

MÉCANISME D'EXCITATION DES BANDES DE SWAN DES COMÈTES (*)

par A. STAWIKOWSKI et P. SWINGS
(Institut d'Astrophysique de l'Université de Liège)

RÉSUMÉ. — *Les spectres à haute résolution de la Comète Mrkos (1957d) révèlent, dans ses grands traits, la structure rotationnelle des bandes de Swan. Les anomalies d'intensité de certaines raies des bandes (1 — 0) et (2 — 1) s'expliquent par la présence de raies d'absorption dans le rayonnement solaire excitateur. Les bandes de Swan de C_2 sont donc excitées par fluorescence, quoique leur niveau inférieur $^3\pi_u$ ne soit pas le niveau électronique normal de C_2 .*

ABSTRACT. — *The high resolution spectrograms of Comet Mrkos (1957d) reveal the essential features of the rotational structure of the Swan-bands. Intensity anomalies observed within the (1 — 0) and (2 — 1) transitions are due to the presence of absorption lines in the exciting solar radiation. It is thus proved that the Swan bands are excited by fluorescence, although their lower level $^3\pi_u$ is not the ground electronic state of C_2 .*

Резюме. — Спектры с высоким разрешением кометы Мркоса (1957d) показывают в общих чертах вращательную структуру полос Свана. Аномалии интенсивностей некоторых линий полос (1 — 0) и (2 — 1) объясняются присутствием линий поглощения в возбуждающем солнечном излучении. Таким образом показано, что полосы Свана C_2 возбуждены флуоресценцией, хотя их нижний уровень $^3\pi_u$ не является нормальным электронным уровнем C_2 .

Les spectres cométaires montrent généralement des bandes intenses de C_2 appartenant au système de Swan ; dans les comètes à continuum faible, la presque totalité de la luminosité de la tête dans la région λ 4 700 — λ 5 635 est due à cette émission de C_2 . La présente note concerne le mécanisme d'excitation correspondant.

On sait depuis longtemps que le profil rotationnel irrégulier des bandes du système violet de CN est dû au mécanisme d'excitation par fluorescence [15].

Le rayonnement solaire excitateur est parsemé de raies d'absorption de Fraunhofer dont l'effet (compte tenu du décalage dopplérien) se manifeste de façon très marquée dans la distribution rotationnelle d'intensité des bandes, particulièrement dans (0 — 0). Cet effet, découvert en 1941, a été étudié en grand détail récemment par J. L. GREENSTEIN [3] et par J. HUNAERTS [5] à partir des excellents spectrogrammes à haute résolution de la Comète 1957d (Mrkos) obtenus à l'Observatoire Palomar par J. L. GREENSTEIN.

(*) The spectrograms used in this investigation were obtained by Dr. J. L. GREENSTEIN at the Palomar Observatory.

Des études semblables dues à J. HUNAERTS [6] montrent que les distributions rotationnelles d'intensité des bandes de OH, NH et CH s'expliquent bien aussi par le mécanisme de fluorescence.

En ce qui concerne le système rouge de CN, nous ne possédons pas encore de spectrogramme cométaire à résolution suffisante pour révéler la structure rotationnelle. Néanmoins, en partant des intensités relatives de bandes de vibration, on est arrivé, de façon convaincante [16], à démontrer que le système rouge est aussi excité par fluorescence, contrairement à certaines suggestions antérieures.

Parmi les bandes cométaires dues à des molécules diatomiques, seul le système de Swan reste incomplètement interprété. Certes, on a essayé de reproduire synthétiquement les profils observés. Les températures vibrationnelle et rotationnelle des bandes de la molécule homonucléaire C_2 sont élevées, de l'ordre de 3 000° K, alors que celles des molécules hétéropolaires CN, CH, OH et NH sont basses. Jusqu'en 1957, on ne disposait d'aucun spectrogramme cométaire révélant la structure rotationnelle des bandes de Swan. On avait donc dû se contenter d'essayer d'expliquer *grosso modo* les enveloppes des bandes, en se basant sur l'hypothèse que les bandes étaient excitées par fluorescence. J. HUNAERTS [7] a prédit ainsi des maxima secondaires d'intensité qui sont en assez bon accord avec les observations. Ces calculs ont été poursuivis par A. McKELLAR et J. L. CLIMENHAGA [10]. Toutefois, il faut remarquer que des maxima secondaires semblables ont été observés en laboratoire, par R. HERMAN [4] et B. ROSEN [14] dans certains types de décharge. L'argumentation avancée jusqu'ici en faveur de l'hypothèse d'une excitation fluorescente n'est donc pas convaincante dans le cas de C_2 .

La situation s'est modifiée grâce aux spectrogrammes de la comète 1957d (Mrkos) obtenus par J. L. GREENSTEIN, qui révèlent, au moins dans ses grands traits, la structure rotationnelle des bandes de Swan. On peut donc, à présent, appliquer à C_2 une procédure semblable à celle qui a été suivie pour CN, CH, OH et NH.

En même temps, l'intérêt du problème s'est considérablement accru, du fait que l'état inférieur $^3\pi_u$ du système de Swan n'est plus considéré comme l'état normal de C_2 ; d'après E. A. BALLIK et D. A. RAMSAY [1], l'état normal serait un singulet $^1\Sigma_g^+$, situé environ 610 cm^{-1} en dessous de $^3\pi_u$. Il faut remarquer que, jusqu'à présent, le système de Phillips de C_2 (dont le niveau inférieur est $^1\Sigma_g^+$) n'a pas encore été trouvé en émission cométaire.

Il est donc devenu plus important encore, de vérifier si la fluorescence est bien responsable des bandes de Swan ; dans ce cas, on aurait, en effet, affaire à une absorption de rayonnement solaire à partir d'un niveau électronique excité, alors que, pour CN, CH, OH et NH, le niveau électronique inférieur est l'état normal du radical.

Il faut citer ici l'intéressante expérience de G. W. ROBINSON et M. McCARTY,

Jr. [13] qui ont pu geler des molécules C_2 à basse température et ont observé les bandes de Swan en absorption pendant un temps très long. De ceci, on est tenté de déduire que si $^1\Sigma_g^+$ est le niveau normal de la molécule C_2 gazeuse, $^3\pi_u$ est, sans doute, le niveau normal de C_2 solide. L'état métastable $^3\pi_u$ a, d'ailleurs, une vie très longue, étant donné la probabilité très faible de la transition $^3\pi_u \rightarrow ^1\Sigma_g^+$.

Si on peut démontrer que les bandes cométaires de C_2 sont excitées par fluorescence, on doit admettre qu'il y a une densité considérable de molécules C_2 à l'état métastable $^3\pi_u$, densité comparable à celle des radicaux CN à l'état normal $^2\Sigma$. Pour interpréter l'abondance élevée de molécules C_2 à l'état excité $^3\pi_u$, on peut imaginer que C_2 est formé à l'état $^3\pi_u$ lors de la photodissociation d'une molécule parente C_2X ; C_2 subsisterait très longtemps sur ce niveau métastable. Ou bien on peut imaginer que C_2 à l'état $^3\pi_u$ est sublimé directement à partir de l'état solide. Cette seconde possibilité paraît moins satisfaisante que la première, car, d'après les travaux expérimentaux récents, les radicaux gelés constituent une fraction faible [17].

Pr. J. L. GREENSTEIN a bien voulu mettre ses spectrogrammes à notre disposition. L'un de nous (A. S.) a entrepris l'étude de la région $3\,880 < \lambda < 4\,737$, non mesurée par Dr. GREENSTEIN. Cette région violette a été mesurée; on publiera, plus tard, les longueurs d'onde des émissions cométaires, dues, presque exclusivement, à C_2 , C_3 , CH et CN. Dans la présente note, nous allons simplement prouver qualitativement que les irrégularités d'intensité dans les bandes de Swan du domaine que nous avons étudié peuvent être expliquées par la fluorescence, compte tenu des raies de Fraunhofer du rayonnement solaire.

Nous traitons ici seulement quelques exemples. Sûrement, il faudra, plus tard, effectuer l'étude détaillée complète des distributions rotationnelles d'intensité dans les diverses séquences de Swan.

Pour notre étude, nous avons dû commencer par obtenir, en laboratoire, à grande dispersion (2,45 Å/mm), les bandes de C_2 de la région qui nous intéresse, au moyen d'un arc au carbone. Nous avons ainsi une base de comparaison avec les spectres cométaires, en ce qui concerne les distributions rotationnelles d'intensité. En fait, il n'y a pas beaucoup de différences frappantes, dans la séquence $\Delta v = 1$, entre les distributions rotationnelles dans la comète et l'arc, sauf, bien entendu, des effets dus au « blending » au voisinage des têtes.

Dans le cas des bandes de Swan, la situation est très différente de ce qui se produit dans la bande (0 — 0) du CN pour laquelle la distribution rotationnelle d'intensité est très différente dans les comètes et l'arc [15], [3].

Pourquoi une éventuelle excitation fluorescente doit-elle nécessairement produire peu d'anomalies d'intensité dans la structure rotationnelle des bandes cométaires de C_2 ? Il y a deux raisons principales :

- 1) A une température vibrationnelle de l'ordre de 3 000 °K, les populations

des niveaux de vibration excités sont appréciables. Au contraire, pour CN, la température vibrationnelle étant très faible, presque tous les radicaux se trouvent au niveau $v'' = 0$.

Si nous tenons compte des probabilités de transition, nous constatons, par exemple, que le niveau $v' = 1$ de C_2 est peuplé, non seulement par absorption de rayonnement solaire dans la transition (1, 0), mais encore et, tout autant, dans (1, 1) et (1, 2). Afin d'illustrer la participation des diverses transitions de vibration à l'excitation d'un état supérieur déterminé, nous avons réuni au tableau I, les rapports des populations boltzmanniennes $\frac{N_{v''}}{N_0}$ et $\frac{N_{v''}}{N_1}$, ainsi que ces valeurs multipliées par les rapports des probabilités et par les rapports des densités du rayonnement solaire correspondant aux diverses transitions. Pour les probabilités, nous avons adopté les valeurs données par R. B. KING [9] et pour le rayonnement solaire, les densités publiées par M. NICOLET [11]. Le résultat qualitatif obtenu serait, d'ailleurs, le même si on adoptait les valeurs numériques données par d'autres auteurs. Pour qu'une population sur un niveau excité soit fortement diminuée par rapport aux niveaux voisins, il faut que plusieurs transitions excitatrices coïncident avec des raies de Fraunhofer.

TABLEAU I

IMPORTANCES RELATIVES DES PROCESSUS D'ABSORPTION

ÉMISSION DE 1 — 0		ÉMISSION DE 2 — 1	
POPULATION DES NIVEAUX DE VIBRATION DE L'ÉTAT INFÉRIEUR	IMPORTANCE RELATIVE DES ABSORPTIONS	POPULATION DES NIVEAUX DE VIBRATION DE L'ÉTAT INFÉRIEUR	IMPORTANCE RELATIVE DES ABSORPTIONS
$\frac{N_0''}{N_0} = 1.000$	$\frac{I_{1-0}}{I_{1-0}} = 1.00$	$\frac{N_0''}{N_1} = 2.163$	$\frac{I_{2-0}}{I_{2-1}} = 0.245$
$\frac{N_1''}{N_0} = 0.462$	$\frac{I_{1-1}}{I_{1-0}} = 0.758$	$\frac{N_1''}{N_1} = 1.000$	$\frac{I_{2-1}}{I_{2-1}} = 1.000$
$\frac{N_2''}{N_0} = 0.216$	$\frac{I_{1-2}}{I_{1-0}} = 0.338$	$\frac{N_2''}{N_1} = 0.468$	$\frac{I_{2-2}}{I_{2-1}} = 0.256$
$\frac{N_3''}{N_0} = 0.102$	$\frac{I_{1-3}}{I_{1-0}} = 0.046$	$\frac{N_3''}{N_1} = 0.221$	$\frac{I_{2-3}}{I_{2-1}} = 0.255$
$\frac{N_4''}{N_0} = 0.049$	$\frac{I_{1-4}}{I_{1-0}} = 0.005$	$\frac{N_4''}{N_1} = 0.106$	$\frac{I_{2-4}}{I_{2-1}} = 0.051$

2) Dans la région spectrale des bandes de Swan, il y a moins de fortes raies solaires d'absorption que, par exemple, aux environs de (0 — 0) de CN. En particulier, les raies de C_2 ne coïncident avec aucune des raies très intenses de Fraunhofer comme H_β ou le triplet 5 167 ; 5 172 ; 5 184 de Mg.

Le tableau I montre que la situation peut différer pour les différentes bandes. Si on examine une raie cométaire de (1 — 0), elle ne sera réduite appréciablement par rapport aux raies voisines, que si les transitions excitatrices au sein de (1 — 0), (1 — 1) et (1 — 2) coïncident, toutes trois, avec des raies de Fraunhofer. Au contraire, pour (2 — 1), l'excitation dans (2 — 1) joue un rôle nettement plus grand que l'excitation dans (2 — 2) ou (2 — 3).

Les enregistrements microphotométriques des spectres de laboratoire et de la comète Mrkos révèlent des différences de distribution d'intensité rotationnelle, qui, sans être aussi spectaculaires que pour CN (0 — 0), n'en sont pas moins assez nettes. Pour l'étude de ces anomalies, nous avons procédé comme suit.

Nous avons mesuré les raies cométaires de la région λ 4 600 — λ 4 737 ; l'erreur moyenne de nos longueurs d'onde moyennes est ± 0.06 Å. Ces longueurs d'onde corrigées du décalage dopplérien ont été classées rotationnellement à partir des tables dressées par J. HUNAERTS [7]. Dans les cas où la raie cométaire paraissait anormalement faible, en comparaison avec les spectres de laboratoire, nous avons examiné les différentes transitions d'excitation. Quatre exemples sont donnés au tableau II qui indique :

- en tête, la λ cométaire et les λ de laboratoire, avec leur attribution ;
- en colonnes 1, 2 et 3, les transitions excitatrices peuplant le niveau excité ;
- en colonne 4, la longueur d'onde excitatrice corrigée de l'effet dopplérien (vitesse radiale de la comète par rapport au soleil) ;
- en colonne 5, le pourcentage d'intensité du rayonnement solaire par rapport au continuum en λ_{exc} (d'après l'Atlas d'Utrecht) ;
- en colonne 6, les pourcentages d'intensité du rayonnement solaire en $\lambda_{exc} \pm 0.2$ Å.

Les λ_{exc} de la colonne 4 sont tirées de la table de J. HUNAERTS ou bien calculées d'après les relations de A. BUDÓ [2]. La colonne 6 est justifiée par le fait que certaines λ calculées ne sont pas connues avec une précision supérieure à ± 0.2 Å, ou même plus encore [8].

On constate que, pour λ 4 701.92, de nombreuses transitions excitatrices sont réduites de façon appréciable par des raies de Fraunhofer. Il en est de même pour λ 4 702.97 et, à un moindre degré, pour les deux autres.

Nous avons ensuite examiné des raies cométaires qui paraissaient anormalement intenses par rapport à leurs voisines. Trois exemples sont donnés au tableau III. Dans les trois cas, les transitions excitatrices ne sont pratiquement pas affaiblies par des raies de Fraunhofer, alors qu'un affaiblissement existe pour les voisines.

TABLEAU II

RAIES COMÉTAIRES AFFAIBLIES

1)					
$\lambda_{\text{com}} = 4\,701.92 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,701.96\, \text{C}_2(2-1)\, \text{P}_3(41) + \text{C}_2(1-0)\, \text{R}_3(21)$ $4\,701.86\, \text{C}_2(2-1)\, \text{P}_1(43)\, \text{P}_2(42)$					
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$I_{\odot}$	$I_{\odot}(\pm 0.2\, \text{A})$
$\text{C}_2(2-1)$	$\text{P}_1(43), \text{P}_2(42)$	4 701.86	4 701.32	67	96 ; 57
	$\text{P}_3(41)$	4 701.96	4 701.42	67	96 ; 57
	$\text{R}_1(41), \text{R}_2(40), \text{R}_3(39)$	4 623.02	4 622.48	68	94 ; 68
$\text{C}_2(2-2)$	$\text{P}_1(43), \text{P}_2(42)$	5 075.33	5 074.74	30	30
	$\text{P}_3(41)$	5 075.48	5 074.89	85	95 ; 30
	$\text{R}_1(41), \text{R}_2(40), \text{R}_3(39)$	5 009.20	5 008.60	87	100 ; 87
$\text{C}_2(2-3)$	$\text{P}_1(43), \text{P}_2(42)$	5 505.51	5 504.87	100	100 ; 100
	$\text{P}_3(41)$	5 505.78	5 505.14	100	100 ; 100
	$\text{R}_1(41), \text{R}_2(40), \text{R}_3(39)$	5 429.25	5 428.61	97	99 ; 94
$\text{C}_2(2-0)$	$\text{P}_1(43), \text{P}_2(42)$	4 375.24	4 374.74	80	90 ; 53
	$\text{P}_3(41)$	4 375.34	4 374.84	55	90 ; 32
	$\text{R}_1(41), \text{R}_2(40), \text{R}_3(39)$	4 324.94	4 324.44	50	85 ; 50
$\text{C}_2(2-4)$	$\text{P}_1(43), \text{P}_2(42)$	6 008.63	6 007.94	56	97 ; 56
	$\text{P}_3(41)$	6 008.77	6 008.08	90	99 ; 56
	$\text{R}_1(41), \text{R}_2(40), \text{R}_3(39)$	5 918.08	5 917.39	94	100 ; 94
$\text{C}_2(1-0)$	$\text{R}_3(21)$	4 701.96	4 701.42	67	96 ; 57
	$\text{P}_3(23)$	4 735.84	4 735.29	96	97 ; 95
$\text{C}_2(1-1)$	$\text{R}_3(21)$	5 087.08	5 086.49	99	99 ; 95
	$\text{P}_3(23)$	5 126.24	5 125.64	93	94 ; 90
$\text{C}_2(1-2)$	$\text{R}_3(21)$	5 533.77	5 533.13	98	100 ; 78
	$\text{P}_3(23)$	5 579.69	5 579.04	98	98 ; 61
$\text{C}_2(1-3)$	$\text{R}_3(21)$	6 057.83	6 057.13	99	100 ; 99
	$\text{P}_3(23)$	6 112.24	6 111.54	100	100 ; 100
2)					
$\lambda_{\text{com}} = 4\,702.97 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,703.02\, \text{C}_2(2-1)\, \text{P}_1(42), \text{P}_2(41)$					
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$I_{\odot}$	$I_{\odot}(\pm 0.2\, \text{A})$
$2-1$	$\text{P}_1(42), \text{P}_2(41)$	4 703.02	4 702.48	95	95 ; 80
	$\text{R}_1(40), \text{R}_2(39)$	4 646.80	4 646.24	35	95 ; 35
$2-2$	$\text{P}_1(42), \text{P}_2(41)$	5 076.91	5 076.32	44	95 ; 44
	$\text{R}_1(40), \text{R}_2(39)$	5 012.35	5 011.76	97	98 ; 80
$2-3$	$\text{P}_1(42), \text{P}_2(41)$	5 508.46	5 507.82	100	100 ; 99
	$\text{R}_1(40), \text{R}_2(39)$	5 433.22	5 432.59	68	99 ; 68
$2-0$	$\text{P}_1(42), \text{P}_2(41)$	4 375.85	4 375.35	70	85 ; 62
	$\text{R}_1(40), \text{R}_2(39)$	4 326.67	4 326.17	63	72 ; 30
$2-4$	$\text{P}_1(42), \text{P}_2(41)$	6 011.84	6 011.14	100	100 ; 100
	$\text{R}_1(40), \text{R}_2(39)$	5 923.21	5 922.52	83	99 ; 83

TABLEAU II (*suite*)

3) $\lambda_{\text{com}} = 4\,703.77 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,703.75\text{ C}_2(1-0)\text{ R}_3(20)$					
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$I_{\odot}$	$I_{\odot}(\pm 0.2\text{ A})$
—	—	—	—	—	—
1 — 0	R ₃ (20)	4 703.75	4 703.20	65	97 ; 18
	P ₃ (22)	4 736.14	4 735.59	95	97 ; 44
1 — 1	R ₃ (20)	5 089.30	5 088.71	98	99 ; 75
	P ₃ (22)	5 126.87	5 126.28	70	97 ; 48
1 — 2	R ₃ (20)	5 536.69	5 536.05	99	100 ; 97
	P ₃ (22)	5 580.66	5 580.01	99	100 ; 99
1 — 3	R ₃ (20)	6 061.52	6 060.82	94	100 ; 67
	P ₃ (22)	6 113.51	6 112.81	98	99 ; 93
4) $\lambda_{\text{com}} = 4\,703.92 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,703.87\text{ C}_2(2-1)\text{ P}_1(41)\text{ P}_2(40) + 4\,704.02\text{ C}_2(2-1)\text{ P}_3(39)$					
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$I_{\odot}$	$I_{\odot}(\pm 0.2\text{ A})$
—	—	—	—	—	—
2 — 1	P ₁ (41), P ₂ (40)	4 703.87	4 703.33	83	88 ; 18
	P ₃ (39)	4 704.02	4 703.48	87	88 ; 18
2 — 1	R ₁ (39), R ₂ (38), R ₃ (37)	4 649.15	4 648.61	42	97 ; 42
2 — 2	P ₁ (41), P ₂ (40), P ₃ (39)	5 078.47	5 077.88	100	100 ; 98
	R ₁ (39), R ₂ (38), R ₃ (37)	5 015.27	5 014.68	94	94 ; 32
2 — 3	P ₁ (41), P ₂ (40)	5 509.97	5 509.33	100	100 ; 96
	P ₃ (39)	5 510.11	5 509.47	99	100 ; 94
	R ₁ (39), R ₂ (38), R ₃ (37)	5 437.18	5 436.64	63	97 ; 63
2 — 0	P ₁ (41), P ₂ (40), P ₃ (39)	4 376.47	4 375.97	20	80 ; 20
	R ₁ (39), R ₂ (38), R ₃ (37)	4 328.46	4 327.96	46	88 ; 46
2 — 4	P ₁ (41), P ₂ (40), P ₃ (39)	6 015.00	6 014.30	99	100 ; 98
	R ₁ (39), R ₂ (38)	5 928.34	5 927.65	100	100 ; 68
	R ₃ (37)	5 928.42	5 927.73	94	100 ; 68

Les exemples donnés aux tableaux II et III indiquent, de façon assez convaincante, que les bandes cométaires de Swan résultent d'une excitation fluorescente, par absorption du rayonnement solaire. Il serait intéressant d'étendre l'examen à des bandes autres que (1 — 0) et (2 — 1) et, surtout, de procéder au calcul quantitatif des profils. Il est, à présent, prouvé que tous les spectres de molécules diatomiques observés dans les têtes de comètes sont émis à la suite d'une excitation fluorescente. Il serait souhaitable d'examiner, du même point de vue, les émissions cométaires de NH₂ et C₃. Il paraît possible de traiter le cas de NH₂ dont le spectre d'absorption a été bien analysé par D. A. RAMSAY ; quant au spectre de C₃, son analyse de laboratoire semble encore insuffisante.

TABLEAU III.
RAIES COMÉTAIRES INTENSES

5)	$\lambda_{\text{com}} = 4\,719.83 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,719.83\, \text{C}_2(1-0)\, \text{P}_3(43)$ $4\,719.73\, \text{C}_2(1-0)\, \text{P}_1(45), \text{P}_2(44)$				
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$\text{I}_{\odot}$	$\text{I}_{\odot}(\pm 0.1\, \text{A})$
—	—	—	—	—	—
1 — 0	$\text{P}_3(43)$	4 719.83	4 719.28	98	100 ; 98
	$\text{P}_1(45), \text{P}_2(44)$	4 719.73	4 719.18	96	100 ; 96
	$\text{R}_3(41)$	4 659.08	4 658.54	96	96 ; 80
	$\text{R}_1(43), \text{R}_2(42)$	4 658.98	4 658.44	96	96 ; 80
1 — 1	$\text{P}_3(43)$	5 101.63	5 101.04	93	94 ; 88
	$\text{P}_1(45), \text{P}_2(44)$	5 101.53	5 100.94	90	95 ; 87
	$\text{R}_3(41)$	5 031.26	5 030.67	90	99 ; 80
	$\text{R}_1(43), \text{R}_2(42)$	5 031.13	5 030.54	100	100 ; 80
1 — 2	$\text{P}_3(43)$	5 543.40	5 542.76	100	100 ; 98
	$\text{P}_1(45), \text{P}_2(44)$	5 543.25	5 542.61	100	100 ; 100
	$\text{R}_3(41)$	5 461.27	5 460.63	98	98 ; 92
	$\text{R}_1(43), \text{R}_2(42)$	5 461.11	5 460.47	94	98 ; 92
1 — 3	$\text{P}_3(43), \text{P}_1(45), \text{P}_2(44)$	6 060.48	6 059.78	100	100 ; 100
	$\text{R}_3(41), \text{R}_1(43), \text{R}_2(42)$	5 963.08	5 962.39	97	100 ; 85
6)	$\lambda_{\text{nom}} = 4\,730.01 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,730.01\, \text{C}_2(1-0)\, \text{P}_3(33)$				
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$\text{I}_{\odot}$	$\text{I}_{\odot}(\pm 0.2\, \text{A})$
—	—	—	—	—	—
1 — 0	$\text{P}_3(33)$	4 730.01	4 729.46	94	94 ; 64
	$\text{R}_3(31)$	4 682.61	4 682.07	80	88 ; 38
1 — 1	$\text{P}_3(33)$	5 116.88	5 116.28	98	98 ; 95
	$\text{R}_3(31)$	5 064.40	5 063.81	100	100 ; 100
1 — 2	$\text{P}_3(33)$	5 565.61	5 564.97	100	100 ; 100
	$\text{R}_3(31)$	5 500.97	5 500.33	100	100 ; 100
1 — 3	$\text{P}_3(33)$	6 091.92	6 091.22	89	100 ; 88
	$\text{R}_3(31)$	6 015.40	6 014.70	99	100 ; 93
7)	$\lambda_{\text{com}} = 4\,711.62 - \lambda_{\text{lab}} = 4\,711.64\, \text{C}_2(1-0)\, \text{P}_1(51), \text{P}_2(50), \text{R}_2(16)$				
VIBRATION	ROTATION	λ	λ_{exc}	$\text{I}_{\odot}$	$\text{I}_{\odot}(\pm 0.2\, \text{A})$
—	—	—	—	—	—
1 — 0	$\text{P}_1(51), \text{P}_2(50)$	4 711.65	4 711.11	100	100 ; 98
	$\text{R}_2(16)$	4 711.64	4 711.10	100	100 ; 98
	$\text{R}_1(49), \text{R}_2(48)$	4 643.04	4 642.50	97	97 ; 91
	$\text{P}_2(18)$	4 736.96	4 736.41	95	95 ; 84
1 — 1	$\text{P}_1(51), \text{P}_2(50)$	5 089.85	5 089.26	93	99 ; 92
	$\text{P}_2(18)$	5 128.72	5 128.13	85	95 ; 85
	$\text{R}_1(49), \text{R}_2(48)$	5 010.37	5 009.78	96	96 ; 66
	$\text{R}_2(16)$	5 099.38	5 098.79	80	92 ; 30
1 — 2	$\text{P}_1(51), \text{P}_2(50)$	5 526.16	5 525.52	52	99 ; 52
	$\text{R}_2(16)$	5 549.59	5 548.95	100	100 ; 100
	$\text{R}_1(49), \text{R}_2(48)$	5 433.90	5 433.25	98	98 ; 85
	$\text{P}_2(18)$	5 583.95	5 583.31	100	100 ; 100
1 — 3	$\text{P}_1(51), \text{P}_2(50)$	6 000.25	5 999.56	100	100 ; 94
	$\text{R}_2(16)$	6 078.24	6 077.54	100	100 ; 100
	$\text{R}_1(49), \text{R}_2(48)$	5 927.31	5 926.62	100	100 ; 100
	$\text{P}_2(18)$	6 119.09	6 118.39	100	100 ; 98

Nous exprimons notre vive gratitude à M. le Professeur J. L. GREENSTEIN qui a bien voulu nous prêter ses magnifiques spectres à haute résolution de la Comète 1957*d* (Mrkos). Nous remercions aussi Dr. J. HUNAERTS pour les utiles renseignements qu'il nous a généreusement fournis.

Manuscrit reçu le 22 février 1960.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] E. A. BALLIK and D. A. RAMSAY, *J. Chemical Physics*, **31**, 1959, 1128.
- [2] A. BUDÓ, *Zs. f. Physik*, **98**, 1935, 437.
- [3] J. L. GREENSTEIN, *Ap. J.*, **128**, 1958, 106.
- [4] R. HERMAN, *Journal de Physique et Radium*, **8**, 1947, 7 S.
- [5] J. HUNAERTS, *Ann. Astr.*, **22**, 1959, 790.
- [6] J. HUNAERTS, *Mém. Soc. R. Sc. Liège*, **13**, 1953, 59 (OH) ; *ibid.*, **18**, 1957, 82 (NH) ; *Ann. Obs. Roy. Belg.*, **6**, 1954, 97 (CH).
- [7] J. HUNAERTS, *Ann. Obs. Uccle*, série 3, **5**, n° 1, 1950.
- [8] J. HUNAERTS, Communication privée, 1959.
- [9] R. B. KING, *Ap. J.*, **103**, 1948, 429.
- [10] A. MCKELLAR and J. L. CLIMENHAGA, *Mém. Soc. R. Sc. Liège*, **13**, 1953, 116.
- [11] M. NICOLET, *Ann. Astr.*, **14**, 1951, 249.
- [12] K. DRESSLER and D. A. RAMSAY, *Philosophical Transactions of the R. S.*, London, Series A, **251**, 1959, 553.
- [13] G. W. ROBINSON and M. MCCARTY, Jr., Communication privée, 1959.
- [14] B. ROSEN, Communication privée.
- [15] P. SWINGS, *Lick Obs. Bull.*, **19**, 1941, 131.
- [16] P. SWINGS et J. DUFAY, *Ann. Astr.*, **21**, 1958, 260.
- [17] H. C. UREY, Communication privée, 1960.