

P. SWINGS

1° SUR LES BANDES DE CH ET CN DANS LES ÉTOILES DES CLASSES DE F 0 A G 5

Cette communication constitue le résumé des notes que j'ai publiées en langue anglaise il y a quelques mois, en collaboration avec O. Struve ou seul, et traitant des bandes de CH et CN dans la séquence spectrale et dans les Céphéïdes. On connaît les grands progrès qui ont été faits dans ces dernières années, relativement aux intensités des raies atomiques et de leur interprétation au moyen de la théorie de l'équilibre d'ionisation. En revanche, presque rien encore n'a été fait relativement aux bandes moléculaires. Cela provient de ce que la théorie des spectres de molécules est très jeune et que les recherches correspondantes de laboratoire ne datent vraiment que de quelques années. D'ailleurs, le cas des bandes d'absorption moléculaire est beaucoup plus compliqué que celui des raies atomiques. Il faut en effet introduire dans les équations d'équilibre les pressions partielles des constituants, mais ceux-ci peuvent parfois intervenir dans plusieurs édifices moléculaires. D'autre part, pour les molécules, on doit considérer non seulement l'énergie électronique comme dans le cas des atomes, mais aussi les énergies de vibration des noyaux et de rotation d'ensemble de la molécule ; le nombre des niveaux d'énergie moléculaire est par suite beaucoup plus élevé que celui des niveaux énergétiques atomiques ; d'où complexité des problèmes d'équilibre. Une troisième difficulté — expérimentale celle-ci — se présente pour les molécules ; c'est le fait que les bandes n'apparaissent que pour les étoiles relativement froides, c'est-à-dire contenant énormément de raies atomiques ; les raies moléculaires sont toujours une minorité et sont en général très voisines d'un grand nombre de raies atomiques ; on ne peut donc bien les étudier que moyennant de grandes précautions.

Il n'en est pas moins vrai que les problèmes relatifs aux bandes moléculaires comptent, à l'heure actuelle, parmi les plus intéressants, les plus urgents et les plus productifs de l'Astrophysique.

Les bandes stellaires de CH et CN ont donné lieu déjà à plusieurs recherches ; mais celles-ci ne sont en général guère dignes de confiance, parce qu'elles se basent sur des considérations théoriques très primitives ou sur des clichés spectraux de dispersion trop faible ou de grain trop gros. Par exemple, on admet généralement que les bandes de CH subsistent jusqu'à F2, certains auteurs allant même jusque AO. D'autre part, on admet que les bandes de CN existent jusqu'à F5, certains auteurs allant aussi jusque AO. Il paraît bizarre que des composés moléculaires puissent supporter de telles températures sans être complè-

Pour quatre des meilleures plaques, nous avons mesuré l'absorption totale des molécules CH de l'atmosphère stellaire et trouvé

Phase	Absorption	Spectrale	T
0.38	12.5 %	G3	5100
0.55	17	G5	4700
0.71	20	G6	4600
0.75	20	G6	4600

Connaissant ces pourcentages d'absorption, on peut déterminer la variation du nombre des molécules CH responsables de l'absorption et cette variation est en parfait accord quantitatif avec ce qu'on obtient en partant de l'équation d'équilibre de dissociation des molécules CH pour les différentes températures T indiquées au tableau.

De très nombreuses erreurs ont été commises dans des travaux récents relativement aux bandes moléculaires dans les Céphéides.

2° SUR L'EFFET DE MAGNITUDE ABSOLUE SUR LES BANDES DE CN

Dans une note publiée récemment, en collaboration avec O. Struve, nous signalions accidentellement à propos des bandes de CH — qui se comportent exactement comme les bandes de CN — qu'il semble bien y avoir un effet de magnitude absolue (effet de pression) ; les bandes semblent être, pour les classes F8 et G0, plus intenses dans les étoiles naines que dans les géantes. Dans une note suivante, j'avais indiqué un effet du même genre ; les bandes de CH sont plus intenses dans le Soleil (étoile naine G0) que dans δ Cephei à son minimum (super-géante G6).

Mais il faut prendre des précautions lorsqu'on examine cet effet. Ainsi dans le traité d'Astronomie, tome II, de Russell, Dugan and Stewart, on trouve à propos des parallaxes spectroscopiques que les bandes de CN sont plus intenses dans une géante KO (β Sagittae) que dans la naine τ Ceti de la même classe. Ce résultat pourrait paraître étonnant d'après ce que je viens de dire un peu plus haut ; il est pourtant explicable par le fait qu'une géante KO est nettement plus froide qu'une naine de même classe spectrale.

La formation et la décomposition des molécules CN est régie par la loi

$$\log K_p = -4,541 \bar{T} + 1,5 \log T + \log \left(1 - e^{-\frac{3040}{T}} \right) + 0,07 \quad (1)$$

T étant la température absolue et K_p le coefficient d'équilibre à pression constante

$$K_p = \frac{p_C p_N}{p_{CN}}$$

tement dissociés. En général, on admet que les bandes de CH subsistent à des températures notablement plus élevées que les bandes de CN. Or ceci conduit à des difficultés sérieuses, la chaleur de dissociation de CH (~ 110 kcal/mol) étant nettement inférieure à celle de CN (~ 210 kcal/mol).

En collaboration avec O. Struve, nous avons fait une détermination soignée des limites d'apparition des bandes de CH et CN et avons trouvé que ces bandes disparaissent simultanément vers F8. Pour cela, nous avons employé une trentaine de bons clichés à fente étroite, grain fin, étagés de G5 à F0, comprenant des naines et des géantes. Nous avons essayé de trouver sur ces spectres quelques raies qu'on pouvait attribuer avec certitude à CH ou CN seulement. On trouvera dans une de nos publications antérieures (1) les détails relatifs aux difficultés rencontrées, aux superpositions de raies, aux étoiles choisies, etc... On y trouvera aussi une liste d'erreurs rencontrées dans une série de travaux récents s'occupant des bandes de CH et CN.

A première vue, il peut encore paraître bizarre que, malgré leurs chaleurs de dissociation différentes, CH et CN disparaissent à la même température. On peut montrer, en partant des équations d'équilibre, que cela s'explique par la grande abondance d'H relativement à N et on peut même, en se basant sur les valeurs données par Russell pour l'abondance relative des éléments dans l'atmosphère solaire, donner une interprétation quantitative complète de la question.

Comme l'intensité des bandes varie au sein de la séquence spectrale, on doit s'attendre aussi à ce qu'elle varie dans le spectre d'une variable céphéide et nous avons étudié à ce point de vue, les variations se produisant au cours d'une période dans le spectre de δ Cephei (2). Tous les 24 spectres utilisés ont été pris sur plaques à grain fin, préalablement standardisées et nous avons examiné une région d'absorption des molécules CH et CN, où n'intervient pas de raie atomique.

On a pu ainsi suivre l'évolution des bandes de CH et CN, qui apparaissent à la phase 0,16 environ (0,85 jour après le maximum), atteignent leur maximum aux phases 0,70-0,75 (minimum de lumière) et disparaissent vers la phase 0,90.

En comparant ce qui se passe sur les branches ascendante et descendante de la courbe, on constate que deux états de luminosité égale, situés l'un sur la branche ascendante, l'autre sur la branche descendante, n'ont pas même absorption en CH et CN ; ceci est d'accord avec l'hypothèse des pulsations, d'après laquelle chaque point de la courbe descendante correspondrait à une température plus basse que le point correspondant d'éclairement égal sur la branche ascendante.

(1) P. Swines and O. Struve, *Phys. Rev.*, 99, 142, 1982.

(2) P. Swines, *M. N. of the R. A. S.*, 82, 140, 1981.

les pressions partielles p_C , p_N , p_{CN} étant exprimées en atmosphères. Pour une géante KO, $T_e \sim 4300^\circ$ et pour une naine $T_e \sim 5100$ (valeurs données par H. N. Russell). En appliquant l'équation (1), on trouve ainsi que les molécules CN peuvent être plus nombreuses dans la géante que dans la naine.

P. SWINGS

Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège

LES SPECTRES DE RÉSONANCE ET LES ISOTOPES

Supposons que l'on envoie sur une vapeur diatomique AB une radiation parfaitement monochromatique de fréquence ν_0 et supposons que cette radiation coïncide avec une raie d'absorption de la vapeur AB. Si les molécules AB se trouvent dans des conditions physiques convenables, certaines d'entre elles absorberont un photon $h\nu_0$ et seront ainsi activées. Le retour de ces molécules aux états énergétiques inférieurs donnera lieu à l'émission d'un spectre, appelé « spectre de résonance » composé généralement de doublets.

On observe en effet de telles séries, mais à côté d'elles, on observe aussi des séries de multiplets complexes.

J'ai montré que, pour les molécules S_2 , Se_2 et Te_2 , cette complexité était due au fait que la raie excitatrice recouvre plusieurs raies d'absorption de la vapeur AB, donnant ainsi lieu à des activations différentes de molécules se trouvant dans des états énergétiques différents.

On a ainsi superposition de plusieurs séries de doublets. Les autres causes possibles de complexité : chocs, dérogation au principe de sélection, etc... n'ont guère d'importance sur l'apparence des multiplets. On peut, en faisant l'étude à haute dispersion de ces multiplets, effectuer le classement des raies en doublets dont l'écartement vérifie parfaitement la formule théorique

$$D \gamma = \frac{\left(m' + \frac{1}{2}\right) h}{2 \pi^2 J''}$$

Considérons d'abord le cas de S_2 .

Par suite du fait que le spin du noyau de l'atome S^{32} est nul, il y a absence alternative des niveaux de rotation. S. M. Maudé et A. Christy ont montré par l'analyse à haute dispersion de la structure fine de rotation du spectre de S_2 que, dans l'état excité électromagnétiquement, les niveaux de rotation impairs manquent, tandis que, dans l'état électro-