals; Rottenberg.)

Explanation of the very rapid brightness variations in VV Puppis, UX UMa, dwarf M stars. (Thackeray.)

9. *Nebulae*

Explanation of the forms of planetary nebulae. Some show circular or axial symmetry, others show breaches in the rings. It would be valuable to investigate the stability of such shells. (Evans.)

Origin of 'fuzzy' interstellar lines. (Beals; Rottenberg.)

C. General Remarks

The present co-ordination of the theoretical and observational sides of solar research leaves much to be desired. (Evans.)

To the observational worker a theoretical paper is of value if it suggests a definite observational test which will decide between possible alternatives. Most theoretical papers fail to do this. (Evans.)

The most useful thing is not for me to list these problems, but to hasten the moment when we can give preliminary answers. (Plaskett.)

M. G. J. MINNAERT
Président de la Sous-commission

RAPPORT COMPLÉMENTAIRE

II. SPECTROPHOTOMETRIE PHOTOGRAPHIQUE

(c) GRADATION DE LA LUMIÈRE

Un dispositif de gradation de la lumière vient d'être construit à l'Institut d'Astrophysique de Paris. Il est analogue à celui que Barbier a décrit il y a quelques années (*Annales d'Astrophysique*, 7, 80, 1944): l'introduction dans des positions bien définies dans le collimateur d'un spectrographe de deux écrans fixes au profil convenablement calculé permet d'obtenir des spectres dégradés semblables à ceux que fournirait un coin neutre placé sur la fente, mais ici la loi de variation de l'intensité le long d'une raie est indépendante de la longueur d'onde. Le dispositif réalisé comporte un certain nombre de perfectionnements sur celui de Barbier. En particulier, la source de lumière est une source fluorescente analogue à celle qui a été décrite dans la première partie de ce rapport [IV]. Les spectres obtenus fournissent ainsi une gradation pour toutes les radiations, du rouge à 3000 Å.

La description détaillée du dispositif n'a pas encore été faite.

V SPECTROPHOTOMETRIE DES SPECTRES CONTINUS

(a) PHOTOMÉTRIE DE PLUSIEURS COULEURS

O. Eggen a poursuivi ses observations photoélectriques [v, 45]. Mais un travail récent de Johnson et Morgan fait, lui aussi, par voie photoélectrique [v, 46] met en doute certains des résultats annoncés par Eggen: tous les détails de la structure fine du diagramme de Russell-Hertzsprung annoncés par Eggen ne seraient peut-être pas aussi sûrs qu'il l'avait dit. Stebbins, après avoir discuté les observations de Eggen, fait lui aussi quelques réserves sur certains résultats annoncés par cet auteur [v, 47].

F. B. Wood a fait par photométrie photoélectrique l'étude de l'éclipse de ξ Aurigae (1947-48) [v, 48]. Il a opéré sur deux larges bandes de radiations ayant comme longueurs d'onde effectives 4500 et 3700 Å. L'éclipse a commencé dans l'ultraviolet alors qu'aucun changement n'était encore observable dans le bleu et les variations de lumière sont dissymétriques au début et à la fin du phénomène.

(b) SPECTRES STELLAIRES—GRADIENTS RELATIFS

Prolongeant le travail de Barbier et Chalonge (*Annales d'Astrophysique*, 4, 30, 1941) vers les magnitudes plus faibles, les résultats relatifs à l'étude des spectres continus d'environ 150 étoiles vont être publiés sous peu [v, 49]. Les observations ont été faites au Jungfraujoch à l'aide du petit spectrographe à châssis oscillant [I, 5] fixé au foyer Cassegrain d'un télescope de 25 cm. à miroirs aluminés, le domaine spectral étudié est le même que pour le travail de Barbier et Chalonge (4600-3100 Å.) et les grandeurs

observées sont les mêmes: températures de couleur T_1 et T_2 pour le bleu-violet et pour $\lambda < 3700 \text{ \AA}$. et discontinuité de Balmer. Parmi les étoiles observées se trouvent des étoiles normales et des étoiles rougies par absorption interstellaire. Comparant les gradients relatifs observés (gradients rapportés à 10 Lacertae)* pour la région bleue-violette, à ceux des mêmes étoiles étudiées à Greenwich (région rouge-bleue) et rapportés également à 10 Lacertae, L. Divan [v, 50] a vérifié que les gradients des étoiles normales pour les deux régions considérées (rouge-bleue et bleue-violette) sont pratiquement égaux pour les types moins avancés que A 5; pour les types plus avancés, le gradient relatif pour la région rouge-bleue est plus faible que pour le bleu-violet dans le cas des étoiles non rougies. Pour les étoiles rougies (étoiles des premiers types) le gradient rouge-bleu apparaît au contraire nettement plus grand que pour le bleu-violet. Ces résultats, déjà signalés sous d'autres formes par d'autres auteurs, mettent bien en évidence l'écart qui existe entre la loi d'absorption de la matière interstellaire et la loi en $1/\lambda$.

Poursuivant ses recherches spectrophotométriques sur les céphéides, Mme Hack a étudié S Saggiatae (courbes de lumière monochromatique pour 9λ , températures de couleur) [v, 51].

Barber [v, 52] a fait une série de déterminations des gradients et des températures de couleur de γ Cas dans le visible et le proche infra-rouge, entre 1945 et 1950. Il est curieux que les variations de ces grandeurs soient différentes dans les deux parties du spectre.

(c) TEMPÉRATURES DE BRILLANCE

Pilowski [v, 53] vient de faire une revue des méthodes employées jusqu'ici pour la détermination des températures de brillance, et une étude critique des résultats. Ce travail peut se résumer ainsi. On passe facilement de chaque magnitude d'une étoile à la température de brillance relative à la longueur d'onde effective correspondante pourvu que la parallaxe et le rayon de l'étoile soient connus. Des études d'ensemble sur les étoiles doubles et les étoiles doubles à éclipses ont permis à Pilowski de rassembler ces données pour un certain nombre d'étoiles moyennant des hypothèses qui peuvent être discutées. Lorsque la parallaxe n'est pas connue, la comparaison de deux étoiles dont on sait seulement qu'elles sont à la même distance et que leurs rayons sont dans un rapport donné, fournit le moyen d'établir une relation empirique entre la température de brillance et la température de couleur. C'est la méthode de Becker: il l'a appliquée successivement sous deux formes voisines: à deux états d'une même céphéide pour lesquels le rayon est le même (*Z. f. Ap.* **19**, 269, 1940) et aux deux composantes d'une variable à éclipses (dont le rapport des rayons est connu) [v, 24].

Pilowski compare entre elles les échelles de températures déterminées par ces trois méthodes et parvient, après avoir corrigé les résultats fournis par la seconde méthode de Becker, à mettre ceux-ci d'accord avec les siens. Les divergences qui se manifestent entre les diverses déterminations peuvent tenir en partie aux données employées pour déterminer les zéros des échelles, en partie à certaines hypothèses de base. Il est curieux que les températures trouvées ne soient pas systématiquement plus élevées pour les magnitudes photographiques que pour les magnitudes visuelles.

(d) SPECTROPHOTOMÉTRIE SOLAIRE

Pierce et Aller [v, 54] ont repris le travail de Chalonge-Kourganoff avec une méthode d'analyse plus perfectionnée et en utilisant les nouvelles données d'assombrissement obtenues à McMath [v, 33]. Ils signalent la difficulté (mentionnée dans la première partie de ce rapport) de la position du minimum d'absorption de la matière photosphérique qui ne tombe pas au point prévu et expliquent ce désaccord par les erreurs dans la courbe d'énergie du centre du disque solaire. Ils corrigent ces erreurs présumées en admettant une température superficielle constante dans tout le spectre. Ce travail est en quelque sorte complémentaire de celui de Peyturaux [v, 38, 55], fait de façon

* ϕ (étoile) — ϕ (10 Lac).

indépendante: comme on l'a vu, Peyturaux a corrigé par ses observations la courbe d'énergie et trouvé le minimum d'absorption à $1,6\mu$ comme il était prévu, et l'analyse des résultats lui donne une température superficielle voisine de celle supposée par Pierce et Aller.

Tous ces travaux confirment de façon très nette le rôle joué par l'ion négatif hydrogène dans l'atmosphère solaire.

Admettant que l'opacité de l'atmosphère solaire dans le visible et l'infra-rouge est due uniquement à H^- et à l'atome neutre H, Neven et de Jager [v, 56], développant le modèle solaire proposé par de Jager [v, 57], ont calculé la distribution de l'énergie dans le spectre du centre du disque ainsi que l'assombrissement centre bord, pour une série de longueurs d'onde. L'accord entre la théorie et les observations est bon jusqu'à $2,3\mu$. Au delà, un écart se manifeste entre les valeurs calculées et mesurées de l'assombrissement: il est peut-être attribuable aux valeurs admises pour les coefficients d'absorption continue.

Dans une conversation privée, R. Wildt a annoncé la publication prochaine par Bates d'une étude théorique des coefficients d'absorption de la molécule très simple H_2^+ , qui peut se former par l'association d'un proton avec un atome d'hydrogène neutre. Cette molécule a un spectre d'absorption continu notable du côté des courtes longueurs d'onde et il est possible que, conformément à l'hypothèse émise par R. Wildt [v, 58], cette absorption contribue à expliquer l'accroissement d'opacité dans la région ultra-violette du spectre solaire (on a déjà signalé plus haut une autre cause possible d'opacité).

L'étude récente faite par Nicolet, du problème de la constante solaire [v, 59], contient les données les plus complètes sur la courbe d'énergie du Soleil.

(e) NÉBULEUSES, MATIÈRE INTERSTELLAIRE

Dombrovsky [v, 60] a fait l'étude spectrophotométrique de quelques nébuleuses au moyen d'un instrument très modeste: spectrographe à un prisme (dispersion de 200 \AA./mm. à $H\beta$) fixé au foyer d'un réfracteur de 9 pouces. Les plaques étaient étalonnées à l'aide d'un échelon à 7 marches. Les poses sur les nébuleuses pouvaient aller jusqu'à 15 heures. La température de couleur de diverses parties de la nébuleuse d'Andromède a été ainsi déterminée. La nébuleuse d'Orion a été trouvée plus rouge que son étoile centrale, θ Orionis (résultat opposé à ceux obtenus ailleurs).

Voir sur le sujet de la matière interstellaire le travail de L. Divan mentionné ci-dessus [v. b].

VI. SPECTROPHOTOMETRIE DES RAIES

(b) COURBES DE CROISSANCE

Un exposé sur les nouvelles méthodes d'étude des spectres stellaires (plus spécialement sur les courbes de croissance) a été publié par O. A. Melnikov [vi, 43].

Chamberlain et Aller [vi, 44] ont étudié par la méthode des courbes de croissance et celle des modèles d'atmosphère, les atmosphères de deux sous-naines et celle de 95 Leonis (étoile située un peu au-dessus de la série principale dans le diagramme H.R.). Pour cette dernière, la température et la gravité semblent normales. Les deux sous-naines présentent un contenu d'hydrogène normal mais une abondance de fer et de calcium faible.

La température de couleur et la discontinuité de Balmer calculées par Chamberlain et Aller pour les sous-naines peuvent être comparées aux valeurs observées récemment sur des étoiles analogues [v, 14]: la température calculée a l'ordre de grandeur voulu mais la discontinuité calculée est un peu trop faible.

Buscombe [vi, 45] a appliqué les courbes de croissance au cas de γ Gem et de α Cyg: détermination de la température d'excitation, pression électronique, etc.

S. E. Voinova [vi, 46] et A. Demidova [vi, 47] ont déterminé la température d'excitation du Soleil.

Une méthode perfectionnée a été appliquée par Claas à l'étude de la composition de l'atmosphère solaire [vi, 48].

(c) LARGEUR ET CONTOUR DES RAIES

W Iwanowska [VI, 49] a observé 22 étoiles à grande vitesse et 15 étoiles standard: chez les types G et K se manifeste un affaiblissement général de la plupart des raies, mais le type F ne présente pas de particularité perceptible.

Barocas et Righini [VI, 50], mesurant la largeur équivalente de 18 raies du Ti en divers points du rayon solaire, observent un maximum vers $\cos \theta = 0,4$ (alors que pour les raies du Fe la décroissance est continue du centre au bord).

VII. TRAVAUX GÉNÉRAUX

Un catalogue photométrique des raies de Fraunhofer pour la région 6600–8770 Å. a été publié par l'Observatoire d'Utrecht [VII, 6]. Il donne la largeur équivalente des raies contenues dans ce domaine spectral.

D. CHALONGE
Président de la Commission

LISTE DES PUBLICATIONS

V. SPECTROPHOTOMÉTRIE DES SPECTRES CONTINUS

(a) *Photométrie de plusieurs couleurs*

- [45] O. C. EGGEN. *Ap. J.* **112**, 141, 1950; **113**, 367, 1951; **113**, 657, 1951; **113**, 663, 1951.
[46] H. L. JOHNSON and W. W. MORGAN. *Ap. J.* **114**, 151, 522.
[47] J. STEBBINS. *Ap. J.* **114**, 544, 1951.
[48] F. B. WOOD. *Ap. J.* **114**, 505, 1951.

(b) *Spectres stellaires. Gradients relatifs*

- [49] D. CHALONGE, L. DIVAN. *Ann. d'Astroph.* **15**, 1952 (paraîtra prochainement).
[50] L. DIVAN. *C.R.* **233**, 1951.
[51] M. HACK. *Memorie Soc. Astr. Ital.* **22**, 1, 1951.
[52] D. R. BARBER. *M.N.* **110**, 615, 1950.

(c) *Températures de brillance*

- [53] K. PILOWSKI. *A.N.* **279**, 145, 1951.

(d) *Spectrophotométrie solaire*

- [54] A. K. PIERCE and L. A. ALLER. *Ap. J.* **114**, 145, 1951.
[55] R. PEYURAUX. *C.R.* **232**, 1069, 1951 et **233**, 23, 1951.
[56] L. NEVEN and C. DE JAGER. *B.A.N.* **11**, 291, 1951.
[57] C. DE JAGER. Thèse. Utrecht (sous presse).
[58] R. WILDT. *Colloque de Lyon*, 1947 (relations entre les phénomènes solaires et géophysiques).
[59] M. NICOLET. *Ann. d'Astroph.* **14**, 249, 1951.

(e) *Nébuleuses, matière interstellaire*

- [60] V. A. DOMBROVSKY. *Publ. Obs. Astron. Leningrad*, **15**, 166, 1950.

VI. SPECTROPHOTOMÉTRIE DES RAIES

(b) *Courbes de croissance*

- [43] O. A. MELNIKOV. *Ouspekhi Astron. Naouk*, **5**.
[44] J. W. CHAMBERLAIN and L. H. ALLER. *Ap. J.* **114**, 52, 1951.
[45] W. BUSCOMBE. *Ap. J.* **114**, 73, 1951.
[46] S. E. VOINOVA. *Publ. Obs. Astron. Leningrad*, **15**, 225, 1950.
[47] A. DEMIDOVA. *Publ. Obs. Astron. Leningrad*, **15**, 230, 1950.
[48] W. J. CLAAS. *Rech. Astron. Obs. Utrecht*, **12**, 1, 1951.

(c) *Largeur et contour des raies*

- [49] W. IWANOWSKA. *Bull. Obs. Torun*, No. 9.
[50] V. BAROCAS and G. RIGHINI. *Ap. J.* **114**, 443, 1951.

VII. TRAVAUX GÉNÉRAUX

- [6] Photometric Catalogue of Fraunhofer Lines $\lambda 6600$ – $\lambda 8770$. *Recherches astronomiques de l'Observatoire d'Utrecht*, **12**, part 2.

(2ème rapport complémentaire)

I. SPECTROGRAPHES

Melnikov et Joanniciani décrivent [I, 8] un instrument destiné à des recherches de spectrophotométrie stellaire dans le visible et l'ultra-violet : il est constitué par un télescope Cassegrain afocal (miroir principal de 25 cm. d'ouverture, ouvert à $f/3$). Le faisceau parallèle sortant, de 42 mm. de diamètre, pénètre dans un spectrographe à prisme objectif, à optique de quartz (1 prisme de Cornu) et donne un spectre couvrant les domaines visible et ultra-violet et ayant une dispersion de 200 Å./mm. vers H_{β} .

Ce dispositif a été construit à deux exemplaires, un pour l'Observatoire de Poulkovo, l'autre pour celui de Burakan et les premiers essais ont été faits près de Burakan à 3200 m. d'altitude.

Severny [I, 9] a appliqué l'interféromètre Fabry-Pérot à l'étude détaillée des contours de quelques raies de Fraunhofer dans le spectre solaire.

II. SPECTROPHOTOMÉTRIE PHOTOGRAPHIQUE

(a) *Microphotomètres*

E. Vandekerkhove [II, 12] indique comment il est possible d'enregistrer directement les intensités au moyen d'un microphotomètre de Zeiss ou de Rosenberg.

III. SPECTROPHOTOMÉTRIE PHOTOÉLECTRIQUE

Kuprievich décrit des perfectionnements dans la construction du spectrophotomètre photoélectrique solaire [III, 10].

IV SOURCES DE COMPARAISON

Une étude (dont les résultats ne sont pas encore publiés) de la lampe au xénon mentionnée dans le premier rapport vient d'être faite par H. Kienle, L. Divan et P. Guérin. Sa comparaison au corps noir montre que de 3100 à 6000 Å. le rayonnement continu du xénon a une température de couleur de 5500° K. Sa température de brillance à 4000 Å. serait de l'ordre de 3700° K.

V. SPECTROPHOTOMÉTRIE DES SPECTRES CONTINUS

(b) *Spectres stellaires—Gradients relatifs*

T. L. Mandrykina a fait à Abastumani l'étude de la céphéide SU Cas et a trouvé que sa courbe d'énergie diffère très notablement de celle d'un corps noir [v, 62].

N. P. Erpylev donne, d'après les résultats de plusieurs auteurs, la variation des gradients absolus de Nova Lacertae 1936 [v, 63].

Utilisant l'un des dispositifs spectrophotométriques précédemment décrits [I, 8], Mirzoian a fait l'étude d'une série d'étoiles des premiers types spectraux [v, 64]. Il en a mesuré les discontinuités de Balmer et les gradients absolus visible et ultra-violet (la source de référence étant une lampe à ruban de tungstène étalonnée dans le laboratoire de métrologie de Leningrad). Les résultats sont en accord satisfaisant en ce qui concerne les discontinuités de Balmer avec les résultats des autres auteurs mais le sont moins pour les gradients.

Le travail déjà mentionné de D. Chalonge et L. Divan [v, 49] a permis de mettre au point une méthode graphique de classification stellaire simple et précise, équivalente à celle de Morgan [v, 49 et 65]: les critères (les mêmes de O à G0) sont la grandeur et la position de la discontinuité de Balmer.

Cette méthode a été appliquée par Berger à la classification des Pleïades brillantes et des étoiles à raies métalliques. Ces étoiles (surtout les premières) forment des alignements très étroits dans le diagramme [v, 66].

Des recherches de A. M. Fringant sur la classification des shell-stars permettent de les diviser en deux groupes: les shell-stars à forte émission ultra-violette appartiendraient aux types antérieurs à B3, celles à enveloppe absorbante seraient de type postérieur à B2 [v, 67].

Vandekerkhove a étudié les gradients et les raies de γ Cas (1949-50) [v, 68].

Dans un même ordre d'idées plus général il faut mentionner les recherches du même auteur sur les gradients stellaires [v, 68], les objets 'résultants' [v, 69 et 70] etc..

(c) *Spectrophotométrie stellaire absolue*

Bien que les recherches poursuivies à l'Institut d'Astrophysique de Paris ne soient pas achevées, il est possible de compléter les informations données dans la première partie du rapport et de fixer, au moins approximativement, les échelles des gradients bleu-violet, ϕ_b , et rouge, ϕ_r , en disant que les valeurs de ϕ_b et ϕ_r pour une étoile comme Véga sont voisines de celles données par Kienle:

$$\phi_b = 0,81 \quad \phi_r = 1,33 \quad [v, 71].$$

L'application de la méthode déjà décrite [v, 23 et 29] à des données améliorées montre que la mesure de l'intensité restante au fond des premières raies de Balmer H_β , H_γ , H_δ , ... permet d'obtenir d'abord une bonne approximation de la température superficielle des étoiles, ensuite la température de brillance monochromatique. A partir de ces dernières données, on peut calculer les rayons des étoiles dont on connaît la parallaxe. L'application en est faite d'abord à β Aurigae, puis à une naine blanche, 40 Eri B: on retrouve avec précision les rayons déjà déterminés autrement. On étudie ensuite une autre naine blanche, Wolf 1346 dont le rayon n'était pas encore connu. Ce dernier rayon serait très voisin de celui de 40 Eri B. On obtient en outre pour la première fois des informations sur la température superficielle de ces étoiles [v, 72].

(d) *Spectrophotométrie solaire*

Une nouvelle publication de Nicolet fournit des données quantitatives importantes sur la distribution spectrale extra-terrestre du rayonnement solaire [v, 73].

(e) *Nébuleuses, matière interstellaire*

L. Divan a étudié l'absorption interstellaire sur des étoiles très fortement rougies dans le Sagittaire; l'une de ces étoiles présente des caractères extrêmement marqués de super-géante [v, 74].

Dans une autre courte note, L. Divan montre que l'absorption interstellaire ainsi déterminée dans la région du Sagittaire semble la même que dans la région du Cygne et dans celle de Persée [v, 75].

G. A. Shajn et V. F. Gase ont étudié les nébuleuses galactiques brillantes en lumière H_{α} [v, 76]. Vandekerkhove a fait des recherches théoriques sur les variations d'indice de couleur et de gradient des nébuleuses extragalactiques [v, 77].

VI. SPECTROPHOTOMÉTRIE DES RAIES

(b) *Courbes de croissance*

M. Hack a appliqué la méthode des courbes de croissance à l'étude de ζ Tau [VI, 51].

L. A. Mitrofanova a construit une nouvelle courbe de croissance pour le soleil [VI, 52].

(c) *Largeur et contour de raies*

Fracastoro a fait des mesures de profondeurs de raies de ζ Aur au voisinage de l'éclipse [VI, 53] et Goldberg-Rogozinskaya a fait diverses études à partir des largeurs équivalentes de la variable à éclipses u Her mesurées lors de différentes phases [VI, 54] au voisinage de l'éclipse.

B. Westerlund cherche à mettre en évidence des effets de magnitude absolue sur des spectres très peu dispersés (mesure des absorptions totales des raies de Balmer, définition d'une pseudo-discontinuité de Balmer, mesurable sur un spectrographe à optique de verre) [VI, 55].

A. B. Severny et V. B. Nikonov [VI, 56] ont fait l'étude photométrique du contour de la raie du calcium dans le spectre solaire, pour l'effet centre-bord.

G. A. Shajn [VI, 57] a étudié l'intensité centrale dans les fortes raies d'absorption dans les spectres stellaires, et Helnikov [VI, 58] a publié une nouvelle détermination de la température d'excitation du soleil d'après les raies du fer neutre ($T = 4600^{\circ}$).

(d) *Etudes diverses*

V. A. Dombrovsky [VI, 59] a étudié la polarisation de la lumière stellaire, K. Goriaistov [VI, 60] décrit des recherches spectrophotométriques sur des étoiles de Coma Berenices et V. A. Krat [VI, 61] fait une étude spectrophotométrique de la variable à éclipses u Herculis.

B. S. Shulman [VI, 62] a fait la spectrophotométrie de deux spectres de comètes.

LISTE DES PUBLICATIONS

I. SPECTROGRAPHES

[8] O. A. Melnikov et B. K. Joanniciani: *Izvestia Poulkovo*, **18**, 55, 1951.

[9] A. B. Severny: *Publ. Crim. Ast. Obs.* **7**, 113, 1951.

II. SPECTROPHOTOMÉTRIE PHOTOGRAPHIQUE

[12] E. Vandekerkhove: *B.A.B.* **4**, no. 4, p. 70.

III. SPECTROPHOTOMÉTRIE PHOTOÉLECTRIQUE

[10] N. F. Kuprievich: *Publ. Poulkovo Obs.* No. 142, 1952.

V SPECTROPHOTOMÉTRIE DES SPECTRES CONTINUS

(b) Spectres stellaires—Gradients relatifs

- [62] L. Mandrykina, Naoukovi Zapiski, Lvov: *Astronomie*, **15**, 29, 1949.
- [63] N. P. Erpylev: *Variable Stars*, No. 6, p. 283, 1951.
- [64] L. V. Mirzoian: *Communications de l'Observatoire de Burakan*, no. 7, 1951
- [65] D. Chalonge et L. Divan: *Comptes Rendus*.
- [66] J. Berger: *Comptes Rendus*.
- [67] A. M. Fringant: *Comptes Rendus*.
- [68] E. Vandekerkhove: *Bull. Ast. Obs. Royal Belge*, **4**, No. 2, 62.
- [69] E. Vandekerkhove: *Ann. Obs. Royal Belgique*, **4**, fasc. 2, p. 144.
- [70] E. Vandekerkhove: *III^{ème} Congrès National des Sciences, Bruxelles*, p. 73, 1950.
- [71] D. Chalonge, P. Guérin, S. Taffara: *Comptes Rendus*.
- [72] J. Berger, D. Chalonge, L. Divan, A. M. Fringant: *Comptes Rendus*.
- [73] M. Nicolet: *Contrib. Institut Météor. Belgique*, No. 1.
- [74] L. Divan: *Comptes Rendus*.
- [75] L. Divan: *Comptes Rendus*.

(c) Nébuleuses, matière interstellaire

- [76] G. A. Shajn et V. F. Gase: *Publ. Crim. Ast. Obs.* **6**, 3, 1951.

(f) Etudes diverses

- [77] E. Vandekerkhove: *Bull. Acad. Roy. Belg.* p. 476, avril 1952.

VI. SPECTROPHOTOMÉTRIE DES RAIES

(b) Courbes de croissance

- [51] M. Hack: *Osserv. e Memorie Oss. Astrof. Arcetri*, No. 67, p. 45.
- [52] L. A. Mitrofanova: *Publ. Poulkovo Obs.* No. 149, 1952.

(c) Largeur et contour des raies

- [53] G. Fracastoro: *Osserv. e Memorie Oss. Astrof. Arcetri*, No. 67, p. 111.
- [54] Goldberg-Rogozinskaya: *Izvestia Poulkovo*, **19**, 64, 1951.
- [55] B. Westerlund: *Uppsala Astr. Obs. Annaler*, **3**, 5, 1951.
- [56] A. B. Severny et V. B. Nikonov: *Troudy Akad. Naouk*, **77**, 217, 1951.
- [57] G. A. Shajn: *Publ. Crim. Astr. Obs.* **7**, 67, 1951
- [58] O. A. Melnikov: *Publ. Poulkovo Obs.* no. 142, 1949.

(d) Etudes diverses

- [59] V. A. Dombrovsky: *Booklet of Reports, Scientific Session Leningrad Univ.* p. 23, 1951–52.
- [60] K. Gorjaistov: *Bull. Astr. Observ. Odessa Univ.* No. 2, 1, 1947.
- [61] V. A. Krat: *Publ. Poulkovo Obs.* No. 137, 1948.
- [62] B. S. Shulman: *Publ. Poulkovo Obs.* No. 140, p. 147.

DRAFT REPORT OF THE SUB-COMMISSION ON LINE INTENSITY STANDARDS

I. Observations of Standard Stars

Work on the problem of setting up standards of stellar line intensities has proceeded steadily, although few positive results can yet be reported. Of the stars suggested for study in the first report (1), Greenstein has obtained spectrograms with the coudé spectro-

graph attached to the Mount Wilson 100-inch telescope (dispersion 2.8 A./mm.) of 68 Tau, α CMi, σ Boo, λ Ser, μ Her, and 15 Vul. At Victoria, spectrograms of most of the stars have been obtained with the Bausch and Lomb grating (4.6 A./mm.) or with the three-prism arrangement (7.5 A./mm. at H_γ) but reductions have been made only for α Cyg and, for α CMi, by Wrubel. Hiltner hopes to use his direct-reading photoelectric spectrophotometer at the McDonald Observatory in December.

2. Standards for Interstellar Lines

C. S. Beals has suggested that 'it might be well to include some interstellar lines among the standards. There are unexplained systematic differences between different observatories in the measurement of interstellar lines, and it would seem that the only chance of resolving these differences is by including some interstellar lines in the programme.' He suggests that both the Ca II K line and the Na I D lines should be measured and that the following stars represent a satisfactory range in intensities:

HD	Star	α (1900)		δ		mv	Type
		h.	m.	°	'		
24912	ξ Per	3	52.5	35	30	4.1	Oe5
30614	9 Cam	4	44.1	66	10	4.4	B0
37128	ϵ Ori	5	31.1	-1	16	1.8	B0

3. The Effect of Dispersion on Equivalent-Width Measurements

Since Aller⁽²⁾ and Houtgast and Gathier⁽³⁾ found that the measured equivalent width of a given line seemed to increase as the dispersion decreased, several investigations have been made. Miss T. M. Fofanova⁽⁴⁾ studied curves of growth of the supergiant stars at Poulkovo and found that the turbulent velocities obtained from low-dispersion measurements were higher than those obtained with high dispersion, i.e. the equivalent widths, at least for lines of moderate strength, were measured as greater on low-dispersion than on high-dispersion plates.

G. Righini reports that Miss G. de Strobel has measured equivalent widths of numerous lines in ten spectra of α CMa taken at the Asiago Observatory with dispersions of 40 A./mm. and 13 A./mm. at H_γ and has compared the results with the Hiltner and Williams *Photometric Atlas of Stellar Spectra*⁽⁵⁾. She finds

$$\begin{aligned} W(40 \text{ A./mm.})/W(13 \text{ A./mm.}) &= 1.17 \pm 0.20, \\ \text{and } W(13 \text{ A./mm.})/W(\text{Atlas}) &= 1.03 \pm 0.16. \end{aligned}$$

The profiles of H_γ and H_δ obtained with the two dispersions agree very well with those given in the *Atlas*.

As reported in the accompanying note, Wright has measured at Victoria equivalent widths of 54 lines in the spectrum of α Cyg using five different spectrographic combinations with dispersions ranging from 4.5 to 21.6 A./mm. at H_γ . If the assumption is made that the lines do not vary in intensity, he finds that, when the same allowance is made for blends on all plates, the lines appear weaker on low-dispersion than on high-dispersion spectrograms.

Traving⁽⁶⁾ has made a study of the influence of dispersion on equivalent width measurements by using an artificial absorption line in the laboratory at Kiel. He finds that there is almost no dependence of equivalent width on dispersion for sharp, narrow lines, but for close blends he finds that the equivalent width increases as the dispersion decreases. He suggests, by inference, that for most comparisons that have been made, the stellar lines may have had weak components that could not be observed on the low-dispersion plates.

4. Scattered Light in Spectrographs

The problem of scattered light in spectrographs has been given some attention, particularly by the Swedish physicists. Ingelstam and Djurle⁽⁷⁾ have developed a procedure for detecting the light scattered by a grating using a didymium filter and a photo-multiplier tube. H. D. Babcock and H. W. Babcock have described the new gratings ruled at Mount Wilson Observatory and find that there is a practically complete absence of scattered light, either general or local, in the spectrum produced by these gratings.

In commenting upon the previous report, C. D. Shane points out that 'the interferometer method described in *Lick Observatory Bulletins* 449 and 507 offers a means for determining the scattered light in high-dispersion spectrographs. The method is laborious but if once the scattered light is determined with a large coudé spectrograph by observations on the Sun, it can then be applied to stellar spectra taken with the same instrument. Once a number of stellar lines in standard stars are measured, they can be used to calibrate measures taken with other spectrographs of the same or smaller dispersion.'

5. General Comments

J. L. Greenstein has recently sent the following report:

1. My G-star programme will be finished in the next few weeks. I shall then be able to supply equivalent widths of selected lines to anyone interested in making comparisons. The stars completed are: η Peg⁸, δ Lep, η Her, μ Her, ξ Boo A, γ Cet, HD 103095. Stars nearly completed (to be ready in the fall): λ Ser, ζ Her, β Com.

My personal feeling is that drawing the continuum is exceedingly difficult and that much of my systematic difference will arise from my own systematic 'prejudice' as to where the continuum lies.

2. Caution must be exercised in the use of equivalent widths measured on high-dispersion plates for calibration of low-dispersion plates. We have found evidence that even a small rotation causes a strong line to absorb weak ones in its wings. Then the equivalent width is measured too high. As a corollary, low resolution must cause a systematic increase in line strengths because of blending of invisible features.

3. The coudé spectrograph of the Hale 200-inch reflector will use a linear wedge calibration. The calibrating spectrograph uses a good reflection plane grating; the entrance slit is triangular. Tests show that non-uniformity of illumination over the slit is 2 per cent or less. The Babcock gratings in the Palomar coudé spectrograph are remarkably free from scattered light, as are the gratings at the 100-inch coudé spectrograph at Mount Wilson.

*Dominion Astrophysical Observatory,
Victoria, B.C.
27 August 1952.*

K. O. WRIGHT,
President

REFERENCES

- (1) *Transactions, I.A.U.* **8**, 566, 1952.
- (2) *Ap. J.* **109**, 246, 1949.
- (3) *Transactions, I.A.U.* **8**, 568, 1952.
- (4) *Izvestia O. Poulkovo*, **18**, no. 3, p. 68, 1950.
- (5) Univ. Michigan Press, 1946.
- (6) Unpublished, to appear in *Z. Ap.*
- (7) *Arkiv. Fys.* **3**, 63, 1951.
- (8) *J.O.S.A.* **41**, 776, 1951.

PRELIMINARY RESULTS OF EQUIVALENT-WIDTH MEASUREMENTS OF LINE INTENSITIES
IN THE SPECTRUM OF ALPHA CYGNI

By K. O. WRIGHT

During the past few years there have been several suggestions (1, 2, 3) that although the equivalent width of a line in a 'constant' star should be independent of dispersion, the measurements of such a line showed an increase of equivalent width as the dispersion decreased. In order to check this result using the Victoria spectrophotometric methods, a series of plates of α Cygni taken at the Dominion Astrophysical Observatory with various spectrographic combinations was studied. α Cygni was chosen for this purpose because it has numerous well-defined lines with a large range of intensity and an easily determined continuous background. It is known, however, that it is a super-giant star whose radial velocity is variable and therefore it is possible that the equivalent width of a given line may also vary.

The plates were obtained at various times since 1935 but it is believed that a uniform technique of calibration and development was employed. Calibrations were placed on each plate by exposing it, shortly before the stellar exposure, in an auxiliary spectrograph in front of which were an incandescent lamp, diffusing screen and suitable filter and, immediately in front of the slit, a rapidly rotating step-sector. Until March 1936 the aperture-ratio of one step to the next was 2.00; since that time a sector with ratio 1.58 has been employed. The stellar exposures ranged from half a minute to 2½ hours and the calibrations were usually exposed one-quarter to one-half the stellar exposure time. For the shortest exposures, the calibrations were exposed about six times as long as the star and some error could have been introduced by this rather large factor. Plates obtained with five different spectrographic combinations have been studied; one, two and three prisms with the long camera, the third order of the Wood grating and also the three prisms, the last two in the Littrow form. As indicated in Table I, the dispersions range from 2 to 23 A./mm. For work of this type, several plates of each combination should be studied, but only one plate taken with the six-prism arrangement was available.

Intensity traces of all plates were derived following the usual procedures at Victoria. The microphotometer tracings were first converted to logarithmic intensities. On the latter tracing the continuum was drawn as a slowly-varying smooth curve passing through the mean of the deflections produced by the grains of the plate in regions where no absorption lines were visible. For the hydrogen lines, such curves were drawn about 30 A. from the centres and were joined by straight lines. The final intensity traces, drawn on a 10-inch intensity scale and a magnification of $\times 200$ in the direction of the dispersion, were obtained from the logarithmic tracings by means of an anti-logarithm conversion curve. For the grating plates a correction of eight per cent was made in the position of the zero-point to allow for the presence of ghosts and scattered light.

For this study, all lines listed by Wyse (4) as without serious blends in the region $\lambda\lambda 4070-4380$ were measured. Tracings having the same dispersion were superposed and the mean observed profile for each line was sketched on the tracing and measured with the planimeter. The profiles were drawn as objectively as possible, although for the low-dispersion tracings, the three-prism spectra were consulted to check the positions of weak lines and the presence of neighbouring lines.

The adopted equivalent width of each line was calculated from the five values by giving double weight to the three-prism and grating measurements. The percentage deviation of each measurement from the mean was then derived for each line and these were grouped according to the strength of the line, as shown in the table, column 1. The percentage differences from the mean, together with the probable error and the number of lines in each group, are listed in successive columns for the five spectrographic combinations studied.

If we assume that the equivalent widths of lines in α Cygni do not vary, the principal conclusions that may be derived from this study may be stated as follows:

(1) Measurements of lines on low-dispersion plates seem to give lower equivalent widths than those on high-dispersion plates and the one-prism measurements are, in general, lower than the two-prism measures.

(2) Weak lines (< 100 mÅ.) exhibit this effect somewhat more than strong lines.

(3) The results for the three-prism and grating observations agree within the limits expected from their probable errors.

(4) The mean equivalent widths of H_γ and H_δ are 3.0 and 2.6 Å., respectively, and the wings extend at least 10 Å. on either side of the centre of the line.

(5) A comparison of these Victoria data with recent Mount Wilson measurements of coudé spectra (2.8 Å./mm.) by Buscombe (5) shows that the Victoria results are larger than the Mount Wilson values by 32% for weak lines (25–100 mÅ.), this value decreases to 14% for the stronger lines (300–600 mÅ.) in the wave-length range $\lambda\lambda 4070$ – 4380 .

The trend indicated by (1) and (2) is opposite in direction to that noted by Aller, Fofanova and Houtgast. It agrees, however, with the observed result that weak lines, observable with high dispersion, sometimes cannot be detected on low-dispersion plates. Traving (6) has suggested that the previous results may be explained if the lines which were studied were made up of blends. In that case, the blends could not be separated with low dispersion and the measured equivalent width was the sum of the component lines. With high dispersion, the lines could be separated, only the principal component was measured and the equivalent width appeared smaller. In the present study, an effort was made to allow for component lines if they were observed on high-dispersion plates (though serious blends were eliminated) and it may be that too great an allowance has been made for the blending lines.

These results are preliminary and are being extended to the lower dispersions used at this Observatory to study the fainter stars. They indicate the continued need for a comparison of data obtained at each observatory and also for detailed inter-observatory comparisons of equivalent-width measurements.

*Dominion Astrophysical Observatory,
Victoria, B.C.
27 August 1952.*

REFERENCES

- (1) L. H. Aller: *Ap. J.* **109**, 246, 1949.
- (2) T. N. Fofanova: *Izvestia Obs. Poulkovo*, **18**, no. 3, p. 68, 1950.
- (3) J. Houtgast: *Draft Reports I.A.U.* **8**, vol. 1, 310, 1952.
- (4) *Lick O. Bull.* p. 492, 1938.
- (5) *Ap. J.* **114**, 73, 1951.
- (6) Unpublished, to appear in *Z. Ap.*

Line Intensities in the Spectrum of α Cygni in the Region $\lambda\lambda 4070$ – 4380

Instrument	I L		II L		III L		Litt G III		Litt VI
Dispersion Å./mm.	16.6–22.6		8.1–11.5		5.2–7.8		4.6		2.2–5.0
Emulsion	Cr. H.S.		E 33		E 33, Cr. H.S.		Cr. H.S.		Cr. H.S.
No. of Plates	2		3		3		4		1
W mÅ.	$W_{I-\bar{W}}$ %	No.	$W_{II-\bar{W}}$ %	No.	$W_{III-\bar{W}}$ %	No.	$W_{G-\bar{W}}$ %	No.	$W_{VI-\bar{W}}$ %
25–50	-22.1 ± 3.8	9	-19.7 ± 3.7	12	$+12.5 \pm 3.5$	12	$+0.9 \pm 4.5$	10	$+24.6 \pm 5.7$
50–75	-11.3 ± 8.6	5	-19.3 ± 5.0	5	$+3.8 \pm 3.7$	5	$+10.9 \pm 6.0$	3	$+13.7 \pm 0.5$
75–100	-27.2 ± 4.6	7	-6.3 ± 2.9	7	$+7.2 \pm 1.4$	7	$+8.7 \pm 4.2$	7	$+10.9 \pm 4.8$
100–150	-10.5 ± 3.3	6	-12.6 ± 1.7	6	$+3.9 \pm 2.3$	6	-3.3 ± 2.1	6	$+20.8 \pm 2.7$
150–200	-17.4 ± 1.7	11	$+0.1 \pm 1.4$	11	$+4.4 \pm 1.0$	11	$+2.4 \pm 1.2$	10	$+6.9 \pm 1.1$
200–300	-9.0 ± 2.5	5	-1.6 ± 1.1	6	-0.4 ± 0.8	6	$+2.2 \pm 1.1$	6	-9.0 ± 1.7
300–600	-8.9 ± 1.7	6	$+7.7 \pm 1.4$	5	$+2.6 \pm 0.8$	5	-0.8 ± 0.3	6	$+2.0 \pm 1.2$
> 600	-16.0 ± 2.4	2	-0.3 ± 1.5	2	$+3.6 \pm 1.2$	2	+13.1	1	-0.4

Rapport des séances

PRÉSIDENT: DR D. CHALONGE.

SECRÉTAIRE: M. G. RIGHINI.

Le Président présente le rapport complémentaire. (Voyez p. 582.)

Après un bref commentaire de l'ensemble des rapports qu'il a rédigés il demande si quelqu'un a des remarques à faire sur ce rapport et en particulier sur la façon dont ils sont rédigés.

Dr Menzel exprime l'opinion que la façon de rédiger le rapport varie suivant la commission, mais il approuve entièrement le mode de rédaction employé par Dr Chalonge et Dr Minnaert. La Commission manifeste son accord avec le Dr Menzel. Le rapport est adopté.

La parole est donnée au Dr Kienle pour un court exposé sur les propriétés d'une nouvelle lampe à grand éclat. Les propriétés de cette lampe sont mentionnées dans le rapport complémentaire (p. 586). Cet exposé très intéressant provoque quelques demandes d'explication de la part du Dr Greaves, Dr Minnaert et du Dr Hall.

Dans la deuxième séance le Président donne la parole au Dr Hall qui expose brièvement le principe de son spectrophotomètre photoélectrique et les résultats préliminaires qu'il a obtenus dans l'étude des étoiles. Ensuite le Dr Hall donne un court aperçu sur ses recherches sur la scintillation des étoiles, qui sont très importantes surtout pour la recherche d'un emplacement convenable pour installer un observatoire.

Dr Minnaert met en évidence l'importance de telles recherches et propose la nomination d'un groupe de travail pour mieux étudier la question. La proposition est approuvée.

Report of the meeting of Sub-commission 36a on Line Intensity Standard

ACTING PRESIDENT: DR R. M. PETRIE.

SECRETARY: M. G. RIGHINI.

Dr Petrie, acting President in the place of Dr Wright, read the Complementary Report sent by Dr Wright. (See p. 589.)

Prof. Unsöld gave a short résumé of the work performed at the Kiel Observatory on the measurements of equivalent width of artificial lines. The results were that the variation of the E.W. with the dispersion observed on stellar spectra seemed due to blends.

After some questions asked by Dr Petrie and Dr Kourganoff, Dr Minnaert said that the work of Kiel gave a valuable contribution for the explanation of some aspect of the problem. This work seems to indicate that it is necessary to choose as reference lines some well-selected lines free from blends.

Dr Houtgast gave some additional details on the measurements performed at Utrecht on the solar lines by Gathier (see p. 568); he noted that the explanation given by Dr Unsöld is not sufficient to account for the variation of the E.W. of the lines.

Prof. Greaves reminded the Sub-commission of the work done by Baker on the local errors (see *Draft Reports*, p. 299), he noted that blends on the continuum near a line must produce an effect opposite to that given for the blends inside the line. This means that the E.W. will be smaller on spectra with small dispersion.

At the next meeting the Sub-commission discussed the programme of future work and adopted the following resolutions:

(1) The reason why the dispersion has an influence on the measured equivalent width does not yet seem entirely clear. It will be necessary to make more experiments on the origin of this phenomenon:

- (a) by studying the influence of the graininess of the plate;
- (b) by studying the influence of the dispersion on lines so selected that they have blends either inside the line profile or in the neighbouring continuum.

(2) It would be useful to concentrate the attention on a few carefully selected lines in the spectrum of only two or three bright stars. The methods of standardization should be improved, the scattered light should be measured, the results should be intercompared. The observatories of Asiago, Mount Wilson, Victoria would probably be willing to co-operate for this purpose

Rapport de la séance de la Sous-commission 36b pour la Théorie des Atmosphères stellaires

PRÉSIDENT: Prof. M. G. J. MINNAERT.

SECRÉTAIRE: M. G. RIGHINI.

Dr Minnaert s'excuse pour les erreurs et les omissions qui ont pu se produire dans la rédaction du rapport et demande qu'on veuille bien les lui signaler après la séance. Le rapport est alors approuvé.

Il donne la parole au Dr Pecker pour développer une proposition importante faite par lui à la sous-commission. Le Dr Pecker propose une collaboration entre les divers observatoires qui sont intéressés aux calculs des modèles d'atmosphères stellaires. Il s'agirait de collaborer aux calculs des tables fondamentales pour l'exécution des modèles. Le Dr Unsöld signale qu'une difficulté importante à l'exécution de ce projet serait d'ordre financier. Il serait d'après lui difficile de trouver l'argent nécessaire à la publication de tables si étendues. Il suggère qu'il serait peut-être plus simple de se contenter des représentations graphiques des fonctions au moins en attendant que l'on puisse disposer d'observations plus précises.

Il suit une discussion à laquelle prennent part le Dr Kourganoff, Dr Minnaert, Dr Unsöld et Dr Gratton. On choisit à la fin un groupe de travail composé de Dr Gratton, Menzel, Minnaert, Pecker, Strömberg, Unsöld qui devra étudier si la proposition est utile et comment on peut la réaliser.

A la seconde séance le Dr Minnaert présente le rapport suivant du groupe de travail qui est approuvé par les membres présents:

The working group discussed the project of co-operative calculation of basic tables for atmospheric models. It was agreed upon that this project seems important and very useful, provided it be limited to the fundamental data only, as had already been proposed by Dr Pecker; so that ionization, the absorption coefficient, etc. should be calculated but it does not seem opportune to extend this to the integration of the models, where too many questions are still unsettled.

A circular will be sent to the several observatories which may be assumed to be interested in the subject, asking them whether they would be willing to co-operate. Among others this circular will be addressed to Canberra, Kiel, Copenhagen, Eva Peron, Michigan, Milan, Paris, Tokyo, Utrecht, Victoria.

A provisional detailed programme for the calculation will be written by Dr Pecker and will be sent to the six members of the working group. This will be criticized and perfected and the calculations can start.

It was also considered important to consult Dr Eckert and to ask for his co-operation in view of using the modern computing machines. Dr Eckert promised to help in all possible ways. If the computation would be done in the U.S.A., he would strongly advise that a man knowing all about the astrophysical requirements would come over, that he should learn how to work with the machine and to present the computations in the most practical form. If the computations would be made at the international computation centre at Rome, it would be necessary to wait for a considerable time till the computing centre is organized and equipped with the necessary instruments.

As to the publication of the tables resulting from the calculations, it would probably be advisable to begin by reproducing these tables by microfilm or by photomechanical printing on a small number of copies.

Dr Vandekerckhove (Uccle) is ready to put at the disposal of the Sub-commission his tables of the Planck function, calculated with the new constant $c_2 = 14385$ (Du Monst and Cohen), giving ζ_λ and ϕ_λ for the wave-lengths 3000, 3500, ..., 8000 Å. and for $T = 1000, 2000, 3000, \dots, 150000^\circ$