

LES SPECTRES DES NOVAE, NOVOÏDES ET SUPERNOVAE DANS LE DOMAINE DES COURTES LONGUEURS D'ONDE ($\lambda < 3000 \text{ \AA}$)⁽¹⁾ (14)

par P. SWINGS

Institut d'Astrophysique, Liège.

ABSTRACT. — *The author reviews the new possibilities of study of novae (novoids) and supernovae which will result from orbital telescope observations in the regions $\lambda 912$ — $\lambda 3000$ and $\lambda < 20 \text{ \AA}$. The possibilities concern in particular relative abundances, coronal effects, excitation mechanisms, temperature determinations and ionisations.*

RÉSUMÉ. — *L'auteur passe en revue les nouvelles possibilités d'étude des novae, novoïdes et supernovae qui résulteront des observations effectuées avec des télescopes orbitants, dans les domaines $\lambda 912$ — $\lambda 3000$ et $\lambda < 20 \text{ \AA}$. Ces possibilités concernent, en particulier, les abondances relatives, les effets coronaux, les mécanismes d'excitation, les déterminations de température et les ionisations.*

Резюме. — Автор производит обзор новых возможностей изучения новых, новоид и сверхновых, которые будут вытекать из наблюдений совершенных с орбитирующими телескопами в областях $\lambda 912$ — $\lambda 3000$ и $\lambda < 20 \text{ \AA}$. Эти возможности относятся, в частности, к относительным обилиям, корональным эффектам, механизмам возбуждения, определениям температур и понижениям.

D'ici peu d'années, des télescopes orbitants nous fourniront des informations sur les domaines ultraviolet lointain, X et γ des astres. Certains de ces télescopes, commandés du sol, seront certainement braqués vers les astres anormaux comme les novae et supernovae lorsque l'un de ceux-ci apparaîtra dans des conditions favorables. Si les chances d'obtention de spectres de supernovae ne sont, peut-être, pas très grandes au cours de la vie limitée d'un OAO, il est, au contraire, fort probable que des novae seront observables.

L'absorption continue par les atomes interstellaires d'H, He et He⁺ ne permettra pas d'observer les spectres stellaires dans la région de $\lambda 912$ (limite de Lyman) à 20 ou 30 \AA ; mais il sera possible d'observer la région $\lambda 912$ — $\lambda 3000$, de même que le domaine X et γ .

Il n'est pas facile de prévoir quantitativement les spectres X et γ des novae et supernovae. En tout cas, il est certain que certains de ces astres seront des sources intenses de raies discrètes et de continua de très courte λ . En particulier, le Bremsstrahlung magnétique (rayonnement synchrotron) d'une source radio intense, comme la post supernova-nébuleuse du Crabe (dont le

continuum présente une forte polarisation) devrait se révéler dans les domaines γ et X. D'autres mécanismes d'émission continue et discrète de rayons γ et X existent. On sait que lors de l'apparition d'un flare solaire, l'énergie émise dans la région de 1 à 10 \AA est parfois amplifiée dans un rapport de 100. On peut s'attendre à des phénomènes X et γ spectaculaires dans les novae et supernovae et on en tirera des renseignements de grande importance sur les phénomènes physiques produisant et accompagnant les éruptions. Bien entendu, les techniques d'observation X et γ diffèrent entièrement des techniques optiques habituelles.

C'est cependant dans le domaine ultraviolet que les acquisitions seront les plus riches et les plus rapides. En fait, on peut se placer à deux points de vue. D'une part, dans la région $\lambda 912$ — $\lambda 3000 \text{ \AA}$, nous pourrions faire des observations directes. D'autre part, le domaine inobservable $\lambda 30$ — $\lambda 912$ produit des effets observables, soit dans la région $\lambda > 3000$ déjà accessible, soit dans la région $\lambda 912$ — $\lambda 3000$ qui le sera bientôt. Nous allons examiner quelques exemples des deux cas.

Le domaine $\lambda 912$ — $\lambda 3000$ nous permet d'observer les raies de résonance de nombreux atomes (C, N, O, Mg, Al, Si, Fe, S, A,...

⁽¹⁾ Communication présentée au Colloque International sur les Novae, Novoïdes et Supernovae tenu à l'Observatoire de Haute-Provence du 3 au 8 septembre 1963.

à divers étages d'ionisation) et molécules (par exemple H_2) ⁽¹⁾.

Nous pourrions donc, à diverses phases de l'évolution des novae ou astres analogues, faire des déterminations d'abondances (donc d'ionisations, dissociations, magnitudes absolues, etc...) sans introduire les complications résultant de l'absence d'équilibre thermodynamique et de l'incertitude sur la température. En fait, on a souvent pensé que les novae ont des abondances anormales. [Fe VII] était anormalement intense dans N Pic 1925, [Ne III] dans N Per et N Ser (mais faible dans v 603 Aql); [Fe III] apparaissait fortement dans N Ser et DO Aql 1925. Les absorptions de O I et C I étaient anormalement fortes dans N Her à certaines phases de son évolution; d'ailleurs, à son stade postnova N Her était encore riche en C II-III-IV, N II-III. Au contraire, la postnova N Ser riche en N III ne montre guère de carbone. P Cyg est plus proche des étoiles WN que des WC, de même que BD + 11°4673 (AG Peg) et CD — 27°11944, deux autres astres du type P Cyg. Mais nos vues sur les abondances relatives seront bien plus claires et plus sûres lorsque nous pourrions observer des transitions permises dont le niveau électronique inférieur est l'état normal.

En fait, on peut facilement imaginer les contributions qu'apportera l'observation du domaine λ 912 — λ 3000 à chaque stade de l'évolution d'une nova. Au voisinage du maximum ⁽²⁾, le

spectre A ou F, qui consiste essentiellement en raies d'absorption dans le domaine ordinaire, manifestera, sans doute, une « émission coronale » dans le domaine ultraviolet lointain. Au début du déclin, le spectre typique « principal » manifestant, dans le domaine ordinaire, outre le système principal d'absorption, des émissions larges de H et de métaux (Na, Ca II, Fe II, ...), puis de [OI] et [NII], révélera sûrement des émissions et absorptions complexes des éléments légers (C, N, O) et de métaux divers, plus des effets coronaux. Au fur et à mesure de l'évolution via le spectre diffus, le spectre Orion, etc..., jusqu'au stade nébulaire, les effets des photosphères, chromosphères et couronnes se révéleront de façon bien mieux séparée dans la région λ 912 — λ 3000 que dans la région $\lambda > 3000$. Au stade nébulaire, les raies interdites suivantes peuvent être trouvées :

[O II] 2471	[Ne III] 1815	[A IV] 2854-2869
[O III] 2322	[Ne IV] 2425-1602	[A V] 2692-2787
	[Ne V] 2976-1590	

Ces raies interdites permettent de compléter les divers types de transition des ions d'oxygène, néon et argon. On sait que les postnovae ont un continuum ultraviolet intense, indiquant une haute température; le domaine $\lambda < 3000$ sera donc riche en rayonnement (en particulier, les raies interstellaires des éléments légers y apparaîtront clairement); les nombreuses énigmes soulevées

⁽¹⁾ Exemples de quelques raies caractéristiques de résonance (λ approximatives)

C II 1335 ; 1037 ; 904 ; 2325	C III 977 ; 1909	N II 1085 ; 916 ; 2141	C IV 1549	Mg I 2852	Mg II 2800
N III 991 ; 1750	N IV 1488	O III 1663	N V 1240	Al II 1671 ; 2669	Al III 1860
O IV 1407	O V 1216		O VI 1034	Si III 1206 ; 1892	Si IV 1400
N I 1200 ; 1134 ; 964					
O I 1356 ; 1304 ; 1040 ; 1027 ; 990					
F I 955					
Al I 2656 ; 2572 ; 2370					
Si I 2520 ; 2210					
Si II 1810 ; 1530 ; 1306 ; 1263 ; 1194 ; 2340					
S I 1907 ; 1820 ; 1480 ; 1430 ; 1390 ; 1320 ; 1300					
S II 1256 ; 910					
S III 1200 ; 1020					
S IV 1070 ; 1400					
S V 1199					
S VI 938					
A I 1067 ; 1048					
A II 925					
H_2 1108 ; 1008					

(raies interstellaires possibles; dans les novae, de nombreuses bandes de H_2 pourraient apparaître).

Autres raies caractéristiques (non résonance) :

C III 2297
N IV 1719
O V 1371

⁽²⁾ Le maximum dans l'ultraviolet ne coïncidera pas nécessairement avec le maximum dans le domaine ordinaire. Dans les couches en expansion, la surface photosphérique effective est une pure notion optique: c'est une zone où l'opacité est suffisamment grande pour arrêter tout rayonnement venant de l'intérieur. La luminosité du spectre continu, à une λ déterminée, est donc essentiellement déterminée par le diamètre et

la température de la photosphère non statique correspondant à cette λ . Par exemple, le maximum de lumière se présente quand l'effet combiné de ces deux facteurs est maximum. Il n'y a aucune raison de penser que la luminosité de la nova dans l'ultraviolet est due à un rayonnement photosphérique; on sait bien que, pour le soleil, le rayonnement de courte λ est chromosphérique et coronal!

par les observations de postnovae seront, sans doute, en grande partie résolues.

A des phases particulièrement intéressantes, comme le stade à éruption N III, les périodes à raies coronales et les périodes à absorptions moléculaires, le domaine λ 912 — λ 3000 contribuera de façon particulièrement efficace à nos connaissances des novae. L'excitation de la forte émission occasionnelle de N III est-elle due à un mécanisme de fluorescence ⁽¹⁾ ? Les raies coronales interdites sont-elles accompagnées, dans l'ultraviolet, par les raies permises des métaux d'ionisation intermédiaire ? Sûrement, on pourra mieux comprendre les intensités relatives des raies interdites et permises de nombreux atomes qui semblent à présent, manifester des anomalies bizarres. Au stade où [Fe XIV] ou [Fe X] est intense, on peut s'attendre à trouver, dans le domaine X, une émission discrète permise intense des atomes de fer fortement ionisés. Lorsque, dans une nova (surtout une récurrente), la raie [Fe X] apparaît intensément sur le spectre continu, il est certain que le rapport d'intensité [Fe X]/ continuum est beaucoup plus grand que dans le cas du soleil et que, en comparaison de la couronne solaire, une masse beaucoup plus considérable de gaz est à très haute température. On peut donc s'attendre à trouver un ultraviolet riche. Enfin, lorsque C₂, CH ou CN apparaît, il serait utile de savoir si la molécule H₂ est abondante.

Dans le cas d'objets novoïdes probablement doubles, comme T CBr ou RS Oph, la composante de faible température ne manifestera plus de continuum dans le domaine $\lambda < 3000$, mais il est bien possible qu'une couronne apparaisse ; il sera, sans doute, possible de séparer les couronnes de la composante nova et de la composante froide.

Les étoiles Of et les étoiles Wolf-Rayet, de température élevée et manifestant des raies d'émission, nous révéleront sûrement, dans l'ultraviolet lointain, des informations fort précieuses. Les mécanismes d'excitation des raies brillantes, les abondances relatives et les magnitudes absolues deviendront beaucoup plus sûrs. Tout comme dans le cas des novae, des effets de dilution caractérisant des états métastables se manifesteront. Peut-être trouvera-t-on ainsi une explication satisfaisante des phénomènes des étoiles symbiotiques ?

L'observation de l'ultraviolet λ 912 — λ 3000 contribuera à l'interprétation des effets Zanstra quoique, en fait, ce soient les radiations plus courtes que λ 912 qui, dans la plupart des cas, jouent le

⁽¹⁾ Les observations $\lambda < 3000$ complèteraient le cycle de fluorescence.

rôle essentiel dans la photo-ionisation. Il est certain que l'hypothèse habituellement émise d'un rayonnement corps noir n'est qu'une grossière approximation. Il peut y avoir compétition pour les quanta ultraviolets (du continuum modifié par les raies discrètes d'absorption ou d'émission), dans le cas d'atomes ayant des potentiels d'ionisation voisins. Par exemple, les potentiels d'ionisation de He⁺ et O⁺⁺ étant très semblables, l'ionisation de O⁺⁺ est ralentie (comme on l'observe dans NGC 6543), alors que les ionisations de C⁺⁺ et N⁺⁺ peuvent être favorisées par les raies d'émission de He II s'ajoutant au continuum. Le rayonnement des couches sous-jacentes causant l'ionisation dans les couches extérieures présente des raies d'émission ou d'absorption qui modifient complètement les ionisations par rapport au corps noir. En fait, le continuum ultraviolet lointain — s'il existe ! — ressemble-t-il au corps noir ? Bien entendu, les effets de stratification compliqueront encore les phénomènes d'ionisation.

Si, au sein d'une couche inférieure, une forte absorption de He II se produit pour $\lambda < 228$, il en résultera une population anormalement élevée dans les étages d'ionisation C⁺⁺⁺, N⁺⁺⁺, O⁺⁺, Ne⁺⁺ et A⁺⁺⁺ des couches supérieures. De même un fort continuum de Lyman donne un accroissement de population de Si⁺, Fe⁺, N et A ; quant au continuum de He I, il affectera l'ionisation de C⁺, N⁺, O⁺, A⁺, et Si⁺⁺.

Dès à présent on peut expliquer ainsi certaines intensités anormalement élevées, comme celles de C III, N III, [O III], [Ne III] et [Fe II] relativement aux autres émissions dans RS Ophiuchi ; la présence simultanée de [Fe II] et [Fe VII] dans les symbiotiques, sans les étages intermédiaires d'ionisation (en tenant compte, bien entendu, des probabilités de transition et des effets de densité). De même, on peut comprendre pourquoi, dans les novae, l'émission Ca II est faible, relativement à celle de Fe II. Mais tous ces phénomènes deviendront beaucoup plus clairs lorsque nous posséderons les informations du domaine λ 912 — λ 3000.

C'est donc avec impatience que nous attendrons les informations spectroscopiques que nous fourniront les télescopes orbitants au sujet des novae. En fait, même avant que nous n'obtenions des spectres à résolution relativement élevée, il sera déjà extrêmement intéressant de recueillir, grâce à un instrument satellisé, comme le télescope, des informations sur la couleur et la courbe de lumière des novae dans l'ultraviolet lointain.

Manuscrit reçu le 5 mai 1964.

Discussion

Miss UNDERHILL. — Since the ordinary spectral range shows many strong absorption lines of FeII, TiII, etc..., would one not expect the λ 2000 region to be greatly filled with the lines ? Here there is a high density of such lines and I would fear that they would obliterate most other lines. Do you know of any features in the ultraviolet spectral range that would help us to detect magnetic fields in novae ? Since it appears that high speed electrons may be important for the production of coronal lines in a nova spectrum, one wonders whether there is also a magnetic field as in the sun.

M. SWINGS. — We know that there is a magnetic field in the case of the Crab Nebula. The effects, giving rise to the solar corona — whatever they might be — may affect also a nova.

M. PECKER. — Il faut s'attendre à une absorption UV due à la matière interstellaire : raies de Lyman, H_2 (?) et petites particules (diffusion par processus de Mie). Ces phénomènes risquent d'altérer les interprétations des spectres de novae que l'on observera.

M. SWINGS. — Certes, nous serons gênés dans l'ultraviolet par l'absorption interstellaire discrète

(notamment par les raies de Lyman et par deux raies de la molécule H_2). En ce qui concerne la décoloration (pas nécessairement un « rougisement » ; on pourrait avoir un « bleuissement ») par les poussières interstellaires, il est impossible de prévoir quoi que ce soit, étant donné que nous ne connaissons pas les indices de réfraction (réels ou imaginaires) des particules interstellaires dans l'ultraviolet lointain ; il est donc impossible d'appliquer la théorie de Mie.

M. ZWICKY. — I would like to add to Pr SWINGS' paper that we should not neglect the possibility of spectral surveys from balloons and rockets in the range of wave lengths from 10μ to 1000μ . Important problems, such as the existence of H_2 molecules in stars, planets, interstellar and intergalactic space can be tackled in this way.

M. SWINGS. — Certainement, on devrait aussi étendre le domaine d'observation vers les grandes longueurs d'onde ! Il serait déjà fort intéressant d'avoir des courbes de lumière de novae dans différents domaines infrarouges. Des spectres infrarouges fourniraient des renseignements précieux, par exemple au moment de l'apparition des bandes moléculaires. Avant d'utiliser les satellites, on devrait, peut-être, faire des observations en ballon dans les régions spectrales accessibles à 30 kilomètres.