

Indices sur l'origine des disques épais dans les galaxies spirales



Date de mise en ligne : mardi 1er février 2011

Les galaxies spirales ont non seulement un disque mince d'étoiles, mais aussi un disque épais, de faible luminosité. Les mécanismes invoqués pour former cette composante sont multiples : une phase turbulente initiale dans la formation des galaxies, les fusions entre galaxies, en passant par la migration radiale des étoiles due à la présence de barres stellaires. Une équipe d'astronomes de l'Observatoire de Paris a effectué des simulations numériques pour tester si les fusions mineures de galaxies (avec des petits satellites) pourraient être responsables de la formation des disques épais. Ils constatent en effet un disque épais à la fin de la simulation, constitué pour la plupart d'étoiles qui proviennent du disque mince de la galaxie principale. Les modèles montrent que le disque épais a une échelle de hauteur qui augmente avec le rayon, et une échelle de longueur qui est plus grande que celle du disque mince. Ils ont également simulé la formation du disque épais par l'intermédiaire de la barre, et ils ne trouvent pas dans ce cas une échelle de longueur plus grande que celle du disque mince. Les différentes caractéristiques qui en résultent pourraient aider à déterminer les mécanismes réels de formation de cette composante.

Les disques épais sont caractéristiques dans les galaxies à disque et sont observés tout le long de la séquence de Hubble - des galaxies lenticulaires aux galaxies de type tardif sans bulbe. Fait intéressant, même si les disques minces des galaxies présentent une grande variété de propriétés structurales, les disques épais semblent avoir de nombreuses caractéristiques en commun, indépendamment des propriétés de leur galaxie hôte. Les étoiles du disque épais sont en général anciennes, pauvres en métaux, et montrent un retard dans leur rotation, c'est-à-dire elles tournent autour du centre de la galaxie plus lentement que les étoiles du disque mince. Dans certaines galaxies, une fraction élevée (jusqu'à 50%) des étoiles du disque épais est en contre-rotation par rapport aux étoiles du disque mince. Les disques épais étant observés dans la majorité des galaxies spirales, notre Galaxie aussi en possède un. Il a une masse qui est environ 10% de la masse du disque mince, ses étoiles ont une rotation inférieure à celle des étoiles du disque mince, elles sont vieilles, riches en éléments alpha, et avec une métallicité moyenne intermédiaire entre celles des étoiles du disque mince et celle des étoiles du halo.

Figure 1 : Echelle de hauteur, z_0 , des disques épais et d'excès stellaires formés par de fusions mineures, en fonction de la distance du centre de la galaxie, en unités de la longueur de l'échelle de disque, r_d . Les zones ombrées indiquent la dispersion des échelles de hauteur. La dispersion trouvée dans les échelles de hauteur est due aux différentes conditions initiales orbitales. Les échelles de hauteur du disque stellaire au temps initial de la simulation (ligne pointillée) et après son évolution isolée pendant 3 milliards d'années (ligne en tirets) sont également présentées. L'excès stellaire a des propriétés morphologiques et cinématiques qui sont distinctes de celles qui caractérisent les étoiles du disque épais : l'échelle de hauteur de l'excès stellaire est constante en rayon, alors que l'épaisseur du disque épais augmente avec le rayon - cette augmentation est en effet une caractéristique des disques épais formés par des fusions mineures.

Même si les disques épais sont connus et étudiés depuis 30 ans, leur origine est encore très débattue. De nombreux mécanismes ont été invoqués pour expliquer leur formation. Les processus internes tels que la diffusion des étoiles par les bras spiraux, les nuages moléculaires, ou par les grumeaux massifs qui se forment dans le disque de galaxies très riches en gaz dans l'Univers jeune, et encore la migration radiale des étoiles du disque interne vers le disque externe, tous ces mécanismes sont en mesure de chauffer un disque mince pour produire une composante plus épaisse. Mais d'autre part, il est bien connu que les mécanismes externes, comme les fusions mineures, i.e. les fusions de petits satellites sur une galaxie plus massive, peuvent aussi être un moyen pour épaissir un disque mince pré-existant. Comment peut-on distinguer entre ces différents processus pour expliquer l'origine du disque épais ? Quels sont les signatures (peut-être) uniques que ces processus laissent dans les étoiles - dans leur distribution, dans l'abondance de métaux et leur rapports, et dans la cinématique ?

Figure 2 : Diagramme de Toomre des étoiles entre $2-3r_d$ après une fusion mineure en orbite directe (figure de gauche) et dans un disque "clumpy" après 3 milliards d'années d'évolution. Le diagramme de Toomre montre la relation entre l'énergie cinétique radiale et verticale des étoiles et l'énergie de rotation par rapport au LSR. Dans les modèles de fusion mineures, les étoiles de l'excès stellaire se trouvent exactement dans la zone du diagramme de Toomre où les étoiles du halo riches en éléments alpha se trouvent (Nissen & Schuster 2010, A&A, 511, L10), renforçant ainsi l'hypothèse selon laquelle ces étoiles peuvent avoir été à l'origine, dans le disque mince. Le modèle de disque "clumpy" ne peut pas reproduire le diagramme de Toomre de la Voie Lactée, car ce mécanisme ne peut pas chauffer si efficacement dans le sens vertical les étoiles du disque mince. Dans les deux panneaux, la ligne en tirets représente une vitesse de 180 km/s, qui sert de critère possible pour comparer les étoiles du disque épais et les étoiles du halo (Venn et al. 2004, AJ, 128, 1177), et la ligne pointillée représente le LSR dans ces modèles. Les étoiles du voisinage solaire du disque épais sont montrées avec des triangles, les étoiles du halo avec des abondances $[\alpha/\text{Fe}]$ élevées avec des carrés et les étoiles du halo avec des faibles rapports $[\alpha/\text{Fe}]$ avec des croix (voir Nissen & Schuster (2010) pour plus de détails). Les étoiles du halo en mouvement rétrograde sont indiquées en vert tandis que ceux en mouvement prograde sont en bleu.

A travers la réalisation de dizaines de simulations, incluant la gravité (étoiles, gaz, matière noire) et l'hydrodynamique du gaz, un groupe de chercheurs de l'Observatoire de Paris a étudié les empreintes laissées par les fusions mineures sur la distribution verticale des étoiles par rapport au plan de la galaxie. Leurs résultats montrent que lors de la fusion d'un satellite, les étoiles du disque mince de la galaxie primaire peuvent être chauffées et dispersées à des distances très grandes du plan. Cela laisse une signature unique dans le profil vertical de densité de surface : le disque épais formé lors de la fusion a un "excès" d'étoiles dans les régions les plus éloignées du disque ($z > 2$ kpc). La distribution des étoiles dans le disque épais semble suivre une double fonction sech. La première de ces fonctions caractérise le disque épais. La deuxième composante, à plus grands z , définit l'excès. L'échelle de hauteur de l'excès est supérieure à celle de la composante principale du disque épais. Les étoiles dans l'excès ont une vitesse de rotation inférieure à celle des étoiles du disque épais, et donc elles peuvent être confondues avec des étoiles du halo interne de la Galaxie, qui peuvent avoir une rotation similaire.

Fait intéressant, certaines des étoiles de l'excès pourraient déjà avoir été observées. Récemment, Nissen & Schuster (2010) ont découvert la présence dans le voisinage solaire d'étoiles avec une cinématique du halo, mais des rapports $[\alpha/\text{Fe}]$ similaires à ces des étoiles du disque épais. Les modèles montrent aussi que les disques épais résultats de fusions mineures ont une longueur d'échelle radiale qui est 10-50% supérieure à celle du disque mince. Cette différence semble également confirmée par les observations. Les disques épais formés par des processus internes ne montrent aucun excès stellaire dans le profil vertical de densité de surface, ni une longueur du disque épais qui soit significativement supérieure à celle du disque mince.

En conclusion, les observations appuyées par les simulations tendent à favoriser les fusions mineures pour la formation du disque épais de notre Galaxie.

Références

Qu Y., Di Matteo P., Lehnert M., van Driel W. : Characteristics of thick disks formed through minor mergers : stellar excesses and scale lengths *Astronomy & Astrophysics*, in press Di Matteo, P., Lehnert, M. D., Qu, Y., van Driel, W. 2011, The formation of a thick disk through the heating of a thin disk : Agreement with orbital eccentricities of stars in the solar neighborhood *A&A*, 525, L3

Contact

Yan Qu (Observatoire de Paris, GEPI, et CNRS)

Indices sur l'origine des disques épais dans les galaxies spirales

Paola Di Matteo (Observatoire de Paris, GEPI, et CNRS)

Matt Lehnert (Observatoire de Paris, GEPI, et CNRS)

Wim van Driel (Observatoire de Paris, GEPI, et CNRS)