Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft

Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft

Band: 63 (2005)

Heft: 328

Artikel: L'univers, dis-moi ce que c'est? : Épisode 23 : les poussières interstellaires, 2e partie

Autor: Barblan, Fabio

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897757

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 30.11.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

L'Univers, dis-moi ce que c'est?

Episode 23: Les poussières interstellaires, 2e partie

FABIO BARBLAN

Formation et destructions des grains de poussière

La matière interstellaire est en constante modification. Dans les régions de formation des étoiles, elle diminue puisqu'elle constitue la matière première dont elles sont faites. Mais ces mêmes étoiles, qui absorbent la matière interstellaire pour se former, vont une fois adultes la rendre à l'espace sidéral. Les mécanismes de cette restitution de matière à l'espace sont d'un côté le vent stellaire, pendant toute la vie de l'étoile, et certaines phases de fin de vie qui se manifestent dans les nébuleuses planétaires et les restes de supernova pour ne citer que ces deux cas.

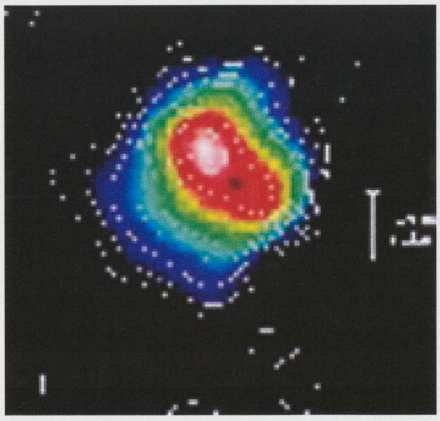
Le gaz éjecté va progressivement se refroidir en «s'éloignant» de l'étoile et perdre quelques centaines voir quelques milliers de degrés. Le processus de formation des poussières interstellaires est donc simplement la condensation. Lorsque le gaz atteint une certaine température, les substances qui ne peuvent plus se trouver à l'état de gaz, se solidifient. Prédire quels sont les solides qui vont se former et à quel moment n'est pas une chose facile. L'état dynamique du vent stellaire rend les processus chimiques extrêmement complexes et difficiles à décrire. Il est quand même possible d'affirmer qu'autour des 1800°K il doit se former des grains de graphite et autour des 1500°K se forment des oxydes et silicates de titanium, aluminium et calcium.

Mais le problème fondamental, qui est encore loin d'être totalement compris, reste la «nucléarisation» c'est à dire la processus qui forme le tout premier «noyau» autour du-quel la condensation peut se faire[1]. Ce mécanisme est encore mal compris par rapport aux conditions physico-chimiques qui existent dans ce milieu. C'est un phénomène inobservable, on ne peut donc se baser que sur des conjectures théoriques. On suppose qu'il existe deux mécanismes de base pour la nucléarisation: un processus homogène ne faisant intervenir d'une seule et même «substance» et un processus inhomogène qui fait appel à une deuxième «substance» qui joue probablement un rôle de catalyseur. La nucléarisation est un processus qui se déroule au niveau atomique.

Pour étrange que cela puisse paraître, les grains de poussière ne peuvent pas, se former dans le milieu interstellaire pur, loin des étoiles. Si on admet les conditions standard de température, de densité et de composition chimique du milieu interstellaire, on peut montrer, qu'à partir d'une masse initiale de nucléarisation correspondant à vingt atomes d'hydrogène, le temps nécessaire pour faire pousser un grain de poussière jusqu'à la dimension de 0.1 μm, dépasse largement l'âge de l'univers. La dimension de 0.1 μm est celle qui est nécessaire pour obtenir la loi observée de l'extinction interstellaire de la lumière: une absorption d'une magnitude par kilo-parsecs et un comportement en un sur la longueur d'onde du rayonnement.

En 1935, LINDBLAD se penche sur une première tentative sérieuse d'explication de la formation des grains de poussière et arrive, déjà à cette époque, à la conclusion que les grains doivent se former en dehors du milieu interstellaire proprement dit. Pour affirmer cela, il s'est basé sur l'observation suivante: il existe une forte corrélation entre les régions de haute densité de gaz et les régions de faible obscurcissement. Donc les poussière ne sont pas là où il y a beaucoup de gaz.

Figure 1: L'étoile Véga et son disque. Cette étoile est considérée comme le prototype d'étoile entourée d'un disque de poussières.



Il est intéressant de relever le fait suivant: il y deux cas de figure pour l'enrichissement du milieu interstellaire en poussières. La source de cette dichotomie est l'affinité chimique exceptionnelle qui existe entre l'oxygène et le carbone, et la stabilité à toute épreuve du monoxyde de carbone CO. Si l'atmosphère stellaire est plus riche en oxygène qu'en carbone, ce dernier se retrouvera essentiellement sous forme de monoxyde et il ne se formera que des oxydes et des silicates, c'est le cas dans 90% des situations. Mais il y a 10% des étoiles qui produisent plus de carbone que d'oxygène et dans ce cas il ne se formera que des grains de graphite.

HOYLE et ses collaborateurs ont montré qu'il existe une possibilité de formation de grains de graphite dans certaines étoiles particulières: des géantes rouges (froides) variables. Les grains de graphite se formeraient pendant la phase de basse température (entre 1500°K et 1800°K) du cycle de variabilité de l'étoile qui est d'environ cent jours.

On peut montrer, une fois la condensation enclenchée, que la croissance des grains est une fonction linéaire du temps et qu'il n'existe à priori aucune limite à la grandeur qu'un grain peut atteindre. Mais il ne faut pas oublier que les milieux dont on parle sont extrêmement dilués et comme on le verra au paragraphe suivant les grains restent de très petite taille.

Disons pour terminer que l'existence des grains de poussières interstellaires semble être extrêmement précaire ils sont facilement détruit par évaporation (température trop élevée) et par la collision avec des gaz à haute vitesse (collision avec des ions par exemple)

Forme et dimension des grains

Si un obstacle de très petite dimension est placé sur le trajet d'une onde électromagnétique, la quantité d'énergie absorbée ou diffusée est fortement dépendante de la longueur d'onde du rayonnement. Des grains de très faible dimension produisent des changements de couleur (rougissement) plus importants que des grains de dimension plus

[1] Tout ceux qui ont essayé de faire pousser des cristaux savent que pour déclencher le processus il faut un «grain» perturbateur du milieu autour du quel le cristal commence à croître.

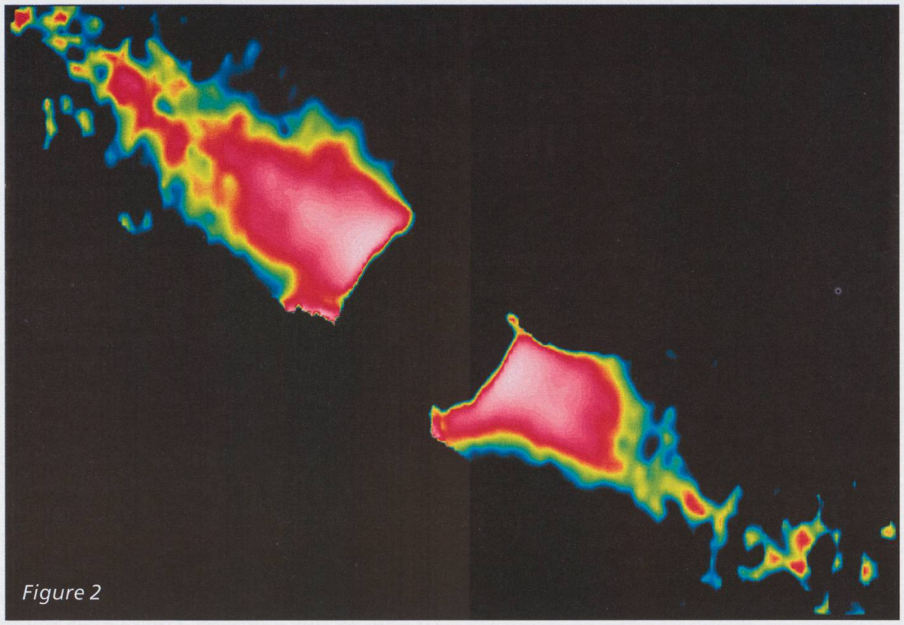


Figure 2

Figures 2, 3 et 4: Différentes images du disque de beta Pictoris

grande. Dans le cas du rayonnement visible, les calculs théoriques correspondent bien avec les faits observés, si on admet que les grains de poussière ont une forme sphérique avec d'un diamètre de 0.1 micromètre. Pour avoir une correspondance avec la courbe d'extinction observée dans l'infrarouge et l'ultraviolet, il faut admettre l'existence de grains dont les diamètres sont respectivement de 1 micromètre et de 0.005 micromètre. Les connaissances que nous avons sur la forme exacte des grains est très limitée. La légère polarisation (1% par magnitude absorbée) de la lumière atteste l'existence de grains de forme non sphérique. Il est en effet difficile, sans cette hypothèse, de comprendre comment certaines directions de vibration de l'onde électromagnétique seraient plus absorbées que d'autres.

La nature des grains de poussière

La nature des grains de poussières interstellaire est encore une question grande ouverte.

Il y a un obstacle énorme à surmonter pour accéder à cette connaissance. En effet, la spectroscopie, l'outil par excellence dans ce type d'investigation, donne dans le cas des solides de médiocres résultats. Contrairement aux gaz qui produisent des raies bien nettes et bien définies, les solides élargissent énormément le profil des raies. Ce qui fait que l'empiétement réciproque des raies a une tendance à lisser le spectre et à rendre l'identification des différentes raies très difficile voire impossible. On arrive toute fois à identifier six zones du spectre qui permettent d'affirmer, avec une certaine sécurité, que les grains de poussière interstellaire sont constitués de silicates (les raies d'absorption à 9.7 µm et à 18 µm) de magnésium (Mg_2SiO_4) et de fer ($FeSiO_4$), de graphite, de composés organiques et de glaces (les raies à 3 et 3.4 µm pour la glace d'eau amorphe et à 4.7 µm pour la glace de CO [monoxyde de carbone]).

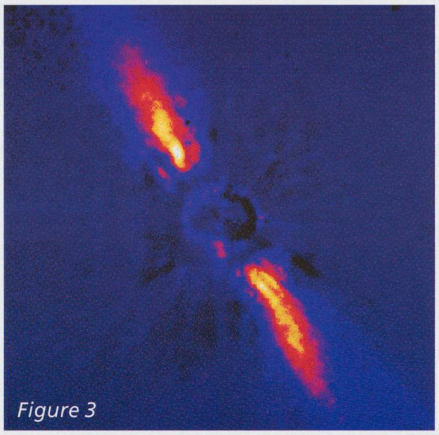


Figure 3

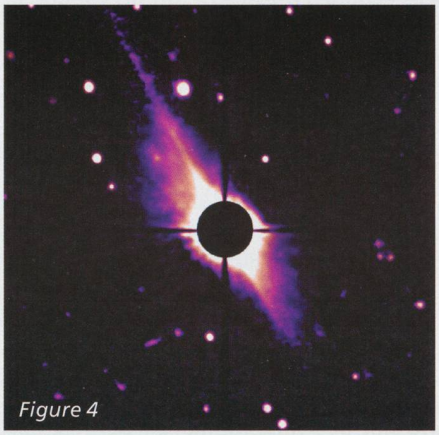


Figure 4

Dans la partie optique du spectre une centaine de bandes d'absorption sont mises en évidence elles constituent ce qu'on appelle les «bandes interstellaires diffuses».

Les poussières circumstellaires

Contrairement aux poussières interstellaires, les poussières circumstellaires sont localisées et étroitement associées à une étoile déterminée. Ses propriétés physiques et son évolution sont conditionnées par l'étoile. La température des grains, par exemple, est due à un échauffement radiatif provoqué par le rayonnement de l'étoile. Cette température est généralement plus élevée que celle des grains interstellaires. Ce fait permet de mesurer l'étendue des poussières circumstellaires en déterminant l'endroit où la température des grains atteint la valeur des grains interstellaires, en principe autour de 20°K. La même argumentation peut être appliquée à la densité. Celle des poussières circumstellaires étant, en principe, plus élevée que celle des poussières interstellaires dont la moyenne se situe environ à 5 10^{-7} grains par mètre cube. En moyenne, les poussières circumstellaires atteignent les valeurs de densité et de température des poussières interstellaires à la distance de un parsec (3.26 AL) de l'étoile.

La nature des grains (dimension et composition chimique) des poussières circumstellaires est différente de celle des grains interstellaires. Elle est largement déterminée par les caractéristiques de l'étoile à laquelle ils sont associés. Les poussières interstellaires, par contre, sont un mélange de tous les types de grains éjectés par une multitude de variétés d'étoiles. Ils subissent ensuite des modifications dues à l'exposition au milieu interstellaire.

La présence de poussières circumstellaires autour d'une étoile peut être détectée en l'observant dans l'infrarouge. Pour une étoile dont on connaît le type spectral, le spectre optique permet de préciser sa température qui détermine ensuite totalement l'allure du spectre de l'étoile de l'ultraviolet à l'infrarouge. Si on connaît le flux lumineux dans les longueurs d'ondes visuelles, la connaissance de la forme du spectre permet d'effectuer une prévision du flux lumineux auquel il faut s'attendre dans l'infrarouge. La comparaison du flux théorique calculé et

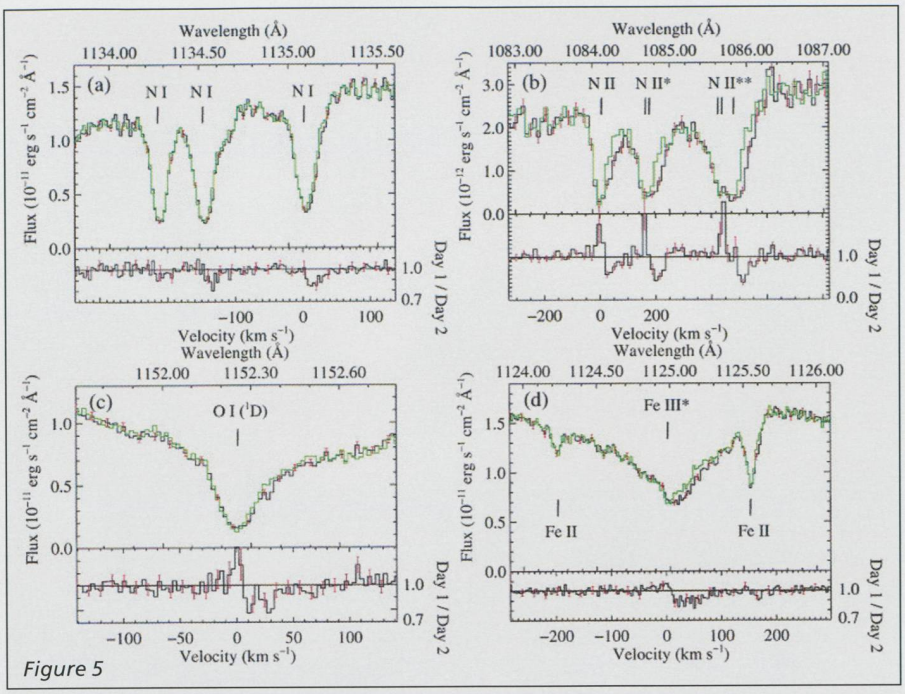


Figure 5

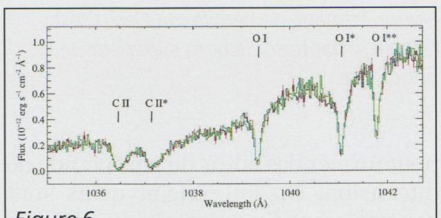


Figure 6

Figures 5 et 6 Spectres de 51 Oph.

La figure 5 montre des lignes d'absorption variables dans le temps. La bande en bas de chaque spectre donne l'écart entre les deux spectres pris à un mois d'écart. Ces raies d'aborption variables pourraient être un indice de matière qui est en train de tomber vers l'étoile.

La figure 6 par contre montre des raies d'absorption qui ne changent pas en fonction du temps. Cette recherche a été effectuée (publication 2002) pour detecter d'éventuels «planétésimaux» tombant vers l'étoile.

du flux réellement observé permet de conclure à l'éventuelle existence de poussières circumstellaires. S'il y a un excès de flux infrarouge, c'est-à-dire que le flux observé est plus grand que le flux calculé, alors, dans la majorité des cas, on peut conclure à l'existence d'une enveloppe de poussières circumstellaires.

Les étoiles de masse faible à intermédiaire perdent une large partie de leurs matériaux d'origine lorsqu'elle évoluent sur la branche asymptotique des géantes[2]. L'étude de cette phase de l'évolution stellaire donne des renseignements importants sur la transition entre les états de géante rouge et de nébuleuse planétaire et aussi sur la quantité et la composition chimique des matériaux restitués au milieu interstellaire. Pendant cette phase de perte de masse, il se forme une enveloppe de grains de poussières et de molécules autour de l'étoile.

Nous avons déjà cité (première partie) le cas de l'étoile ICR + 10216, comme exemple particulièrement intéressant d'étude d'une enveloppe circumstellaire. Citons encore, pour compléter l'information, que plus de 50 espèces moléculaires ont été détectées dans cette enveloppe. D'autres cas connus sont ceux de μ Cep, β Pic et 51 Oph pour ne citer que ces quelques exemples.

Mu Cep est une vieille connaissance puisque W. HERSCHEL la cite en 1783 comme nouvelle étoile dans la «Philosophical Transaction of the Royal Astronomical Society of London», dans la section: «Stars newly come to be visible». Il s'étonne toute fois d'être le premier à avoir observé cette étoile vu qu'il s'agit d'une des plus brillantes du ciel. En cela il avait parfaitement raison, puisque le nom de μ Cep attribué à cette étoile est l'oeuvre de JOHANN BAYER au 17e siècle. D'après la description que W. HERSCHEL en fait dans le Philosophical Transaction, cette étoile devient célèbre comme «l'étoile à la couleur grenat de Herschel». En 1848, l'astronome RUSSEL HIND découvre sa variabilité. En 1983, une équipe de chercheurs a tenté une modélisation des poussières circumstellaires de cette étoile. Le modèle qui reproduit le plus fidèlement possible le spectre observé est celui de grains de verre basaltique (silicates) non purs de dimension 0.1 μm. Ce résultat est obtenu en faisant les hypothèses suivantes: – le rayonnement de l'étoile μ Cep est assimilé à celui d'un corps noir de température 3900°K, – la densité de l'enveloppe circumstellaire décroît comme $1/r^2$, – le rayon intérieur de l'enveloppe correspond à l'endroit ou le température prend la valeur de 1000°K et le rayon extérieur est fixé à cent fois le rayon intérieur, – les grains de poussière sont modélisés par des sphères de Mie[3].

L'histoire de β Pic (dans la constellation de «L'atelier du peintre») commence en 1983 lorsque les mesures prises par le satellite IRAS (Infrared Astronomical Satellite) permet de mettre en évidence l'existence d'un disque de poussières et de gaz autour de l'étoile. Le cas est intéressant puisqu'il existe un certain nombre d'indices qui permettent d'avancer l'hypothèse que l'on se trouve en présence d'un système planétaire en formation, à une époque (relativement précoce) correspondant à la phase du bombardement météoritique. En effet, en 1987, on commence à soupçonner la présence de comètes autour de β Pic. Des travaux tout récents (2004) identifient même deux familles de comètes dans les résonances de 4 à1 et de 3 à 1. Ce fait, conjointement à la découverte en 1997 du gauchissement du disque circumstellaire et en 1994 d'une perte de luminosité de l'étoile de 3% pendant quelques heures le 10 novembre 1981[4] renforcent l'hypothèse de l'existence de planètes cachées dans le disque.

Le disque circumstellaire de β Pic possède une extension totale d'environ 1100 UA (dix fois la dimension de notre système solaire) et il possède une structure complexe en plusieurs anneaux. Fait étonnant, on constate que les grains de poussière ne se sont pas agglomérés

[2] La branche asymptotique des géantes est le nom que les astrophysiciens donnent au trajet évolutif d'une étoile après qu'elle a quitté la séquence principale du diagramme HR (Hertzsprung-Russel) et qu'elle évolue vers une nébuleuse planétaire.

[3] En 1908, G. MIE résoud le problème de l'interaction d'un corps sphérique homogène avec le rayonnement électromagnétique.

[4] C'est en analysant les données photométriques enregistrées par les astronomes de l'Observatoire de Genève qu'il a été possible de déceler cette variation de luminosité.

Figure 7: Image de l'étoile mu Cep. C'est l'étoile brillante sur le bord supérieur de la nébuleuse.

pour former des corps de plus grande de dimension. On en conclut qu'ils sont constamment érodés et chassés loin de l'étoile par la pression de radiation du rayonnement stellaire lorsque leur dimension devient plus petite que 2 à 10 µm. Mais, la durée de vie d'un tel disque n'excède pas les dix millions d'années. Or l'âge du système est évalué entre 20 et 200 millions d'années. On suppose donc que le disque est continuellement alimenté en poussières par la collision entre eux de corps de grande dimension (de type Kuiper). En octobre 2004, une équipe japonaise découvre un anneau intérieur de poussières de silicates à une température relativement chaude qui serait la signature de l'existence d'une ceinture de planétésimaux ou d'astéroïdes située à 6 UA de l'étoile. L'absence totale de poussières entre 6.4 UA et 16 UA est probablement due à une planète de type jupitérienne qui orbite à 12 UA de β Pic et qui produit les résonances citées plus haut. Il faut des années de surveillance pour pouvoir corréler les variations spectrales transitoires observées avec le passage, dans la ligne de vue, d'objets de dimension kilométrique.

Le disque extérieur apparaît constitué soit de grains de silicates plus larges soit d'un ou d'autres composés qui produisent l'émission spectrale observée.

51 Oph est un cas énigmatique. En effet, les observations effectuées sur cette étoile ne permettent pas, pour le moment, de décider si on se trouve en présence d'une très jeune étoile ou au contraire d'une étoile évoluée. C'est un vrai casse-tête devant lequel se trouvent actuellement les astrophysiciens. Les jeunes étoiles enrobées dans un disque circumstellaire et les étoiles évoluées dans la même situation ne semblent pas discernables avec les moyens d'observation actuels. La présence de poussières autour de 51 Oph a été établie sans ambiguïté en 1993 lorsqu'une équipe de chercheurs a détecté une émission à 10 µm caractéristique des silicates. La forme de la distribution spectrale suggère que seuls des grains de relativement grande taille sont présents. Ce fait ne colle pas avec ce que l'on sait actuellement de la composition d'un disque proto-planétaire, mais correspond par contre parfaitement avec ce qu'on observe dans les système de type Véga[5]. D'autre part, la magnitude et la température de l'émission infrarouge semblent être plus en correspondance avec les caractéristiques d'un disque entourant une jeune étoile. Si on prend aussi en considération la position de 51 Oph sur la séquence principale, ces deux faits font que certains auteurs considèrent cette étoile comme un objet de Herbig de type Ae/Be[6]. Mais le problème n'est pas pour autant résolu. En effet, le spectre à 4-8 µm révèle la présence de gaz circumstellaire moléculaire chaud que l'on trouve généralement autour d'étoiles évoluées riches en oxygène ou proches de la branche asymptotique des géantes, mais «jamais» dans un disque proto-planétaire. Sa grande vitesse de rotation (environ 270 km/s) fait penser à une étoile de type Be. Mais ce type d'étoile ne possède en principe pas un disque circumstellaire, sauf dans le cas ou il existe un compagnon froid évolué qui a perdu de la masse. Fait qui semble être hautement improbable dans le cas de 51 Oph. On voit que le mystère qui entoure cette étoile reste pour le moment complet.

Citons encore très brièvement un fait intéressant, découvert récemment (publication juin 2004), concernant la découverte de poussières froides dans Cassiopée A[7]. Une analyse spectrale sub-millimétrique indique la présences d'aiguilles métalliques dans les poussières. Cette observation est extrêmement importante parce qu'elle reprend une polémique ouverte il y des dizaines d'années par FRED HOLYE qui pensait premièrement que la formation d'aiguilles métalliques était une chose possible et deuxièmement que ces mêmes aiguilles métalliques pouvaient produire un rayonnement ayant les caractéristiques du rayonnement fossile. Placé dans le contexte des spéculations cosmologiques actuelles ce fait prend toute son importance.

L'hypothèse des hydrocarbures polycycliques aromatiques

Au fil du temps, avec l'accumulation des données d'observation, on a constaté une anomalie dans l'émission infrarouge des poussières interstellaires. Si on connaît la composition chimique et la distribution en grandeur des grains interstellaires, il est alors possible de cal-

[5] Véga, dans la constellation de la Lyre, est le prototype des étoiles ayant un disque circumstellaire froid.

[6] Les objets de Herbig – Haro correspondent à une étape précoce de la formation d'une jeune étoile avant qu'elle atteigne la séquence principale.

[7] Cassiopée A est un des plus jeunes restes de supernova (la supernova de 1667 av. J. C.) de notre Galaxie.

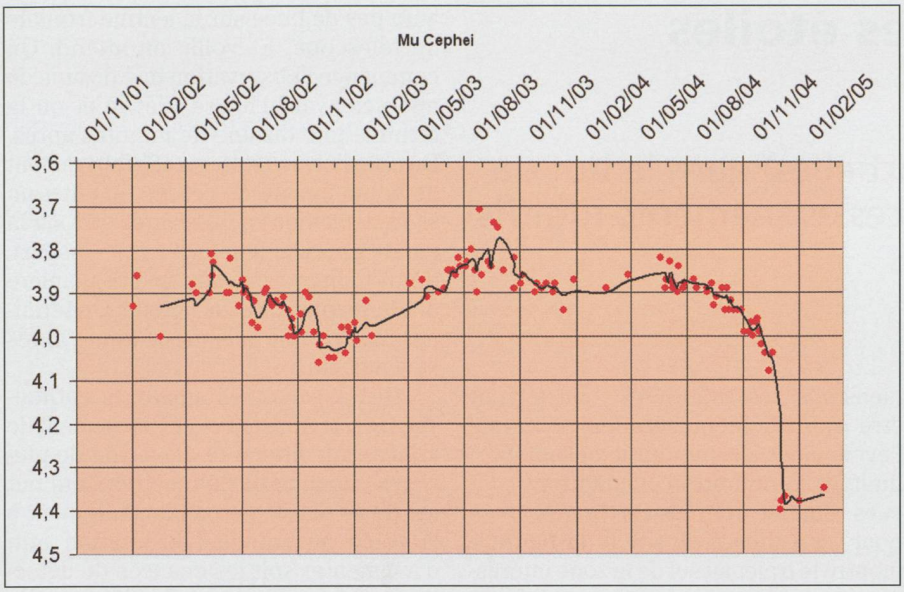


Figure 8: Ce graphique montre la variabilité de mu Cep.

culer leur température et donc l'émission infrarouge. Il est apparu qu'il existait une divergence sérieuse entre les prévisions théoriques et les observations pour des longueurs d'ondes inférieures à 30 µm. Les valeurs observées étant plus grandes de plusieurs ordres de grandeur par rapport aux valeurs calculées. Cette divergence suggère que, contrairement à l'hypothèse admise, les grains ne se trouvent pas à une température d'équilibre. D'autre part, le bon accord entre théorie et observation aux grandes longueurs d'onde semble aussi indiquer que la théorie élaborée ne peut pas être complètement fausse. Une conclusion possible, qui ressort de cette constatation, est d'admettre l'existence d'une composante de grains de poussière qui ne peuvent être décrits comme ayant une température d'équilibre. L'excès d'émission aux longueurs d'ondes plus petites que 30 µm peut être correctement modelée, si on admet une sous-population de grains ayant des dimensions très petites, inférieures à 10 Å et ne contenant pas plus qu'une centaine d'atomes. On se trouva là à la limite inférieure admissible pour les dimensions d'un «solide», on serait plutôt dans le domaine des macromolécules. Quelle est la nature de ces molécules? L'émission infrarouge indique que ces grains doivent avoir une température nettement plus élevée que celle du champ de rayonnement interstellaire. Une température telle que des grains de cette dimension, de silicates ou de glace, seraient immédiatement vaporisés. Le carbone semble être par contre un candidat raisonnable; un agrégat de quelques dizaines d'atome de carbone pourrait parfaitement jouer ce rôle. On peut aussi imaginer que cet agrégat d'atomes de carbone puisse constituer un réseau contenant des atomes d'hydrogène: on arrive ainsi aux hydrocarbures polycycliques aromatiques. L'émission infrarouge de telles molécules passe par l'absorption d'un photon ultraviolet et une conversion interne en un état de vibration hautement excité suivi d'une désexcitation avec émission d'un rayonnement infrarouge. Les études de laboratoire de ces molécules polycycliques montrent bien des émissions infrarouges aux longueurs d'ondes requises par les observations astrophysiques. Le problème est qu'elles ne correspondent jamais exactement avec celles observées par les émissions des poussières interstellaires. Ce fait incite beaucoup de chercheurs à penser que l'hypothèse des hydrocarbures polycycliques aromatiques n'est pas la bonne. Il existe encore un autre fait qui corrobore cette position. Les mesures de laboratoire indiquent que la désexcitation se ferait plus volontiers par fluorescence que par émission infrarouge. On devrait donc observer une émission à 2000-2500 Å, ce qui est généralement pas le cas sauf dans quelques situations particulières. Il faut toutefois relever que nous ne savons absolument pas si le comportement en laboratoire de ce type de molécules est le même que celui qu'elles ont ou auraient dans l'espace intersidéral. Donc le doute que l'on soit effectivement en présences de telles molécules subsiste.

FABIO BARBLAN
Route de l'Etraz 6a, CH-1239 Collex/GE

Bibliographie

1967 Interstellar Grains, N. C. WICKRAMASINGHE, Ed. Chapman and Hall
1983 *The circumstellar dust of mu Cephei*, C. ROGERS et AL., AJ 272
1989 *The structure of the beta Pictoris circumstellar disk fom combined IRAS and coronographic observations*, P. ARTYMOWICZ et all, AJ 337
1993 *The Dusty Universe*, A. EVANS, Ed. Ellis Horwood.
2001 *The composition of circumstellar gas and dust in 51 Oph.*, M.E. VAN DEN ANCKER et al, A&A 369
2003 *The Physics of Interstellar Dust*, E. KRÜGEL, Institute of Physics Publishing
2004 *The detection of cold dust in Cassiopeia A: evidence for the formation of metallic needles in the ejecta*, E. DWEK, AJ 607
2004 *Bêta Pictoris, l'étoile qui cache ses planèts*, E. MARTIN, Ciel & Espace

ASTRO
MATERIALZENTRALE
P.O.Box 715
CH-8212 Neuhausen a/Rhf
+41(0)52-672 38 69
email: astroswiss@hotmail.com

Ihr Spezialist für Selbstbau und Astronomie

- *Spiegelschleifgarnituren*, z.B. alles für einen 15 cm-Spiegel für Fr. 278.— netto. Schleifpulver, Polierpech, usw.
- *Astro-Mechanik* wie Fangspiegelzellen, Stunden-, Dekli-nationskreise, Okularschlitten, -auszüge, Suchervisier, usw.
- *Qualitäts-Astro-Optik* wie Spectros-Schweiz und andere Marken: Helioskop, Achromate, Okulare, Filter, Fangspiegel, Sucher, Zenitprisma, Parabolspiegel ø bis 30 cm, Schmidt-Cassegrain, Newton-Teleskope, Refraktoren usw.
- *Astro-Medien wie* exklusive Diaserien, Videos, Software.
- **MEADE-Händler**: Alle Produkte aus dem MEADE-Katalog.

Alles Weitere im SAG Rabatt-Katalog «Saturn»
4 internationale Antwortscheine (Post) oder CHF 4.50 in Briefmarken zusenden.
Attraktiver SAG-Barzahlungs-Rabatt

Schweizerische Astronomische Gesellschaft