

L'évolution des étoiles et l'origine de l'hélium dans l'univers en expansion

Autor(en): **Maeder, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **38 (1980)**

Heft 179

PDF erstellt am: **28.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-899559>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

L'évolution des étoiles et l'origine de l'hélium dans l'Univers en expansion

ANDRÉ MAEDER

Il y a maintenant un demi-siècle que E. Hubble découvrait, en étudiant le spectre des «nébuleuses», le mouvement de récession des galaxies et la loi qui le caractérise. Ce mouvement de fuite, identique dans toutes les directions, fut interprété, dès les années trente, dans le cadre de la Relativité Générale d'Einstein, comme le résultat de l'expansion généralisée de l'espace: les galaxies ne fuient pas dans un espace préexistant (le spécialiste dit qu'elles sont co-mobiles), mais c'est l'espace lui-même qui fait l'objet d'une expansion. Ce mouvement d'expansion et la notion que notre Galaxie n'occupe pas une position privilégiée dans l'Univers impliquent que dans le passé les galaxies étaient plus proches les unes des autres et la matière plus condensée. C'est ainsi que les modèles les plus simples que l'on peut bâtir à l'aide de la théorie d'Einstein, modèles dont le principe a été trouvé en 1922 par A. Friedman, suggèrent une origine (explosive) de l'Univers à partir d'un état très concentré.

Ce n'est vraiment que la découverte faite en 1965 par A. Penzias et R. Wilson, récompensés en 1978 par le Prix Nobel de physique, qui fit triompher l'idée d'un Univers ayant passé par des phases initiales très chaudes et condensées. Ces deux chercheurs ont en effet découvert, grâce à des observations dans le domaine des ondes centimétriques, l'existence dans tout l'espace d'un fond de rayonnement thermique à la température très basse de 3° Kelvin (-270°C). Ce rayonnement, bien que d'intensité très faible et qui, de ce fait, n'a été découvert que tardivement, représente à l'échelle de l'Univers davantage d'énergie rayonnante que toute celle émise par les étoiles et les galaxies. Toutes les analyses détaillées ont montré que ce fond de rayonnement ne pouvait s'interpréter de manière satisfaisante que comme la «chaleur résiduelle» des phases initiales de l'Univers, certainement très chaudes.

L'abondance de l'hélium: un test sur l'Univers initial

Il est très intéressant dans ce contexte de noter qu'il peut exister d'autres signatures laissées par l'évolution de l'Univers initial: l'abondance de l'hélium en est une.

Les modèles théoriques permettent de reconstituer l'histoire thermique de l'Univers considéré dans son ensemble. Cela signifie qu'en partant des valeurs actuelles du taux d'expansion, de la température du rayonnement de fond et de la densité moyenne de matière, on peut décrire les changements de température et de densité ainsi que les principales réactions qui ont eu lieu dans l'Univers au cours du temps. Les calculs détaillés qui ont été effectués dès 1967 indiquent que, lorsque la température était d'environ 1 milliard de degrés (situation qui a dû se produire selon les modèles dans les premières minutes de l'Univers, il y a environ 15 milliards d'années), il s'est effectué des réactions nucléaires qui ont transformé environ 25% de toute la matière existante (protons et neutrons) en hélium. Cet hélium est dit cosmologique, c'est-à-dire qu'il est lié à l'origine et à l'évolution de l'Univers. A part quelques traces d'éléments légers

(deutérium, béryllium, lithium) il ne semble pas que d'autres éléments aient pu se former alors. Si l'expansion s'était déroulée plus rapidement ou plus lentement que ne le prévoient les modèles de Friedman, l'abondance de l'hélium produit eût été très différente.

Ces résultats théoriques très importants ne peuvent être comparés sans autres à l'abondance de 25 à 30% d'hélium observée dans le gaz interstellaire et les étoiles (l'essentiel étant de l'hydrogène), car il faut savoir quelle est la part de l'hélium actuel qui résulte d'une synthèse stellaire et quelle est celle d'origine cosmologique. C'est une question qui a des implications très riches et qui met en jeu divers domaines de l'astrophysique auxquels sont consacrés plusieurs travaux à l'Observatoire de Genève.

La synthèse stellaire de l'hélium et des éléments lourds dans les galaxies

Ce qui précède nous amène à préciser quelques aspects importants de la synthèse stellaire de l'hélium et des éléments lourds (par ce terme nous entendons tous les éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium). Les étoiles naissent par condensation de nuages de gaz interstellaire. Dans les régions centrales des étoiles, des réactions nucléaires produisent de l'énergie en transformant de l'hydrogène en hélium. Puis, à son tour, cet hélium est transformé par d'autres réactions en éléments plus lourds, notamment du carbone et de l'oxygène. A la fin de leur évolution nucléaire, les étoiles passent par des phases instables, voire explosives, au cours desquelles elles éjectent dans l'espace interstellaire des gaz contenant les éléments nouvellement synthétisés. Les apports successifs, fournis par des étoiles arrivant au terme de leur évolution, enrichissent progressivement, au cours des milliards d'années, le milieu interstellaire en hélium et en éléments lourds. Ainsi, les nouvelles générations d'étoiles qui se forment continuellement par condensation du gaz interstellaire ont une composition chimique plus riche en hélium et en éléments lourds que celle des générations précédentes. C'est ce qu'on appelle l'évolution chimique des galaxies.

Au passage nous noterons qu'une quantité minimale d'éléments lourds semble être une condition nécessaire à l'apparition de la Vie et que les éléments lourds présents dans le système solaire ont été créés dans les générations d'étoiles qui ont précédé la naissance du Soleil il y a environ 4,6 milliards d'années.

Toutes les galaxies n'ont pas le même degré d'évolution chimique et, comme l'ont montré des chercheurs de notre Observatoire, ce degré varie aussi dans la Galaxie. Les Nuages de Magellan, qui sont deux galaxies satellites de la nôtre, ont une teneur en éléments lourds très faible: 0.7% pour le Grand Nuage et 0.2% pour le Petit Nuage, alors que dans notre Galaxie les populations stellaires du voisinage solaire contiennent environ 2% d'éléments lourds.



Fig. 1: Le Grand Nuage de Magellan est une galaxie satellite de la nôtre, que l'on peut observer dans l'hémisphère sud comme une tache lumineuse étendue située hors de la Voie Lactée. Sa distance est de 200 000 années-lumière; sa teneur en métaux de 0,7% est nettement inférieure à celle de 1,7% des étoiles de composition solaire dans notre Galaxie. Cette différence est le signe d'une évolution chimique sensiblement moins avancée dans le Grand Nuage de Magellan que dans notre Galaxie.

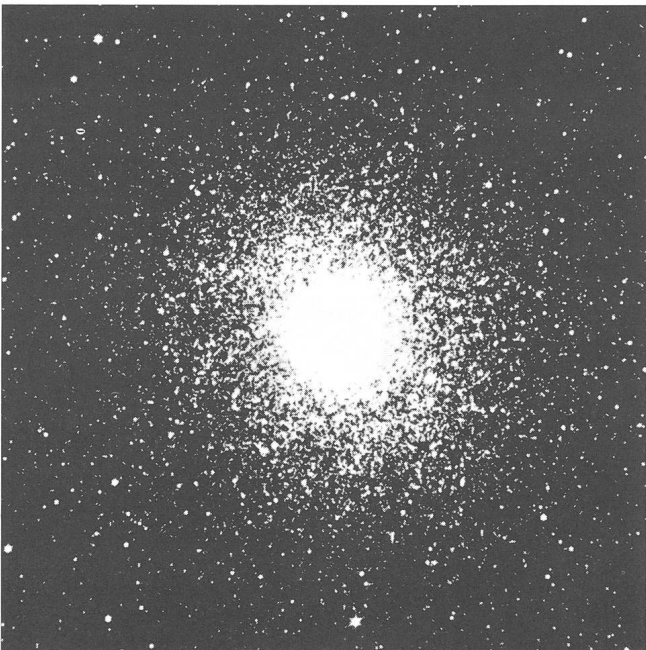


Fig. 2: L'amas globulaire M 13, situé dans la constellation d'Hercule, comprend quelques centaines de milliers d'étoiles. Il se trouve à la distance de 24 000 années-lumière. C'est un exemple d'objets parmi les plus anciens et les plus déficients en métaux de notre Galaxie; son âge est de l'ordre de 12 à 15 milliards d'années.

L'évolution des étoiles massives et l'abondance de l'hélium cosmologique

Ce sont les étoiles de masse supérieure à environ 10 masses solaires qui contribuent le plus à l'évolution chimique d'une galaxie. En effet, le temps de vie d'une étoile massive, c'est-à-dire le temps pendant lequel se produisent les diverses réactions nucléaires, est inférieur à 10 millions d'années. Cela signifie que 1000 générations d'étoiles massives peuvent en principe se succéder pendant la seule vie du Soleil. Pour faire la part respective de l'hélium cosmologique et de l'hélium d'origine stellaire, il est donc nécessaire de connaître les quantités d'éléments produits par les étoiles massives.

Les calculs d'évolution stellaire nous permettent de montrer que les étoiles massives produisent près de 3 fois plus d'hélium que de métaux, si l'on tient compte de la perte de masse par le phénomène dit de vents stellaires (éjection de particules par la pression du rayonnement), observés notamment grâce aux satellites Copernicus et IUE. Comme l'abondance en métaux dans les étoiles de composition solaire est d'environ 1,7%, le facteur 3 mentionné ci-dessus implique que la synthèse stellaire est responsable d'une teneur en hélium d'environ 5%.

Ainsi que nous l'avons vu plus haut l'abondance de la Galaxie en hélium est de 25 à 30%; aussi le résultat précédent implique-t-il que seule une faible fraction, environ 1/5e, de tout l'hélium observé est d'origine stellaire tandis que la majeure partie, environ 4/5e, est d'origine cosmologique. Ce résultat est étayé par le fait que l'abondance des éléments lourds (origine stellaire) varie beaucoup suivant que l'on considère des populations stellaires récentes ou très anciennes, tandis que l'abondance en hélium semble subir moins de variations.

L'abondance de l'hélium cosmologique (4/5e de tout l'hélium observé ou 20 à 25% de toute la matière présente dans l'Univers) correspond très bien aux résultats trouvés par les modèles représentant l'évolution de l'Univers. C'est donc un succès extraordinaire des modèles construits sur la base de la théorie d'Einstein que de pouvoir expliquer par les réactions actives durant les premières minutes de l'Univers la forte proportion d'hélium, dont on ne parvient pas à rendre compte par des processus stellaires dans les galaxies.

Ce résultat concernant l'origine de l'hélium s'ajoute à ceux de l'expansion de Hubble et du fond de rayonnement trouvé par Penzias et Wilson: il tend aussi à renforcer l'idée que l'Univers est né il y a environ 15 milliards d'années, sans doute de manière explosive, à partir d'un état très dense et très condensé. L'expansion observée actuellement, le fond de rayonnement, la forte proportion d'hélium non-stellaire sont ainsi des signatures laissées par les phases antérieures de l'Univers. D'autres traces de ces phases très lointaines restent certainement encore à trouver.

Ce problème de l'hélium nous montre comment les astrophysiciens cherchent, par des observations et des travaux théoriques, à répondre à cette curiosité profonde, qui habite l'homme depuis la nuit des temps, concernant l'origine de l'Univers, son évolution, sa structure et ses limites.

Adresse de l'auteur:

André Maeder, Observatoire de Genève, CH-1290 Sauverny.