

## 21. COMMISSION DE LA LUMINESCENCE DU CIEL

PRÉSIDENT: J. Dufay.

MEMBRES: MM. Barbier, Bates, Cabannes, Chamberlain, Chapman, Dauvillier, Donitch, Elvey, Fesenkov, Gartlein, Gauzit, Götz†, Grandmontagne, Harang, J. Kaplan, Kastler, Link, Meinel, Nicolet, Pearse, Mlle Helen Pettit, MM. Plassard, Roach, Robley, Störmer†, Swings, Tcheng, Vassy, Vegard.

Ce rapport concerne essentiellement la luminescence de la haute atmosphère (airglow) pendant les nuits dites 'ordinaires', en dehors de la zone des aurores. Il n'y sera donc question de la lumière zodiacale et des aurores polaires que dans la mesure où ces phénomènes influent sur la lumière du ciel nocturne proprement dite (activité aurorale intermittente aux basses latitudes par exemple).

### SPECTRE D'ÉMISSION DE LA HAUTE ATMOSPHÈRE

Depuis 1955, on a surtout réalisé des progrès dans l'étude du spectre infra-rouge, au delà de 9000 Å, en associant à des spectrographes à réseau, soit des convertisseurs d'images électroniques de Krassovsky [1], soit des photomultiplicateurs de Lallemand.

Krassovsky [2] a résumé, à la conférence de Belfast, les résultats obtenus de 1949 à 1955, qui s'étendaient jusque vers 10 800 Å. Depuis, B. A. Bagariatzky et N. I. Fedorova ont poussé les recherches plus loin vers les grandes longueurs d'onde. Une pose de 24 heures, faite au nord de Mourmansk, en février 1955, sur la région 9500–11 800 Å [3], a fait apparaître, au delà des bandes de vibration-rotation (3·0), (9·5) et (4·1) de la molécule OH (déjà photographiées par Krassovsky), les bandes (5·2) et (6·3). Les transitions (4·1) et (5·2) sont nettement plus fortes que (3·0) et (9·5), mais les intensités relatives observées diffèrent beaucoup des valeurs calculées par Roach [4].

Sur ce cliché figure, vers 10 400 Å, une radiation étrangère au système de OH, qui se trouve renforcée et paraît dédoublée dans les aurores. Bagariatzky et Fedorova [5] ont suggéré qu'il pouvait s'agir du doublet interdit  ${}^2D-{}^2P$  de N I (10 398–10 407 Å).

Cette identification est confirmée par les observations de A. Vallance Jones [6] et de M. Dufay [7]. Vallance Jones a photographié en effet, à 10 400 Å, sur plaque Z, au cours d'une aurore, une radiation dont la largeur n'excède pas 15 Å. Il l'a enregistré ensuite plusieurs fois avec son spectromètre à cellule PbS.

A l'Observatoire de Haute Provence, M. Dufay utilise un photomultiplicateur (Ag–O–Cs) à 19 étages de Lallemand, refroidi dans la neige carbonique et placé derrière un monochromateur à réseau tournant (dispersion 17 Å/mm). La sensibilité du dispositif, maximum à 0·85 μ, est réduite de moitié environ à 1·0 μ et s'annule vers 1·2 μ. L'enregistrement du spectre, de 0·7 à 1·1 μ, peut être réalisée en 15 minutes pour une reconnaissance rapide, en 45 minutes quand on désire un tracé plus détaillé. La résolution, qui, au début, atteignait seulement 30 à 40 Å [8] a été amené récemment à 10 ou 13 Å [9]. Les branches  $P_2$  des bandes voisines du maximum de sensibilité sont alors résolues en raies individuelles jusqu'à  $P_2(6)$  et on commence à distinguer les raies des faibles branches  $P_1$ .

Vers 10 400 Å, on n'enregistre habituellement que les raies  $P_2$  de (4·1), mais, au cours de l'aurore du 29 septembre 1957, est apparue une radiation assez étroite, qui est certainement le doublet de N I [7]. Dans le visible, on a photographié en même temps, avec une grande intensité, le doublet  ${}^4S-{}^2D$  du même atome (5200 Å) et la raie, plus faible,  ${}^1D-{}^3S$  de [N II] (5755 Å), déjà signalée dans des aurores par Petrie [10]. Dans l'infrarouge se superposaient aux bandes de OH et O<sub>2</sub> de fortes raies permises de O I et N I et les transitions de [O II] 7319–7330 Å, photographiées pour la première fois dans des aurores par A. Omholt [11] à Yerkes Observatory, en 1956. De 5000 à 10 500 Å au

## COMMISSION 21

moins, le spectre de l'aurore du 29 septembre 1957 était presque purement atomique et il est maintenant certain que le doublet 10 400 de [N I] n'appartient pas au spectre du ciel nocturne, mais à celui des aurores.

### PHOTOMÉTRIE DES RAIES ET DES BANDES D'ÉMISSION

#### *Méthodes de mesure*

Les méthodes de mesure photo-électriques ont été discutées par P. Saint-Amand [12], qui a décrit en outre deux nouveaux photomètres [12, 13].

L'adjonction à un filtre interférentiel d'un filtre biréfringent, placé entre un polariseur fixe et un analyseur tournant, permet d'éliminer le spectre continu d'une manière beaucoup plus rigoureuse. C'est sur ce principe (déjà utilisé par Blamont et Kastler en 1951, pour l'étude des raies D crépusculaires) que sont construits les nouveaux photomètres de K. B. Dunn et E. R. Manring [14] et de M. J. Koomen, D. M. Packer et R. Tousey [15].

On prend souvent, dans ces mesures, comme étalon secondaire de luminance, une substance rendue luminescente par un corps radioactif. Pour exciter ses pastilles de willémitte, Barbier [16] a substitué au sel de radium employé précédemment le strontium 90, dont la période est 25 ans. La luminance doit ainsi se maintenir plus constante au cours du temps et on évite tout rayonnement  $\alpha$  risquant de détruire la substance luminescente. A Cactus Peak [12] on excite le phosphore par le rayonnement  $\beta$  du carbone 14, dont la durée de vie se chiffre par milliers d'années.

#### *Variations d'intensité*

Les observations peuvent être classées en deux catégories, suivant qu'on mesure l'intensité de diverses radiations en visant dans une direction invariable (*a*), ou qu'on étudie la répartition sur le ciel de l'intensité d'une radiation déterminée (*b*).

(*a*) A la première catégorie appartiennent les mesures spectrophotométriques faites à l'Observatoire de Haute Provence, avec un grand spectrographe à 2 prismes (P. Berthier et B. Morignat [17], P. Berthier [18]). Ces observations sont poursuivies depuis 3 ans par M. et J. Dufay, au moyen du dispositif d'enregistrement continu sur plaque mobile, mis au point avec la collaboration des deux auteurs précédents [19], mais l'ensemble des résultats n'a pas encore été discuté.

Au Pic-du-Midi, R. R. Robley [20] a mesuré d'une manière analogue, avec un spectrographe à 1 prisme, l'intensité des bandes 4420, 4170, 4070 Å et celle du spectre continu dans la direction du pôle nord (une quarantaine de nuits d'observation en 1955-56). Les moyennes mensuelles font apparaître, pour les trois bandes, une variation annuelle caractérisée par deux maxima, dont l'allure rappelle celle de la courbe tracée par J. Cabannes et J. Dufay [21] en 1933-4. Mais les deux maxima de 1955-6 se placent en mai et en octobre, au lieu de mars et août en 1933-4. Pour le spectre continu, Robley trouve une variation annuelle toute différente, avec un grand maximum en janvier 1956. Ses observations semblent donc vérifier l'existence du spectre 'continu' d'origine atmosphérique, suggérée par les mesures de D. Barbier, J. Dufay et R. Williams dans la région 5200 Å.

Barbier [22] a rassemblé les résultats des deux premières années d'observation faites en 8 couleurs, à l'Observatoire de Haute Provence. On sait que ses mesures photo-électriques, faites dans la direction du pôle nord, l'ont conduit à distinguer deux groupes de radiations *covariantes* (voir Rapport I.A.U. 1955): le premier comprenant, avec la raie 5577 Å, les régions autour de 3670, 4400 et 5260 Å, le second les raies D et la région de longueurs d'onde supérieures à 6700 Å (bandes de OH). Enfin les raies 6300-6364 Å ont un comportement particulier.

Le maximum des raies D se produit en novembre; à Cactus Peak (Californie), où l'amplitude de variation est plus petite, on l'observe en décembre. Les courbes relatives

## LUMINESCENCE DU CIEL

à la raie verte et aux radiations covariantes sont plus tourmentées et ne se reproduisent pas identiques à elles-mêmes d'année en année. Le fait peut être rapproché de décalage observé dans les époques des maxima des bandes bleues.

Peu de résultats nouveaux sont à signaler relativement aux variations des radiations infrarouges. Toutefois la variation diurne des bandes de OH schématisée par Berthier [18] n'a pas été retrouvée en Irlande du Nord, où E. B. Armstrong [23] a fait quelques mesures photo-électriques de la luminance globale infrarouge (7400–11 500 Å), en visant vers le pôle ( $h \approx 54^\circ$ ).

(b) H. Pettit et E. Manring [24] ont étudié la raie 5577 Å et le doublet du sodium, d'août 1953 à janvier 1955, à Sacramento Peak (Nouveau Mexique, latitude N.  $32^\circ 47'$ ). La variation saisonnière des raies D est normale, la variation diurne la même qu'à Cactus Peak (latitude N.  $36^\circ 05'$ ) et qu'en Haute Provence (N.  $43^\circ 56'$ ).

Pour la raie verte, la variation annuelle est peu marquée et la variation diurne diffère de celle observée à Cactus Peak. Elle présente moins souvent un maximum vers le milieu de la nuit. La répartition des intensités sur le ciel conduit à penser que Sacramento Peak se trouve vers le bord méridional de la zone où un maximum se produit fréquemment vers le milieu de la nuit.

Les mêmes auteurs [25] ont travaillé ensuite sur la raie verte à Sacramento Peak, avec le nouveau photomètre de Dunn et Manring. Les courbes figurant, en fonction de l'azimut, les intensités mesurées à diverses distances zénithales se déforment au cours de la nuit sans que changeant les azimuts des maxima et des minima. Il est possible de représenter l'intensité observée dans une direction déterminée, à un instant donné, par le produit de deux facteurs dont le premier dépend seulement de la direction et le second du temps. La distribution générale des intensités se conserve souvent au cours de plusieurs nuits consécutives et change régulièrement d'un mois à l'autre.

Pour étudier les raies 6300–6364 Å, rarement mesurées jusqu'ici avec les photomètres photo-électriques, Barbier se sert de deux filtres interférentiels différents, l'un étroit (130 Å), l'autre large (460 Å). Ce dernier laisse passer davantage de spectre continu, avec des bandes rouges de OH, et, en combinant les deux observations, on peut séparer pratiquement l'intensité des raies et celle des bandes.

En visant le pôle, Barbier [22] a pu tracer, pour chaque mois, les courbes moyennes de variation diurne des raies 6300–6364 Å. Le renforcement postcrépusculaire existe pendant toute l'année, tandis que le renforcement précrépusculaire disparaît en été. Depuis mars 1956, Barbier fait aussi des enregistrements tout autour de l'horizon, à  $75^\circ$  du zénith [26]. Mises à part les manifestations aurorales, aisément décelées avec ces radiations [27], et les phénomènes pré- et post-crépusculaires, l'intensité des raies rouges pendant la première partie de la nuit varie d'une façon très régulière et, dans une direction donnée, est uniquement fonction du temps. Ainsi les observations effectuées à l'ouest correspondent à celles faites à l'est 80 minutes plus tôt, ce qui implique, pour la couche émissive, une altitude voisine de 300 km.

L'intensité diminue régulièrement jusqu'à 23 heures. Alors apparaît vers le nord géographique un petit maximum d'étendue d'abord très limitée en azimut, qui devient plus intense en s'élargissant graduellement.

La mise en service à Tamanrasset (latitude N.  $22^\circ 47'$ ) d'un photomètre à 8 couleurs identique à celui de Haute Provence, a commencé à donner des indications sur la lumière du ciel nocturne à plus basse latitude [28]. Les principales radiations enregistrées (5577, 5893, 6300 Å, OH) sont nettement plus faibles qu'en Haute Provence et varient moins d'une nuit à l'autre. Dans les deux stations les intensités des raies 5577, D et des bandes de OH suivent une marche différente au cours d'une même nuit et leurs variations semblent un peu plus régulières à Tamanrasset. Quant à la variation des raies rouges, elle est souvent perturbée par une brusque augmentation d'intensité, qui peut atteindre le rapport 10, débute à une heure quelconque de la nuit et dure 2 ou 3 heures.

*Raies d'émission sur la lumière zodiacale*

V. G. Fesenkov<sup>[29]</sup> rapporte que d'après les mesures spectrophotométriques faites près de Alma-Ata (Kasakstan) par Z. V. Kariaguine et M. G. Karimov, les raies d'émission du ciel nocturne sont un peu plus fortes sur la lumière zodiacale que sur les autres régions du ciel, observées simultanément à la même hauteur. Des expériences de laboratoire ont montré que ce résultat ne peut être attribué à un effet photographique. Fesenkov conclut que la lumière zodiacale possède une composante atmosphérique; elle présenterait aussi un spectre continu d'origine atmosphérique. (Mais a-t-il été tenu suffisamment compte des phénomènes post-crêpusculaires?)

## ALTITUDES DES COUCHES LUMINESCENTES

On connaît les difficultés rencontrées dans la détermination des altitudes, soit par la méthode de Van Rhijn, soit par triangulation. La discussion de Barbier, dont il avait fait état dans le précédent rapport, a été publiée depuis<sup>[30]</sup>.

Par la méthode de Van Rhijn, E. Manning et H. Pettit<sup>[25]</sup> ont effectué des mesures pendant 14 nuits à Sacramento Peak, au moyen du photomètre de Dunn et Manning, qui élimine parfaitement la lumière extraterrestre. Les résultats sont en faveur d'une altitude relativement basse, voisine de 120 km, mais les auteurs pensent qu'il faudrait disposer d'une plus longue série d'observations et mesurer simultanément l'absorption atmosphérique sur des étoiles.

C'est justement ce qu'ont fait H. Elsässer et H. Siedentopf<sup>[31]</sup> au Jungfraujoch (altitude 3600 m) pendant 10 nuits (novembre 1954 à mars 1955). En opérant au voisinage du méridien, ils ont trouvé, vers le nord  $72 \pm 10$  km, vers le sud  $112 \pm 13$  km et, pour l'ensemble la moyenne  $90 \pm 10$  km. C'est la valeur obtenue au sud qui leur semble préférable, le nord pouvant être entaché d'une faible activité aurorale.

Mais à partir d'observations simultanées faites au cours d'une seule nuit en deux stations distantes de 1100 km, M. Huruhata, H. Tanaka et T. Nakamura<sup>[32]</sup> ont trouvé, par triangulation, une altitude de l'ordre de 300 km.

L'auteur de ce rapport pense que la distribution des isophotes sur la voûte céleste ne présente pas en général de reliefs assez accusés pour se prêter à la détermination des altitudes par triangulation. Quant aux désaccords entre les résultats des mesures faites par la méthode de Van Rhijn, ils résultent sans doute bien plus que d'erreurs de mesure, de l'incertitude des facteurs de transmission adoptés. Des observations photo-électriques récentes, faites sur des étoiles, montrent qu'à l'Observatoire de Haute Provence les facteurs de transmission réels sont presque toujours supérieurs aux valeurs théoriques résultant de la diffusion moléculaire et de l'absorption par l'ozone. En adoptant ces valeurs théoriques trop petites, on est conduit à surestimer les altitudes.

*Détermination directe au moyen des fusées*

La méthode la plus directe et, par conséquent, la plus sûre pour déterminer les altitudes d'émission consiste évidemment à placer des photomètres à bord d'une fusée traversant les couches lumineuses. Le premier résultat positif concernant la raie verte a été obtenu le 17 novembre 1955 à White Sands (Nouveau Mexique) par O. E. Berg, M. Koomen, L. Meredith et R. Scolnik<sup>[33]</sup>. La fusée, qui a atteint 105 km, portait deux photomètres photo-électriques, munis respectivement de filtres interférentiels centrés sur 5577 et 5200 Å, qui transmettaient leurs indications au sol par radio. Si on admet que la différence des lectures, à une même altitude, représente l'intensité de la raie verte, on trouve que celle-ci est émise entre 80 et 105 km, avec un maximum entre 90 et 95 km.

Une expérience encore plus décisive a été réalisée le 12 décembre 1955 par M. Koomen, R. Scolnik et R. Tousey<sup>[34]</sup>. La fusée emportait cette fois trois photomètres munis de filtres interférentiels à bandes passantes plus étroites (20 Å à intensité moitié), centrés respectivement sur 5893, 5577 et 5300 Å. Les résultats sont valables de 65 à 141 km.

## LUMINESCENCE DU CIEL

La couche émettant la raie verte, centrée sur 96 km d'altitude, s'étend approximativement de 80 à 115 km; la couche émettant les raies D, centrée sur 85 km, de 70 à 95 km (en parfait accord avec les meilleures déterminations faites au sol pendant le crépuscule). Il ne semble plus y avoir d'émission entre 120 et 140 km. Les deux-tiers environ de l'intensité observée à basse altitude sur 5300 Å prennent naissance dans la même couche que la raie verte.

La question de l'altitude d'émission des raies 5577 et 5893 Å paraît ainsi définitivement réglée.

### *Relations avec l'ionosphère*

Il n'en est pas de même dans le cas des raies 6300–6364 Å, pour lesquelles nous ne disposons encore que de résultats indirects. Qualitativement un fait demeure certain: les raies rouges sont émises à plus haute altitude que la raie verte (J. Dufay et Tcheng Mao-Lin, 1944). On a d'ailleurs signalé plus haut que les variations d'intensité en fonction du temps avaient conduit Barbier à une altitude voisine de 300 km.

La relation avec la couche F<sub>2</sub> de l'ionosphère signalée indépendamment par P. Saint-Amand et par Huruwata (voir Rapport 1955) a été récemment confirmée par Barbier [35]. Les variations d'intensité dans le temps de la raie 6300 Å, dans la première partie de la nuit, sont assez analogues à celles de la fréquence critique  $f_0$  de la couche F, proportionnelle à la racine carrée de la densité électronique maximum. Les intensités mesurées en Haute Provence, vers le nord, à 75° du zénith, d'octobre à décembre, 1956, sont bien représentées par la formule empirique

$$L = 5.83 \cdot 10^6 f_0^2 \exp[-(h' - 200)/88],$$

où  $f_0$  est la fréquence critique de la couche F,  $h'$  sa hauteur équivalente mesurée à De Bilt. Cette station se trouve à la verticale du point étudié si l'altitude est 300 km.

### *Largeur des raies, températures et altitudes*

La mesure interférentielle de la largeur des raies peut conduire d'autre part à évaluer la température des couches émettrices et, par suite, à obtenir un renseignement sur leur altitude, si la courbe température-altitude est assez bien connue.

On peut faire défiler les franges d'interférence sur un récepteur photo-électrique, en faisant varier la pression entre les lames de l'étalon Pérot et Fabry. Karandikar [36] a décrit un appareil construit dans ce but et, avec un dispositif analogue, E. B. Armstrong [37] a tracé le profil de la raie verte sur un arc auroral quiescent, par comparaison au profil de la raie 5461 Å émise par le mercure 198. La température correspondante était voisine de 370° K.

Sur le ciel nocturne, le profil de la raie 5577 Å a déjà été déterminé de la même manière, mais en opérant par photographie (voir Rapport 1955). La largeur trouvée s'accordait bien avec la température existant à 100 km d'altitude. J. C. Phillips [38] a donné des détails sur ces expériences et publié les résultats nouveaux obtenus sur la raie 6300 Å observée en Alaska, *pendant le crépuscule*. Le profil déterminé par comparaison à la raie 6438 Å du cadmium conduit à la largeur 0.038 Å, soit à la température  $750 \pm 200^\circ$  K. L'altitude correspondante serait voisine de 220 km, si l'azote demeure à l'état moléculaire. Elle serait plus élevée si l'azote était, comme l'oxygène, dissocié en atomes. J. Cabannes et J. Dufay [39] ont publié les résultats préliminaires obtenus avec un interféromètre à grande différence de marche (10 cm). Les expériences poursuivies en 1956 ont montré que les anneaux photographiés *pendant la nuit* sur la raie verte (ordre d'interférence  $p \approx 179\ 000$ ) étaient encore bien contrastés sur la raie verte, mais beaucoup plus diffus sur les raies rouges ( $p \approx 159\ 000$ ). Les largeurs correspondantes sont grossièrement  $\leq 0.015$  Å pour 5577 Å,  $\leq 0.030$  Å pour 6300 Å (températures respectivement  $\leq 225^\circ$  K et  $\leq 700^\circ$  K). Le fait que les raies rouges sont émises à température élevée et, par suite, à haute altitude se trouve donc, une fois de plus, confirmé.

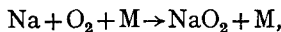


## COMMISSION 21

### MÉCANISMES D'EXCITATION

Compte tenu des résultats nouveaux relatifs aux altitudes, le mécanisme d'émission le plus probable demeure, pour la raie 5577 Å, l'excitation par choc triple de Chapman et, pour les raies 6300–6364 Å, émises dans la région F, la recombinaison dissociative des molécules  $O_2^+$  (Bates et Massey, 1946; voir Rapport 1955).

L'émission des raies D, à plus basse altitude, peut résulter du choc des atomes d'oxygène soit sur des molécules NaO (Chapman), soit sur des molécules NaH (Nicolet et Bates). A. Omholt [40] considère que les molécules NaO, qui interviennent dans le premier processus, doivent provenir de la réduction de molécules  $NaO_2$  par l'oxygène, plutôt que l'oxydation des atomes Na par l'ozone, la réaction de choc triple



devant être extrêmement rapide.

Dans le cas des bandes de OH (pour lesquelles nous sommes toujours en présence d'évaluations discordantes de l'altitude), Krassovsky [41, 42, 43, 44] soutient que l'émission accompagne la recombinaison des atomes d'oxygène, contre la théorie de Bates et Nicolet, qui fait intervenir l'ozone et que défendent Bates et Moiseiwitsch [45, 46].

S. Chapman [47] a attiré l'attention sur le rôle que les météores pouvaient jouer en apportant, en très petite quantité, dans la haute atmosphère, des substances capables de catalyser les réactions qui conduisent (comme la recombinaison des atomes d'oxygène) à la libération, accompagnée d'émission de lumière, de l'énergie emmagasinée pendant le jour dans l'atmosphère supérieure. Il arrive que les traînées de certains météores persistent une heure et plus et il semble impossible que le météore lui-même fournisse l'énergie nécessaire à une émission de si longue durée; par contre il pourrait apporter le catalyseur facilitant les réactions. Celui-ci pourrait être, par exemple, le sodium, contenu généralement en très faible proportion dans les météorites. Les expériences de vaporisation du sodium apporté à haute altitude par des fusées pourraient fournir, à ce sujet, des indications utiles. Il serait aussi désirable de photographier le spectre des traînées persistantes.

### ÉMISSIONS CRÉPUSCULAIRES

Na.

C'est l'émission des raies D qui, depuis 1955, a fait l'objet des plus importantes recherches.

J. E. Blamont [48] a fait connaître les résultats des expériences effectuées depuis 1953, à l'Observatoire de Haute Provence, avec le nouveau dispositif à haut pouvoir de résolution, basé sur l'effet Zeeman anormal du sodium, qu'il avait précédemment décrit (Rapport 1955). A l'aube, en visant à 75° du zénith et à 90° de l'azimut du soleil, l'émission apparaît généralement quand la dépression  $U$  du soleil au-dessous de l'horizon devient inférieure à 10°. Elle augmente ensuite jusque vers  $U = 7^\circ$  ou  $6^\circ$ , puis reste à peu près constante jusqu'à  $U = 3^\circ$ . A partir de ce moment elle diminue et disparaît avant le lever du soleil. Les phénomènes se reproduisent en sens inverse au crépuscule du soir.

La décroissance de l'intensité vers le jour pourrait résulter de l'ionisation des atomes de sodium par le rayonnement solaire ultraviolet (hypothèse que l'auteur juge peu vraisemblable), ou bien elle n'est qu'apparente et signifie que la diffusion dans la basse atmosphère l'emporte alors de beaucoup sur l'émission crépusculaire, même dans une bande de largeur 0.02 Å. Les courbes obtenues en répétant les expériences en avion sont semblables à celles tracées au sol, mais peut-être l'altitude atteinte (7000 m) n'était-elle pas assez grande pour réduire suffisamment la diffusion. [Dans l'hypothèse où les atomes de sodium ne sont pas ionisés, l'intensité de l'émission prévue pendant le jour a été calculée par T. M. Donahue [49].]

D. M. Hunten [50, 51] a discuté l'interprétation des mesures crépusculaires et proposé une nouvelle 'méthode zénith-horizon' qui, appliquée pendant deux ans à Saskatoon [52], l'a conduit à une altitude très voisine de 85 km pour le maximum de densité du sodium.

## LUMINESCENCE DU CIEL

L'intensité de l'émission correspondant au 'plateau crépusculaire' montre une variation saisonnière très marquée, dont le maximum se produit, à Saskatoon, à la fin de février.

Avec un spectrographe à réseau séparant les deux composantes du doublet, G. I. Galperin [53, 54] a trouvé que le rapport des intensités des raies  $D_2$  et  $D_1$  était voisin de 1.30 ( $\pm 20\%$ ) et non de la valeur théorique 2 (plutôt 1.7 à 1.8 quand on tient compte de l'intensité résiduelle au centre des raies solaires excitatrices). Des mesures analogues de A. W. Harrison et A. Vallance Jones [55] ont donné le rapport 1.50. Ces résultats semblent traduire l'existence d'une auto-absorption dans la couche de sodium, dont la possibilité avait été signalée dès 1944 par Bricard et Kastler. Le problème théorique, déjà traité en première approximation par T. Donahue et R. Resnick [56] et par Hunten [50] a été repris par Galperin, qui a aussi utilisé l'équation de transfert, pour tenir compte des diffusions successives. Les rapports ainsi calculés s'accordent avec l'observation. Rappelons que les anciennes mesures interférentielles de R. Bernard au crépuscule et celles, plus récentes, de P. Berthier, pendant la nuit avaient conduit sensiblement au rapport 2. De nouvelles mesures interférentielles, nocturnes et crépusculaires, ont été entreprises par Nguyen Huu Doan [57].

Signalons enfin que D. R. Barber, qui mesure, à Sidmouth, l'intensité et la polarisation des raies D crépusculaires, avec un photomètre photo-électrique [58], a observé, en plusieurs occasions, une polarisation des raies anormalement forte (77%) et difficilement explicable [59].

La projection de vapeur de sodium dans la haute atmosphère, par des fusées, a donné lieu à des expériences d'un grand intérêt. Le 12 octobre 1955, au crépuscule, 3 kg de sodium ont été vaporisés entre 50 et 113 km d'altitude [60]. La lueur produite et la traînée persistante, déformée par les vents en altitude, ont été vues et photographiées à grande distance; le spectre comprenait uniquement les raies D et aucun renforcement de l'émission n'a été observé pendant la nuit suivante.

Le 1 novembre 1956, 2 kg de sodium ont été émis entre 60 et 140 km [61]. La lueur a présenté de remarquables variations d'intensité avec l'altitude. Apparue à 60 km, elle a montré deux autres maxima à 105 et 140 km, séparés par des minima vers 90 et 120–135 km, le dernier presque nul. Bedinger et Manring pensent que des mécanismes d'excitation différents interviennent pour les trois maxima. En s'inspirant d'expériences préliminaires sur l'émission du sodium dans l'azote actif, ils supposent qu'à la plus haute altitude l'énergie d'excitation des raies D était fournie soit par la recombinaison des atomes d'azote, soit par des atomes d'azote au niveau métastable  $^2D$ .

[O 1], 5577

Avec leur photomètre à filtre bi-réfringent, assurant une élimination rigoureuse du spectre continu, Koomen, Packer et Tousey [15] n'ont pas retrouvé le faible renforcement crépusculaire de la raie 5577 Å, signalé par J. et M. Dufay. (Mais d'après les enregistrements récents, obtenus sur plaque mobile, cet effet semble tout à fait irrégulier.) Une tentative d'observation des raies 5577 et 6300 Å pendant une éclipse de soleil, observée à haute altitude, a été gênée par les nuages. Seule la raie verte a été enregistrée; compte tenu de l'affaiblissement par les nuages, son intensité ne semble pas avoir été influencée par les changements d'illumination de l'atmosphère [62].

Ca<sup>+</sup>, H et K

A. Vallance Jones [63] a annoncé en août 1956 la découverte d'une nouvelle émission crépusculaire. Avec des dispersions de 10 et 20 Å/mm, les raies H et K ont été observées plusieurs fois en émission au crépuscule à Saskatoon, en juillet et août 1955. L'altitude de l'émission est environ 100 km. Il peut s'agir d'une résonance optique analogue à celle des raies D, mais l'apparition intermittente du phénomène suggère à l'auteur que le calcium peut être apporté dans l'atmosphère par les météores. Le maximum du mois d'août coïncide avec celui des Perséides, celui de juillet peut être en rapport avec des

## COMMISSION 21

averses diurnes de météores. Aucune émission n'a été observé après le mois d'août, jusqu'à la fin de décembre, mais on n'a pas pris de clichés entre le 7 et le 18 décembre, pendant l'averse des Géminides.

M. Dufay [64] a retrouvé indépendamment le phénomène en Haute Provence, les 2 et 3 juillet 1956, en procédant au réglage d'un spectrographe à réseau construit pour les expéditions polaires françaises. Avec cet instrument moins dispersif (70 Å/mm), les raies d'émission fines apparaissent au milieu des larges raies d'absorption solaires. Les observateurs de la Terre Adélie (G. Weill et J. Daguillon), alertés à ce sujet, ont fait savoir qu'ils avaient à nouveau observé l'émission des raies H et K en juillet 1957, avec le même spectrographe.

### $N_2^+$ .

En liaison avec l'émission crépusculaire de  $N_2^+$ , il est intéressant de rappeler qu'en cherchant à déterminer la composition ionique de la haute atmosphère pendant la nuit, au moyen de spectromètres de masse à radio-fréquence de Bennet, portés par une fusée, C. Y. Johnson et J. P. Heppner [65] ont trouvé exclusivement, jusqu'à 120 km, des ions positifs de masse moléculaire 28, correspondant à  $N_2^+$  ( $CO^+$  pouvant être éliminé). Aucun ion négatif n'a été décelé. Il y avait alors une couche E sporadique.

Une expérience analogue, faite pendant le jour [66], où la fusée a atteint 131 km, n'a détecté au contraire que des ions négatifs. Les plus abondants de beaucoup (96.5 %) avaient la masse moléculaire 46 de  $NO_2^-$ . Venaient ensuite des ions de masse 32, soit  $O_2^-$  (1.6 %), etc. . . .

Equipé pour détecter des particules neutres pendant la nuit, un spectromètre analogue a montré à E. B. Meadows et J. W. Townsend [67], entre 74 et 141 km, les gaz habituels de l'air ( $CO_2$ , argon, oxygène et azote). En plus apparaissaient, en faible proportion, des particules de masses 46 et 23, dont l'abondance paraît maximum vers 85 km ( $NO_2$  et Na).

## LUMINESCENCE DIURNE

O. E. Berg [68] a cherché à mesurer la luminance du ciel diurne à haute altitude, au moyen d'appareils photographiques portés par une fusée. Il a trouvé qu'entre 80 et 220 km la luminance était sûrement inférieure à  $2 \cdot 10^{-5}$  fois la luminance au sol. Le rapport  $3 \cdot 10^{-2}$  rapporté dans d'autres expériences était donc erroné et la forte luminance observée provenait de la diffusion de la lumière solaire par les gaz et les particules issus de la fusée. Du reste V. M. Morozov et I. S. Shklovsky [69] avaient montré que ces résultats étaient en contradiction avec les observations faites pendant les éclipses de soleil.

## CONCLUSIONS

L'étude de la lumière du ciel nocturne a fait des progrès considérables depuis quelques années, grâce aux recherches systématiques effectuées dans plusieurs pays.

Le spectre d'émission de la haute atmosphère est maintenant assez bien connu dans le proche ultra-violet et, vers les grandes longueurs d'onde, de 5500 à 15 000 Å. Plus loin vers l'infra-rouge, on peut s'attendre à trouver encore des bandes très intenses du système de vibration-rotation de la molécule OH. Mais il est curieux de constater que la région comprise entre 3800 et 5500 Å n'ait pas fait l'objet d'études récentes, avec une assez grande dispersion. Il faut souhaiter que cette lacune soit prochainement comblée.

Nous sommes aussi assez bien renseignés sur les variations d'intensités des diverses radiations aux latitudes moyennes de l'hémisphère nord. Mais leurs causes nous échappent encore entièrement. Parmi les hypothèses émises à leur sujet, il convient de signaler celle qu'a énoncée récemment L. Liska [70], concernant la variation diurne de la raie 5577 Å. Liska l'attribue aux variations de pression accompagnant les marées de la haute atmosphère et il trouve effectivement une corrélation assez nette entre la phase de la Lune et l'heure où se produit le maximum de la raie verte en Californie (observations d'Elvey et Roach) et en Haute Provence (Barbier, Dufay, Williams).



## LUMINESCENCE DU CIEL

A la solution de tels problèmes il est certain que les mesures systématiques entreprises en un grand nombre de stations réparties sur le Globe, à l'occasion de l'Année Géophysique Internationale, pourront contribuer d'une manière très efficace.

On peut aussi beaucoup attendre de la continuation des expériences réalisées au moyen des fusées, qui ont déjà fourni des résultats décisifs.

On doit souhaiter enfin que des mesures spectrophotométriques même grossières, effectuées du proche infra-rouge à l'ultra-violet, nous renseignent d'une manière plus précise sur la répartition de l'énergie entre les diverses régions spectrales. Il ne faut pas oublier en effet que c'est en définitive la luminance du ciel nocturne qui limite la possibilité de détecter, par photographie ou à la cellule photo-électrique, les nébuleuses faibles et souvent même les étoiles. Il convient donc de savoir dans quel domaine de longueurs d'onde il faut opérer pour être le moins gêné possible par la luminance de la haute atmosphère. Ce n'est certainement pas dans le proche infra-rouge, où les mesures photométriques de Ch. Cailliatte<sup>[7]</sup> indiquent une luminance 16 fois plus grande que dans le bleu. Peut-être la région voisine de 5200 Å est-elle la plus favorable, étant dépourvue de forte émission.

JEAN DUFAY

*Président de la Commission*

### RÉFÉRENCES

Abréviation particulière: *A.A.* = *The Airglow and the Aurorae*, A Symposium held at Belfast in September 1945, edited by E. B. Armstrong and A. Dalgarno (Pergamon Press).

- [1] *Trans. I.A.U.* **9**, 693, 1955.
- [2] *A.A.* 86.
- [3] *Astr. J., Moscow*, **34**, 247, 1956.
- [4] *Manual for photometric observations of the Night-Airglow*, Congrès du C.S.A.G.I., Barcelone, 1956.
- [5] *A.A.* 174.
- [6] Auroral Research under contract No. A F 19 (122)–152. Final Report, University of Saskatchewan, Physics Department.
- [7] *C.R.* **245**, 1648, 1957.
- [8] *C.R.* **244**, 364, 1957.
- [9] *C.R.* **246**, 2281, 1958.
- [10] *Phys. Rev.* **87**, 1002, 1952.
- [11] *J. Atmos. Terr. Phys.* **10**, 320, 1957.
- [12] *Ann. Geophys.* **11**, 435, 1955.
- [13] *A.A.* 395.
- [14] *J. Opt. Soc. Amer.* **45**, 899, 1955.
- [15] *A.A.* 355.
- [16] Barbier, D. et Lévêque, P. *Rev. Opt.* **36**, 132, 1957.
- [17] *A.A.* 60.
- [18] *Ann. Geophys.* **12**, 113, 1956.
- [19] *A.A.* 351.
- [20] *Ann. Geophys.* **13**, 222, 1957.
- [21] Relations entre les phénomènes solaires et géophysiques, *Colloque international du C.N.R.S.*, Lyon, 1947.
- [22] *A.A.* 38.
- [23] *A.A.* 63.
- [24] *Ann. Geophys.* **11**, 377, 1955.
- [25] *A.A.* 29.
- [26] *C.R.* **244**, 1809, 1957.
- [27] Barbier, D. *C.R.* **244**, 1945, 1957.
- [28] Barbier, D. *C.R.* **245**, 1559, 1957.
- [29] *Astr. J., Moscow*, **33**, 708, 1956.

## COMMISSION 21

- [30] *A.A.* 9.
- [31] *A.A.* 27.
- [32] *A.A.* 20.
- [33] *J. Geophys. Res.* **61**, 302, 1956.
- [34] *Ibid.* **61**, 304, 1956.
- [35] *C.R.* **244**, 2077, 1957.
- [36] *A.A.* 374.
- [37] *A.A.* 366.
- [38] *A.A.* 67.
- [39] *A.A.* 73.
- [40] *J. Geophys. Res.* **62**, 212, 1957.
- [41] *A.A.* 193.
- [42] *A.A.* 197.
- [43] *Astr. J., Moscow*, **33**, 605, 1956.
- [44] *J. Atmos. Terr. Phys.* **10**, 49, 1957.
- [45] *Ibid.* **8**, 305, 1956.
- [46] *Ibid.* **11**, 68, 1957.
- [47] *A.A.* 204.
- [48] *A.A.* 99.
- [49] *J. Geophys. Res.* **61**, 663, 1956.
- [50] *A.A.* 183.
- [51] *J. Atmos. Terr. Phys.* **11**, 67, 1957.
- [52] *A.A.* 114.
- [53] *A.A.* 91.
- [54] *Astr. J., Moscow*, **33**, 175, 1956.
- [55] *A.A.* 95.
- [56] *Phys. Rev.* **98**, 1622, 1955.
- [57] Communication privée.
- [58] *J. Atmos. Terr. Phys.* **5**, 348, 1954.
- [59] *Ibid.* **10**, 172, 1957.
- [60] Edwards, H. D., Bedinger, J. F., Manring, E. et Cooper, C. D. *A.A.* 122.
- [61] Bedinger, J. F. et Manring, E. *J. Geophys. Res.* **62**, 170, 1957.
- [62] Koomen, M. J., Lock, C., Packer, D. M., Scolnik, R. et Tousey, R. *A.A.* 135.
- [63] *Nature*, no. 4527, 276, 1956.
- [64] *Ann. Geophys.* **14**, 391, 1958.
- [65] *J. Geophys. Res.* **60**, 533, 1955.
- [66] *Ibid.* **61**, 575, 1956.
- [67] *Ibid.* **61**, 576, 1956.
- [68] *Ibid.* **60**, 271, 1955.
- [69] *A.A.* 201.
- [70] *Acta Physica Polonica*, **15**, 305, 1956.
- [71] *C.R.* **245**, 1739, 1957.

### ADDITION AU DRAFT REPORT

Parmi les résultats assez nombreux publiés depuis la rédaction du *Draft Report* on se bornera à signaler que l'altitude d'émission relativement basse des bandes de OH (< 100 km) et l'altitude élevée de l'émission des raies 6300–6364 Å (> 163 km) ont été confirmées par l'ascension d'une fusée mesurant l'intensité dans des bandes passantes étroites autour de 6300, 5893, 5577 et 5335 Å (J. P. Heppner et H. Meredith, *J. Geophys. Res.* **63**, 51, 1958).

# LUMINESCENCE DU CIEL

*Compte rendu des Séances.* 16 et 20 août 1958

PRÉSIDENT: J. Dufay.

SECRÉTAIRE: F. Link.

*Première Séance.* 16 août

Le *Draft Report* est adopté sans modification.

J. Kaplan et M. Nicolet, appuyés par l'unanimité des membres présents, soulignent l'utilité que présente, au sein de l'U.A.I., la création d'une Commission de la Luminescence du Ciel.

Sont ensuite présentées les trois communications résumées ci-dessous, suivies de discussions auxquelles prennent part notamment B. U. Cherednichenko, A. I. Lebedinsky, A. I. Galperin, M. Nicolet et J. Dufay.

*Communication du Dr Krassovsky et du Dr G. I. Galperin* (Institute for Atmospheric Physics of the U.S.S.R. Academy of Sciences), *présentée par G. I. Galperin.* 'Review of observational results on the airglow and aurorae.'

At the stations of the Institute for Atmospheric Physics at Zvenigorod ( $\phi=51^\circ$ ), Roshchino ( $\phi=57^\circ$ ), and Loparskaya ( $\phi=64^\circ$ ) the following equipment is at work: spectrographs for visual, ultra-violet and infra-red spectral regions with dispersion of 80 to 130 Å/mm, electro-photometers with interference filters, radars with wave-length 4.2 m at Roshchino and 4.2 m and 10 m at Loparskaya, interferometers for visual and infra-red regions at Loparskaya, all-sky cameras, and some other equipment.

The observations were made during the last few years. The following is a brief review of some new results obtained.

## I. *Night airglow emissions*

(1) At Zvenigorod the detailed airglow spectrum was obtained in the region 5000–11 000 Å (Prikudina, Shefov, Mironov).

(2) Measurements of absolute OH-band intensities (Shefov, Fedorova) show: (a) that the transition probability ratios are in much better agreement with the computations for linear dipole momentum than with those including the quadratic term (Heaps and Herzberg); (b) that deeper transitions are much more intense than expected, even (9–2) and (6–0) bands being obtained near 5300 Å (Mironov, Prokudina, Shefov); (c) that the populations of the levels were different from those computed on the hypothesis that all levels are populated by transitions from the 9th.

(3) (a) Regular measurements of rotational hydroxyl temperatures at Zvenigorod (Prokudina) and measurements at Bjurakan (Fedorova), Roshchino (Shuyskaya), at Loparskaya (Prokudina, Galperin) show that the temperature rises permanently from 230° K at Byurakan to 330° K in the northern direction at Loparskaya. (b) Preliminary results of measurements (Prokudina, Shefov) indicate that apparently there is no correlation between temperature and intensity of OH-emission.

(4) In the night airglow spectrum a narrow hydrogen H $\alpha$  line is regularly observed with an intensity up to 20 R (Prokudina). This emission may be explained by fluorescence of neutral hydrogen atoms in the field of solar L $\beta$  radiation. These neutral atoms may be situated in the interplanetary space or near the Earth, making a sort of 'geocorona' (Shklovsky).

(5) Spectrographic measurements of continuum airglow emission (Shefov) show that the intensity is large (up to 3 R/Å) and that its spectral distribution is very similar to NO airglow distribution (longer wave-length max.). Such a strong continuum may seriously distort the results of electro-photometrical observations under the I.G.Y. programme and also some rocket measurements.

(6) There are several indications of some unidentified emissions.

II. *Auroral emissions*

(1) At Loparskaya and Zvenigorod detailed high-altitude and low-latitude auroral spectra have been obtained. The low-latitude spectrum is very similar to the high-latitude, both of the A-type aurora (Mironov, Prokudina, Shefov) and (Galperin, Korotin).

(2) At Zvenigorod, during the intense red aurora on 1958 February 10-11, the helium emission at 10 830 Å was obtained (Prokudina).

(3) For the same aurora at Loparskaya a sharp increase of the kinetic temperature of oxygen atoms was registered with the help of 6300 Å interferometer (Mularchic).

(4) On the spectrograms the forbidden  $O^+$  doublet at 3726-3729 Å was resolved; the intensity ratio indicates excitation by fast particles (Galperin, Korotin).

(5) The auroral hydrogen emission was studied: (a) A large quantity of  $H\alpha$ ,  $H\beta$ , and  $H\gamma$  profiles were obtained at Loparskaya with a dispersion of 85-95 Å/mm. The profiles obtained at different times, and those obtained at Roshchino (Shuiskaya) and Zvenigorod (Mironov, Prokudina, Shefov) are all very similar (Galperin).

(b) The measured intensity ratio  $H\beta:H\gamma=0.80$ , which is greatly different from that computed by Chamberlain (Galperin).

(c) Spectrographical sections of auroral arcs with exposures from 5 to 15 minutes show that hydrogen emission can change very rapidly and perhaps the observed hydrogen line profile is averaged in time (Galperin, Trunov, Shuiskaya).

(d) A strong correlation is observed between the appearance of hydrogen  $H\alpha$  line and the radio-reflexions from aurorae at wave-length 4.2 m (Galperin, Birkfeld, Grachev).

(e) Simultaneous patrol observations of hydrogen in directions to the north, to the magnetic zenith, and to the south, show that often hydrogen emission appears all over the sky, sometimes when no visual auroral form appears; the intensive aurora starts to develop only one to two hours later. The spectrum obtained at such a time before the aurora is typical for high-altitude auroral spectra with enhanced atomic lines and weakened molecular bands. Romick and Elvey recently came to similar conclusions about the 'firing' of aurora by hydrogen corpuscles to the south of the auroral zone, where this effect seems to be more pronounced. The hydrogen emission is distinctly enhanced in the homogeneous arcs. It is also always present in the red A-type aurorae (Galperin).

(6) Large numbers of absolute electro-photometrical measurements of aurorae show the increase of the de-activation of the oxygen  $^1D$  forbidden level with the increase of intensity of 5577 Å in ray auroral forms (Jorjio). Estimates indicate that electron densities up to  $3 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-3}$  are required in the brightest rays for such de-activation (Galperin, Jorjio).

(7) Comparison of the total energy emitted in 5577 Å in bright auroral forms and in the diffuse background around them show that the main part of the energy is emitted in the diffuse background even in relatively bright aurorae (Jorjio).

(8) The study of short-period brightness variations in the aurorae was started with the help of an electro-photometer with continuous registration on the magnetic oscillograph. The periods obtained are comparable with those of short-period magnetic pulsations (Jorjio).

*Communication du Dr J. W. Chamberlain* (Yerkes Observatory). 'The blue airglow spectrum, 3700-4900 Å.'

Several long exposures of the night sky in the blue have been made with the high-dispersion Meinel spectrograph (35 and 21 Å/mm).

*Herzberg bands of  $O_2$* . A considerable number of bands in this system were expected in the blue region. Not only do progressions appear with  $v'=0, 1$  and 2, as proposed previously on the basis of available low-dispersion spectra, but bands with  $v'$  as high as 7 were also present. The contrast between the intensity distribution of these bands in the airglow and in laboratory afterglows is, in fact, quite striking. The distinction may, however, be due simply to different degrees of collisional de-activation. Although some  $v'=7$  bands are definitely present, no airglow bands with  $v' \geq 8$  have been clearly identified. The excitation potential of  $v'=7$  is 4.90 e.v., which is comparable to the  $O_2$  dissociation energy (5.08 e.v.).

## LUMINESCENCE DU CIEL

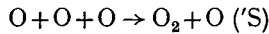
*A possible new system of O<sub>2</sub>.* A large number of emissions, mostly rather weak, still remains unidentified. Several of the most prominent of these weak emissions may arise from the transition  ${}^3\Delta_u - {}^1\Delta_g$  of O<sub>2</sub>. The lower, singlet state serves as the upper state for the Infra-red Atmospheric system. The upper, triplet state was recently identified by Herzberg, who found in far ultra-violet absorption spectra a weak system arising from  ${}^3\Delta_u \leftarrow {}^3\Sigma_g$ . The  ${}^3\Delta_u - {}^1\Delta_g$  system may be responsible for three prominent ultra-violet emissions previously unidentified. Still, the evidence in favor of the proposed new system is not conclusive.

*Other possible emissions.* Kaplan and Broida and Gaydon have suggested that NO<sub>2</sub> is the origin of some diffuse bands in the blue-green portion of the laboratory afterglows, but the comparison is difficult because of the strong continuous spectrum appearing in both sources.

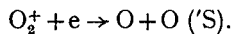
*Starlight and airglow continuum.* An airglow continuum is not important in the region around 4000 Å and shortward, but longward of 4500 Å a real continuum appears to be of dominating brilliance.

*Communication du Dr M. Nicolet* (Institut Royal Météorologique de Belgique). 'Sur les fluctuations d'intensité de la raie verte.'

L'émission de la raie verte de la lueur nocturne est due en tout premier lieu au processus de Chapman



et une fraction peut résulter de la recombinaison dissociative



Le premier processus fixe l'altitude d'émission aux environs de 100 km tandis qu'un résidu doit subsister à des altitudes supérieures à 150 km par suite de l'effet du second processus.

A la suite de ruptures d'équilibre photochimique de l'oxygène, les molécules d'oxygène montent continuellement tandis que les atomes d'oxygène fournis à tous les niveaux par photo-dissociation descendent jusqu'à des altitudes inférieures à 100 km avant de recombiner. C'est pourquoi à la suite des mouvements horizontaux et verticaux de l'atmosphère dans la thermopause inférieure (85-110 km) il y a de fortes variations dans la concentration de l'oxygène atomique. Ces variations doivent expliquer les fluctuations d'intensité de la raie verte.

### *Deuxième Séance. 20 août*

Le Président remercie le Dr Krassovsky et ses collaborateurs, notamment les Drs G. I. Galperin et P. V. Shcheglov, de leur réception à la station de Zvenigorod, le 18 août. Grâce à cette visite et aux explications détaillées qui leur ont été données, les membres de la Commission ont pu apprécier les importants travaux soviétiques sur la lumière du ciel nocturne et les aurores polaires.

*Recommandation.* Le Dr C. T. Elvey présente la recommandation suivante:

It is recommended that electro-photometric data under the I.G.Y. program be sent to the World Data Centers in the form of original, uncorrected zenith readings in Rayleighs for the lines 6300 Å, 5577 Å and sodium D and for the control emission (5300 Å); further that the transmission curves of the filters used should be sent also so that individual evaluation of the data may be possible.

(Cette recommandation, adoptée par l'unanimité des membres de la Commission présents a été émise trop tard pour pouvoir être soumise à l'Assemblée Générale.)

*Communication de Miss Helen B. Pettit.* 'The aurora of 1958 February 10/11.'

During the great aurora of 1958 February 10/11 simultaneous photometric observations of the whole sky were made of the 6300 Å and 5577 Å emission from Sacramento Peak, New Mexico (N. 32°) and 5577 Å from Tonantzintla, Mexico (N. 19°). Several interesting observational results were obtained.



## COMMISSION 21

(1) The lines of equal intensity for both 5577 Å and 6300 Å as seen from Sacramento Peak were perpendicular to the direction of the magnetic pole, as were the lines of equal intensity for 5577 Å as seen from Tonantzintla.

(2) From Sacramento Peak, using eighty points for different azimuths and zenith distances throughout the night, the ratio  $6300 \text{ Å}/5577 \text{ Å} \approx 1.85 \times 10^3$ .

(3) Within an hour the intensity of 6300 Å of the whole sky at Sacramento Peak increased from  $2 \times 10^5$  R to  $10^8$  R and then decreased back to  $2 \times 10^5$  R again. The time of maximum was 06<sup>h</sup> 45<sup>m</sup> U.T. During the same time 5577 Å increased from  $10^3$  R to  $4 \times 10^4$  R and back to  $10^3$  R. At Tonantzintla the intensity was much weaker, going from 200 to about 700 R and back during the same period of time.

Dr Warwick at the High Altitude Observatory (100 km north of Sacramento Peak) in Boulder, Colorado, was making observations of the absorption of cosmic radio noise. The diurnal variation of his observations corresponds very closely to that of ours. The time of his greatest amount of absorption is the time of our greatest increase in intensity, while his secondary absorption peak agrees with our secondary intensity maximum.

It appears therefore that the change in ionization is directly related to that in intensity of the auroral lines.

*Communication du Dr F. Link* (Institut astronomique de l'Académie des Sciences de Prague). 'Emissions crépusculaires.'

Pour étudier les émissions crépusculaires 5577, 5892, et 6300 Å, j'ai élaboré une méthode basée sur les propriétés de la diffusion moléculaire pendant le crépuscule. La théorie indique et les observations confirment que les pentes des courbes qui donnent le log de la luminance en fonction de la dépression solaire sont quasi indépendantes de la longueur d'onde (F. Link, *C.R. Acad. Sci., Paris*, 199, 303, 1934). En comparant alors les mesures faites sur les émissions ci-dessus avec les régions de comparaison à 5300 et 6100 Å on est arrivé, à l'aide d'une méthode appropriée, à déterminer ces émissions depuis la dépression 9° jusqu'à l'arrivée de la nuit. D'après les résultats provisoires (F. Link, *Stud. Geoph. Geod.*, sous presse) obtenus pendant les 6 premiers mois de l'A.G.I. dans les deux stations tchécoslovaques à Ondrejov (528 m) et à Lomnický (2634 m) il y a, dans les trois émissions étudiées une diminution de l'intensité vers la nuit, dont l'importance décroît du rouge au vert. Une dissymétrie notable en faveur des valeurs vespérales a été trouvée pour 6300 Å tandis qu'elle devient faible à 5892 Å et négligeable ou plutôt inverse à 5577 Å.

E. Vassy fait remarquer que la dissymétrie entre le soir et le matin est absolument certaine dans le cas des raies 6300–6364 Å. J. Dufay est intéressé par le fait que Link confirme l'excitation crépusculaire qu'il a signalée il y a longtemps pour la raie verte et qui n'a pas été retrouvée par d'autres observateurs. D'après les mesures récentes faites en Haute Provence, le phénomène paraît très irrégulier. Link précise que ses résultats actuels ne concernent que l'allure moyenne des phénomènes et non leur évolution journalière.

J. Dufay attire l'attention sur l'intérêt que présenterait une étude analogue de la raie (N 1) 5199 Å. De 1951 à 1953, M. Dufay (*Ann. Phys., Paris*, 12e série, 8, 813–62, 1953) avait trouvé que la raie était excitée pendant les crépuscules d'été mais ne subsistait que rarement pendant la nuit. Elle était toujours absente pendant les longues nuits d'hiver. Cette année M. Dufay a constaté la présence de la raie pendant la nuit, durant les mois d'avril et mai. Une expérience réalisée en juillet, en visant vers le nord à 15° de l'horizon, a montré que la raie 5199 Å était émise pratiquement avec la même intensité durant toute la nuit. On peut se demander si cette excitation est en relation avec l'accroissement de l'activité solaire depuis 1953.

*Communication du Prof. C. Hoffmeister* (Observatoire de Sonneberg). 'Results of 30 years' statistics of increased airglow.'

From the beginning of the year 1928 to the end of 1957 the presence or absence of increased airglow and irregularities of light distribution was investigated on every favorable night. According to intensity the phenomena were classified by a scale from 0 to 10, the latter referring to the strongest form with stripes and clouds over the whole sky, the

## LUMINESCENCE DU CIEL

Milky Way being practically invisible. The place of observation is Sonneberg Observatory at N. 50°4.

Thus a character figure is obtained for every day of the year from the sum of all individual figures divided by the number of nights. The total of observing nights is 3310, so the single character figure is obtained from 0·1 values on the average, the real number depending on scattering and on the unequal distribution of observing possibilities over the year.

The annual curve exhibits some very distinct features: low minimum close to zero in April and May, flat maximum in August, secondary minimum in September, high maximum with several peaks from November to January, then fast decline. Under the assumption that the increase of airglow is stimulated by the influx of meteoric dust the general character of the curve can be explained as resulting from superposition of the annual curve of meteoric activity having a minimum in northern spring and a maximum in autumn, and the reciprocal curve of solar radiation. There are several independent indications that the phenomenon is weakened by an increase of solar radiation, the connexion being probably complicated and the immediate cause lying in the physical conditions of the ionosphere. This is reasonable when one considers that the energy emitted by increased airglow is stored solar energy released at a higher rate than under normal conditions.

Observations in South-West Africa at latitudes between S. 19° and 25° show a much more uniform distribution over the year and especially in May higher character figures than those observed in Europe for this month.

The very distinct peaks of the curve appear as 'singularities' and can be co-ordinated to individual meteoric currents: Quadrantids in January;  $\delta$  Aquarids, Cygnids, and Perseids in August; Draconids in October; Arietids and Taurids in November; Geminids in December. Only the peak at January 25 is not yet explained in this way. But there is in all cases a lag of several days between the maximum of the meteor current and that of increased airglow, showing that the cause of the increase is not the instantaneous number of meteors but probably quasi-molecular dust suspended in the atmosphere and sinking slowly downward.

The curve of annual character figures shows during the first twenty years of observation a relation of solar activity, high values of the latter corresponding to minima of increased airglow. But after 1947 no recovery of the airglow curve occurred, indeed there is a further decline up to the present time (1958). An explanation of this fact can be derived from the dust hypothesis, assuming that the exceptionally high maximum of solar activity in 1947 has produced essential changes in the distribution of interplanetary dust which cannot be compensated within a few years. This implies that the particles must be of small size from the very beginning, thus underlying radiation pressure. Two models are possible in principle: a static model, where the particles are normally at rest, requiring an absorption of radiation, and a dynamic model, where the particles move in Keplerian orbits. It remains undecided whether the former is more than a logical possibility, but an increase of radiation pressure would, for a particle of given size, displace the zone of stability to larger radii and diminish the density within the inner part of the solar system.

Let us now consider a particle moving in an elliptic orbit. An additional force, counteracting gravity, can be taken account of by reducing the mass of the Sun  $M$  to an effective value  $M'$ . We ask now, what reduction of the solar mass will be necessary to transform an elliptic orbit with semi-major axis  $a$  into a parabola, when the particle is at a distance  $r$  from the Sun, and we get

$$M' = M \left( 1 - \frac{r}{2a} \right).$$

This means that the larger  $a$  is the smaller is the additional force required to produce a parabola, the broader is, too, the range of particles involved. This explains why, in the case of the Lyrid shower in April, no airglow effect is perceptible, the Lyrids being the periodical current with the highest value of  $a$ , 55·6 a.u.; second in this respect is the Perseid comet 1862 III, which also produces but a small effect, the more as the increase

early in August may be attributed to the ecliptic currents active at the same time. The general result is that only currents with  $a < 5$  can be expected to contribute considerably to the accumulation of small dust particles in the high atmosphere. Of course, we also have to consider the dust produced by disintegration of larger meteoric bodies in the atmosphere, but as the mean height of disappearance of small meteors is about 80 km, the maximum disintegration will take place in a layer which is already below the layer where increased airglow generally originates. Photogrammetric observations at Sonneberg Observatory with a base line of 18 km and similar investigations gave a value of  $\sim 120$  km for the height of this layer, with scattering from 90 to even 180 km.

The change of the effective mass of the Sun acts instantaneously upon the orbits of the particles. Of course, a particle approaching the Sun will nevertheless reach perihelion, so that the effect of a general increase of radiative pressure might become obvious in atmospheric phenomena with some delay, even of one to three years. But it is shown that with this mechanism the intensity decline of increased airglow can be understood as a consequence of the high maximum of solar activity in 1947, and it is easy to predict that the effect will be even stronger after the still higher maximum of 1958.

As a whole these results are distinctly in favour of the dust hypothesis, the more so as the presence of such dust layers at a height of about 100 km has been proved from the independent experiences with eclipses of the Moon, especially by the work of Czechoslovakian investigators.

Reference: C. Hoffmeister, 'Spezifische Leuchtvorgänge im Bereich der mittleren Ionosphäre'. *Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften*, vol. 24, pp. 1-53 (1951).

F. Link signale le bon accord existant entre les courbes annuelles de variation des bandes lumineuses et celle de l'accroissement de la densité de l'ombre terrestre lors des éclipses de Lune, sauf dans le cas des Lyrides.

E. Vassy souligne l'intérêt que présente l'emploi de méthodes d'observation variées. Il faut éviter de se leurrer par des théories qui manquent souvent de base.

J. Dufay demande si le spectre des bandes lumineuses nocturnes est connu. C. Hoffmeister répond qu'il l'est fort peu et renvoie à la monographie citée dans sa communication.

*Communication du Prof. V. G. Fesenkov* (Académie des Sciences de l'U.R.S.S.). 'On the reduction of the photometrical observations on the zodiacal light.'

Different authors have obtained isophotes of the zodiacal light, generally with good agreement. These isophotes may be obtained with best definition when the ecliptic is at normal incidence to the horizon, as for instance we have observed in the Libyan desert (Egypt) in October–November 1957. Comparison of isophotes obtained in the neighbourhood of Alma Ata and in the deserts of Central Asia with those obtained in Egypt shows that at inclined positions the corresponding isophotes of the zodiacal light are somewhat wider. This evidently is caused by the inadequacy of the reductions applied to the observational data. It is highly desirable, therefore, to discuss reduction methods and to elaborate the necessary improvements.

The apparent brightness of the zodiacal light is a very complex phenomenon depending on several components. The first component is of galactic origin and depends on the integrated light of the stars, their light diffused in the interstellar medium as well as in the terrestrial atmosphere; this component is not very important for great elongations from the Milky Way and may be accounted for in an approximate manner from the corresponding tables (see for instance the monograph by V. Fesenkov, *Meteor Matter in Interplanetary Space*, Moscow, 1947, in Russian). The second component, airglow, represents the ionospheric illumination of the sky, including many emission lines and bands as well as a well-pronounced continuous spectrum. This component is characterized by an effective height of about 200 km and is diffused in the troposphere. It may be approximately accounted for by the simple expression

$$\frac{C(\rho + 0.03)^{\sec z}}{\{(1+h)^2 - \sin^2 z\}^{\frac{1}{2}}}$$

## LUMINESCENCE DU CIEL

where the observed coefficient of transparency  $p$  is increased by 0.03 to allow for the scattering in the troposphere,  $h$  is the effective height of the ionospheric luminous layers nearly equal to 0.04 in units of the Earth's radius;  $C$  is the variable coefficient which must be determined at the time of observations. This simple expression assumes regular distribution of the ionospheric component over the sky and cannot take into account accidental irregularities of brightness. The third component is produced by the zodiacal light observed directly and by its light diffused by the troposphere. It may contain also the so-called zodiacal twilight produced by the bright parts of this phenomenon immediately below the horizon.

With this in view the following method of reduction of the photometrical observations of the zodiacal light can be proposed.

Let us suppose that the brightness of the sky near the celestial pole is measured under the same conditions. This brightness is reduced first by the galactic component, and its light diffused in the troposphere, by using the tables mentioned before. Further account must be taken of the presence of the zodiacal component. The value of this component is not definite, but it is very small: indeed, the expected polarization of the zodiacal light near the pole of the ecliptic, as well as near the celestial pole, is very marked and can be evaluated to be about 20%, that is, nearly the same as in the plane of the ecliptic. But direct observations show that the observed polarization in this region of the sky is very small indeed and cannot be greater than 1-2%. This is the result of superposition of galactic and ionospheric components which are not polarized at all.

Denoting by  $I_m, P_m$  the observed brightness and polarization at the pole, and by  $I, P$  the corresponding quantities for the zodiacal component only, we have obviously that

$$IP = I_m P_m, \text{ whence } I = I_m \frac{P_m}{P}.$$

The zodiacal component in the neighbourhood of the pole is very small and probably cannot be greater than 5% in comparison with the whole observed brightness in this point. Taking this into account one can deduce for the celestial pole the ionospheric component only and determine in this manner the variable coefficient  $C$ .

Further the ionospheric component so far obtained for one single representative point can be immediately calculated for every other point of the sky. To this ionospheric component, there must be added the galactic component relating to the same point of the sky and the tropospheric diffused light depending upon all the causes of illumination including the zodiacal light itself. Consequently the reduction which must be subtracted from the apparent brightness of the sky observed in the direction of the zodiacal light is the following:

$$\begin{aligned} \text{Reduction} = & \{I_m - (\text{galactic} + \text{zodiacal}) \text{ components at pole}\} \\ & \times (p + 0.03)^{\sec z - \sec z_0} \times \{(1 + h^2) - \sin^2 z_0\}^{\frac{1}{2}} \times \{(1 + h^2) - \sin^2 z\}^{-\frac{1}{2}} \\ & + \text{galactic component} + \text{diffused troposphere.} \end{aligned}$$

The true brightness of the zodiacal light corrected for atmospheric absorption is

$$\{T(\text{app.}) - \text{reduction}\} \times p^{-\sec z}.$$

The estimation of the tropospheric diffusion of the zodiacal light is very difficult because it depends on many different factors. Nevertheless it must be calculated and presented for practical use in the form of auxiliary tables arranged for different values of the inclination of the ecliptic to the horizon, atmospheric transparency, depression of the Sun below the horizon and zenith distance of the point under examination. The importance of such a reduction has been shown by me (*Astr. J., Moscow*, **35**, fasc. 3, 1958) in the simple case of the normal position of the zodiacal light. But it appears that the zodiacal twilight can be neglected.

A la suite de cette dernière communication C. Hoffmeister se plaint du manque de définition précise de la lumière zodiacale et E. Vassy discute avec le Prof. Fessenkov quelques aspects particuliers du problème. Fessenkov conteste en particulier l'importance de la composante électronique de la lumière zodiacale.