Zeitschrift: Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Herausgeber: Schweizerische Astronomische Gesellschaft
Band: 59 (2001)
Heft: 302

Artikel: L'univers, dis-moi ce que c'est? : Épisode 20 : la matière interstellaire, 1re partie

Autor: Barblan, Fabio

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-897882

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: 24.12.2025

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

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

Episode 20: La matière interstellaire, 1re partie

FABIO BARBLAN

1. Introduction

Nulle part l'espace intersidéral n'est complètement vide. De vastes nuages de gaz et de poussière remplissent les «vides» entre les étoiles. Certains nuages sont brillants et visibles dans le domaine optique, comme par exemple la nébuleuse d'Orion, d'autres peuvent à peine être détectés par les radiotélescopes les plus sensibles ou par des télescopés infrarouges. La matière interstellaire est le réservoir dont sont issu les nouvelles générations d'étoiles et les éventuelles planètes des systèmes planétaires engendrés par leur naissance. Chaque atome dont nous sommes fait existait préalablement dans la nébuleuse qui a donné naissance au soleil et à notre système planétaire. Dans la Voie Lactée il y a suffisamment de matière interstellaire pour former encore dix milliards d'étoiles supplémentaires de même type que le soleil.

Pour certains astronomes, cette matière interstellaire est une source de perturbation puisqu'elle modifie la lumière (rougissement) qui la traverse et va même jusqu'à rendre certaines régions du ciel partiellement ou totalement opaques (absorption). Pour d'autres astronomes, par contre, elle représente la source même de leurs investigations. Elle permet d'étudier la rotation des galaxies, de détecter les étoiles naissantes, de déterminer la masse de galaxies lointaines etc. La matière interstellaire est un vaste laboratoire ou la matière existe sous des conditions physiques qui ne pourront jamais être réalisées en laboratoire[1].

Les dimensions des nuages de matière interstellaire défient toute imagination, il s'agit de longueurs exprimées en années lumière et la raréfaction de la matière atteint des niveaux infiniment plus grands que les meilleurs vides que l'homme est capable d'obtenir sur terre. Au niveau de la mer, un centimètre cube d'air contient environ 5 fois 10^{19} atomes, à 400 kilomètres d'altitude cette valeur tombe à environ 10^{17} atomes par cm^3 et dans le disque de la Galaxie cette densité est de l'ordre d'un atome par cm^3 (cela représente une valeur mille fois plus petite que les meilleurs vides obtenus en laboratoire).

C'est HERSCHEL qui le premier a observé dans le ciel des taches lumineuses diffuses qu'il a appelées nébuleuses (Nébula signifie nuage en latin). Nous savons maintenant que certaines de ces nébuleuses sont des objets extragalactiques, des galaxies, ou sont réellement des nuages brillants de matière interstellaire. En 1860 W. HUGGINS a montré que certaines des nébuleuses brillantes de HERSCHEL étaient constituées de gaz d'hydrogène chaud. V. SLIPHER a parlé, en 1912, pour la première fois de poussières interstellaire éclairées par des étoiles. E. BARNARD a réalisé que certaines régions particulièrement pauvres en étoiles sont dues à l'existence de matière interstellaire qui empêche la lumière de passer. Malgré ces découvertes, l'idée que tout l'espace interstellaire pourrait être «rempli» de matière est un concept qui a de la difficulté à émerger. En 1904 J. HARTMANN a décèlé dans les spectre de S Orionis une anomalie qu'il a attribuée à l'existence de gaz le long de la ligne de visée. A la même époque, on s'est aperçu que les étoiles faibles apparaissaient trop rouges par rapport à ce qu'elles devraient être réellement. En 1930, TRÜMPLER a attribué pour la première fois ce rougissement à un «océan de poussière» qui, d'après son opinion,

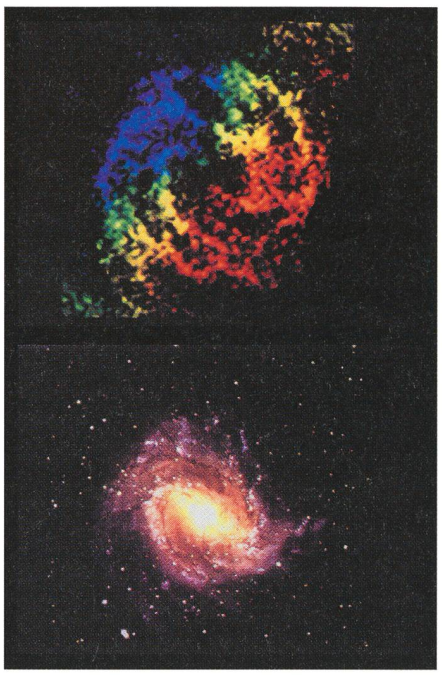
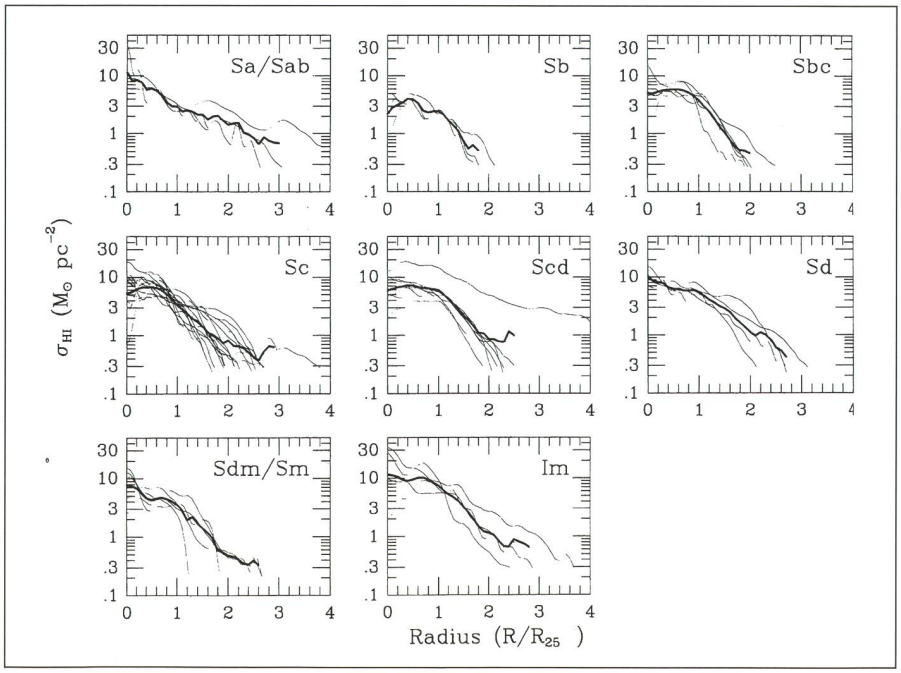


Figure 1: La distribution de l'hydrogène atomique dans la galaxie Messier 83. Le décalage Doppler permet d'indiquer les zones ou la gaz s'éloigne de nous (zones rouges) de celles ou il vient vers nous (zones bleus) (source [4]).

Figure 2: Distribution radiale de la densité de surface de l'hydrogène atomique en fonction de type de la galaxie spirale. La ligne foncée indique la moyenne par rapport à la classe en question. Le rayon est normalisé par rapport à l'isophote de magnitude 25.



1 Pour obtenir une densité correspondante au milieu interstellaire, il faudrait donner à un cylindre de 10 cm^2 de base et un mètre de hauteur contenant de l'oxygène sous conditions normales, une longueur de 300 années lumière!

remplissait toute la Galaxie. C'est seulement en 1951 (EWEN-PURCELL) que l'on a réalisé la première détection de l'hydrogène atomique et en 1970 celle des nuages moléculaires géants.

Ces dernières trente années, avec l'énorme développement de la radioastronomie et plus récemment encore avec le développement de l'exploration infrarouge (par exemple ISO, l'observatoire spatial infrarouge de l'ESA; voir ORION N° 270, p. 236) la connaissance du milieu interstellaire a fait des progrès spectaculaires.

2. L'hydrogène atomique

L'hydrogène est l'élément le plus répandu dans l'univers et en particulier dans le milieu interstellaire. Il se présente dans trois états différents: moléculaire (H_2), atomique (H0 ou HI) et une fois ionisé[2] (H+ ou HII). L'observation montre qu'on se trouve généralement en présence de masses d'hydrogène dont l'état est homogène c'est-à-dire soit moléculaire, soit atomique, soit ionisé; on parle alors de régions H_2 ou HI ou HII. L'hydrogène atomique peut être détecté à la longueur d'onde de 21.1 cm (1420.4 MHz). L'existence de cette raie avait été prédite par VAN HULST en 1944. La lumière émise à cette longueur d'onde correspond à la transition de structure fine entre l'état où les spins de l'électron et du proton sont antiparallèle à celui où ils sont parallèle. Ceux qui sont un peu familiers avec la spectroscopie et les lois quantiques savent que cette transition est une transition interdite, c'est-à-dire qu'elle ne se fait pas spontanément. L'hydrogène peut rester indéfiniment dans l'état antiparallèle, en fait il peut y rester pendant dix millions d'années, la probabilité de transition spontanée étant de 2.9×10^{-15} atomes par seconde. Ceci rendrait l'hydrogène atomique pratiquement inobservable dans le raie de longueur d'onde de 21 centimètres. Puisqu'on peut détecter des larges régions d'hydrogène atomique, il doit y avoir un «mécanisme» qui provoque cette transition interdite. Malgré la raréfaction de la matière des collisions entre atomes restent possibles et en réalité il y en a en moyenne une tous les mille ans. La grande extension de ces nuages garantit un nombre suffisant d'atomes et de collisions pour avoir une émission de lumière décelable à cette longueur d'onde.

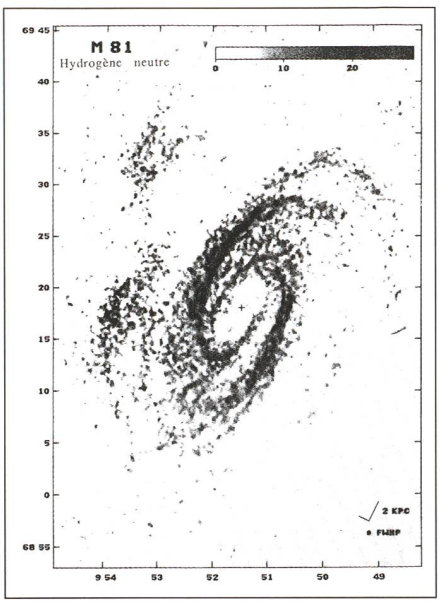


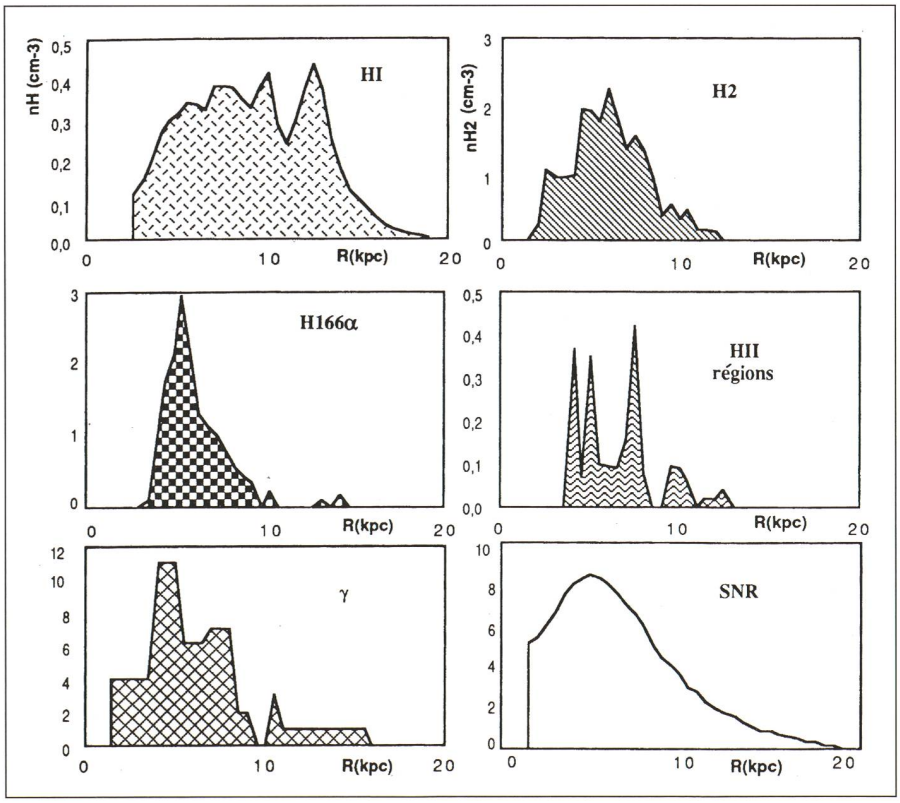
Figure 3: Carte HI de MESSIER 81 (source [5])

L'étude de la raie interdite de l'hydrogène atomique apporte à l'astronome des renseignements importants. C'est la façon la plus précise de mesurer le décalage vers le rouge des galaxies. A ce jour plus de 12 000 mesures ont été effectuées. Le flux total de la luminosité HI intégré sur toute la galaxie donne une mesure du potentiel de création d'étoiles dans la galaxie. La détermination de la distribution spatiale de l'hydrogène atomique permet une comparaison entre la distribution de gaz et la distribution des étoiles dans la galaxie. La largeur de la raie de 21 cm permet, via la relation de TULLY-FISCHER (L'Univers épisode 18, Orion 292 page 29), d'effectuer une prédiction de la luminosité d'une galaxie, dans la mesure où les vitesses de rotation permettent une estimation de la masse et que la connaissance de la masse permet une évaluation de la luminosité. L'intensité de la raie, si l'absorption interstellaire est faible, donne une indication directe de la masse totale d'hydrogène atomique présent dans la galaxie.

Comme on le voit, la raie de l'hydrogène atomique contient énormément de renseignements sur la structure et le fonctionnement d'une galaxie. En fait l'étude de l'hydrogène atomique est indissociablement liée avec celui des galaxies.

Si on compare deux images d'une même galaxie l'une prise dans le domaine optique et l'autre dans la longueur d'onde de 21 cm on constate que l'hydrogène atomique est universellement présent dans toute la galaxie et qu'il s'étend largement au delà de la zone délimitée par la lumière émise par les étoiles. Plus précisément, on observe que généralement le centre d'une galaxie

Figure 4: Comparaison entre la distribution radiale de l'hydrogène atomique d'un côté et l'hydrogène moléculaire, l'hydrogène ionisé, les rayons gamma et les super nova récurrentes de l'autre côté (source [5]).



[2] Un ion est un atome (ou un radical) ayant perdu ou gagné un certain nombre d'électrons. Si l'hydrogène perd son unique électron il devient un ion une fois positif, en fait il s'agit d'un proton.

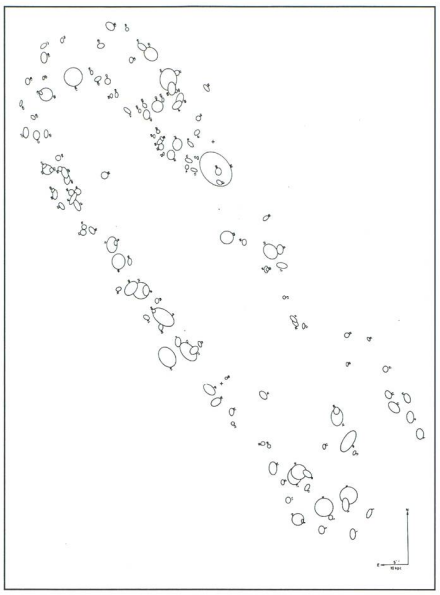


Figure 5: Distributions des trous HI dans la galaxie M3. Ils sont situés dans les bras spiraux, et seraient dus à la formation de jeunes étoiles (source [5]).

spirale est libre d'hydrogène atomique et qu'entre 3-4 kpc et 14 kpc il y a une distribution radiale plate en correspondance avec la zone optique. En dehors de la zone optique, la densité de l'hydrogène atomique décroit régulièrement. On constate aussi qu'il y en a plus dans les bras spiraux qu'entre les bras, et le décalage Doppler donne des renseignements sur les mouvements qui animent ces nuages d'hydrogène.

On a aussi remarqué que le rapport de la masse de l'hydrogène atomique à la masse noire (Orion 292 page 30) change très peu avec la morphologie de la galaxie. Mais on a aussi constaté que la densité du gaz atomique et la densité calculée de la matière noire sont approximativement égales. Ces deux faits incitent à penser que la distribution du gaz neutre et de la matière noire sont en corrélation et coexistent. Cette hypothèse a fait surgir de multiples suggestions quant à la nature de la matière noire, entre autre qu'elle puisse se trouver sous forme de gaz froid ou moléculaire (Pfenniger 1994, Silk 1996). La cartographie de l'hydrogène atomique dans une galaxie met en évidence le gauchissement de sa distribution dans le plan galactique (Orion 292, page 31). Le gaz s'élève au-dessus du plan central au-delà du disque optique avec une distribution ayant approximativement la forme d'un S ou d'un signe d'intégration. Ce phénomène qui ne représente pas une déformation statique mais dynamique pose des sérieux problèmes théoriques. Comme chaque fois dans des situations semblables, on comprend mal comment la structure peut résister au temps et ne pas subir par exemple l'effet de la gravitation et s'amortir progressivement, avant de disparaître.

L'étude de la galaxie d'Andromède a permis de mettre en évidence des trous de HI, en fait, des régions sphériques ou le gaz atomique est absent. Ils ont des dimensions variant entre 100 pc et 1 kpc. On remarque que à grande échelle la distribution des trous est en corrélation avec les régions d'hydrogène ionisé (voir prochain épisode) ce qui suggère que ces trous sont en quelque sorte en relation avec la formation stellaire.

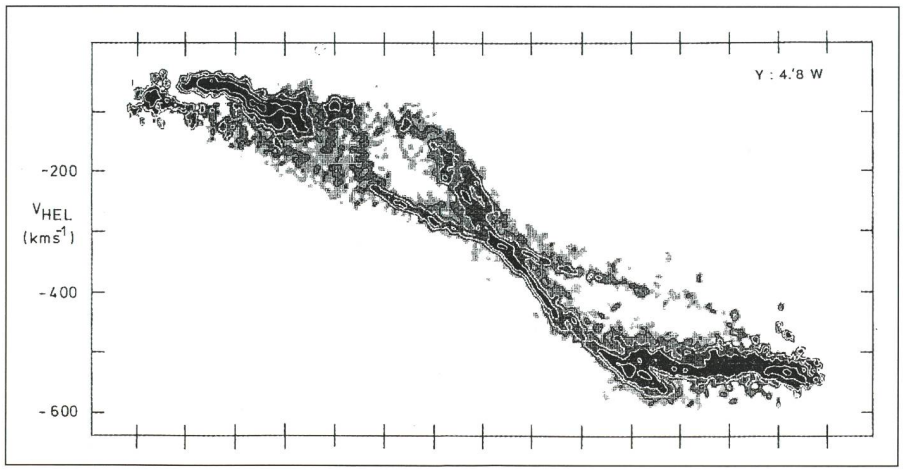
Comme l'hydrogène atomique s'étend largement au-delà de la limite visible de la galaxie, il représente entre autre un excellent révélateur d'éventuelles perturbations subies par la galaxie, perturbations dues à la rencontre plus ou moins rapprochée avec une autre galaxie. L'hydrogène atomique va être le premier à subir l'influence gravitationnelle de l'autre galaxie, donc à se déformer. La forme de la distribution spatiale de l'hydrogène atomique contient l'histoire de cette rencontre.

L'hydrogène atomique est présent dans les galaxies sous deux phases différentes. L'une «froide» à environ 100°K avec une densité de 10 à 100 atomes par centimètre cube et l'autre dite «chaude» à une température moyenne de 8000°K avec une densité de seulement 0.1 atome par centimètre cube. En masse, il y a pratiquement égalité entre les deux phases. Par contre, les nuages froids occupent en volume une fraction nettement plus réduite de la galaxie. L'existence des nuages froids permet l'observation de la raie de 21 cm en absorption.

Le prochain épisode sera consacré à l'hydrogène ionisé comme milieu interstellaire.

FABIO BARBLAN
6a, route de L'Etraz, CH-1239 Collex/GE

Figure 6: Diagramme position-vitesse parallèle au grand-axe de la galaxie M31. Deux composantes sont nettement visibles: celle correspondante à la courbe de vitesse caractéristique d'une galaxie spirale (S) et celle due au gauchissement du plan galactique. La vitesse est linéaire d'une extrémité à l'autre ce qui indique que cette composante ne peut exister qu'à grande distance du centre de la galaxie.



Bibliographie

[1] *The Interstellar Medium in Galaxies*, J. M. VAN DER HULST (editor), Kluwer Academic Publishers, 1997
[2] *The dusty universe*, ANEURIN EVANS, Ellis Horwood, 1993
[3] *Interstellar Matters*, GERRIT L. Verschuur, Springer-Verlag, 1989
[4] *The Fullness of Space*, GARETH WYNN-WILLIAMS, Cambridge University Press, 1992
[5] *Astrophysique: Galaxies et Cosmoligie*, F. COMBES, P. BOISSÉ, A. MAZURE, A. BLANCHARD, InterEditions, 1991

AN- UND VERKAUF
ACHAT ET VENTE

- *Zu verkaufen*
1 **CCD-Camera ST7** mit Filterrad CFW-8 zu St7, 1 **Flip-Spiegel-Mirror**, 1 **CCd-Okular F=25mm**, 1 **CCd-Foto-Objektiv-Adapter** für Canon, 1 **CCD-Brennweitenverkürzung F3,3**. Neupreis Fr. 9049.–. Verkaufspreis Fr. 6500.– und Software. A. MEYENBERG, Tel. 079/642 65 89 oder 041/921 65 89.

- *Occasion zu verkaufen*
Celestron Reflektor C-90 (90mm) mit 3 Okkularen samt Vixen-Stativ mit Hand-Nachrichtung. Geeignet für Astronomie-Einsteiger oder Naturbeobachter. Tel.01/930 14 33.

- *Suche Occasions*
Zubehör zu **C11** wie **Reduzierhülse** 50,8 mm auf 31,8 mm, **Plössl-Okulare** 31,8 mm, **T-Ring** für Canon, Sonnenfilter, Umlenksucher. Tel. 027/458 11 15.