Modèles et observations photométriques sur la rotation et l'évolution stellaires

Autor(en): **Maeder, André**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences [1948-1980]**

Band (Jahr): **24 (1971)**

Heft 3

PDF erstellt am: **25.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-739708

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

MODÈLES ET OBSERVATIONS PHOTOMÉTRIQUES SUR LA ROTATION ET L'ÉVOLUTION STELLAIRES

PAR

André MAEDER

Dans le travail résumé ici, nous étudions l'apport possible d'informations sur la rotation et l'évolution stellaires par une analyse photométrique des étoiles de type B à F proches de la séquence principale. Ce travail est divisé en trois parties: dans la première, on calcule des modèles d'atmosphères stellaires en rotation, qui dans la deuxième partie servent de base à l'étude des observations (Rufener, 1971). Dans la troisième partie, nous étudions quelques interactions de la rotation avec l'évolution stellaire en faisant appel aux résultats des deux premières parties.

I. MODÈLES DE FLUX D'ÉTOILES EN ROTATION UNIFORME

Pour comparer des observations photométriques et des modèles, nous devons disposer de tables des effets photométriques de la rotation assez complètes en valeur de la vitesse équatoriale v_R et de l'angle i formé par l'axe de rotation et la direction de l'observateur. Nous voulons aussi que ces tables couvrent le domaine de types spectraux A et B qui est bien étudié dans de nombreux amas ouverts. Ces deux exigences nous imposent la construction de nouveaux modèles d'étoiles en rotation uniforme.

Les distributions spectrales d'étoiles en rotation uniforme de 5, 2 et 1.4 $M_\odot$ sont calculées en suivant la méthode de Collins (1963). Les variations du rayon polaire et de la luminosité totale avec la rotation proviennent des tables de Faulkner et al. (1968). En plus des opacités continues, il est nécessaire de prendre en considération les opacités des raies de l'Hydrogène des séries de Lyman et de Balmer, à cause *a)* de l'influence des opacités des raies de l'Hydrogène sur la structure des atmosphères et *b)* de l'énergie bloquée dans les raies de Balmer qui affecte particulièrement les observations photométriques telles que la magnitude B dans le système UBV ou la magnitude B_1 dans le système de l'Observatoire de Genève. La structure des atmosphères locales, les fonctions sources S_ν et les opacités τ_ν sont calculées à l'aide du programme Atlas de Kurucz, dont la version Fortran disponible à l'Observatoire

de Genève est due à Peytremann. Les flux des modèles en rotation (Maeder et Peytremann, 1970) sont donnés pour le visible, l'IR et l'UV. Les indices et paramètres photométriques sont calculés pour le système UBV et celui de l'Observatoire de Genève.

II. LES OBSERVATIONS PHOTOMÉTRIQUES DES EFFETS DE LA ROTATION STELLAIRE

Etoiles de type B : Dans le diagramme (U — B) vs. (B — V), la théorie prévoit que la rotation ne produit que des écarts négligeables par rapport à la séquence de référence. Or, nos observations montrent une absence de rotateurs rapides proches de cette séquence pour les types BO V à B5 V. Ainsi les étoiles dont l'excès de couleur est inférieur à $0^{m}.04$ ont une vitesse moyenne (74 km/s) nettement inférieure à la moyenne générale (env. 200 km/s). Cet effet disparaît après le type B5 V, à partir duquel l'accord avec les modèles semble réalisé. La rotation a donc dans le diagramme (U — B) vs. (B — V) une composante perpendiculaire à la séquence de référence qui n'est pas prévue par les modèles. Cet effet est dans le même sens que celui observé par Feinstein (1968) pour les étoiles Be et montre une invalidité dans les hypothèses de base, par exemple celle de la rotation uniforme ou celle d'atmosphères non étendues en ETL.

Etoiles de types A et F : Les effets de la rotation en magnitude, indice (B — V) et discontinuité de Balmer prévus par les modèles montrent un très bon accord avec les observations de Golay (1968) pour les étoiles A V jusqu'au type A7 V. Ce fait et d'autres également rapportés supportent bien l'hypothèse de la rotation uniforme pour ces étoiles. Après le type FO V et jusqu'au type F5 V (où les vitesses de rotation deviennent très petites), des effets de la rotation sont encore observés. On trouve que ces effets ne correspondent plus à ceux prévus par les modèles: ils sont trop grands par un facteur 2 (en M_v, en (B — V) et discontinuité de Balmer). Deux faits au moins peuvent être invoqués pour expliquer cette différence: *a)* la rotation non uniforme, au sujet de laquelle on peut faire les remarques suivantes. Les effets observés sont en bon accord dans le diagramme couleur-magnitude avec les modèles en rotation non uniforme de Strittmatter et Sargent (1966). On note aussi que la limite (env. A7 V) entre les deux comportements photométriques de la rotation coïncide avec l'apparition de la convection dans les enveloppes stellaires. *b)* Ce désaccord peut aussi être dû à l'effet différentiel de la rotation sur les raies métalliques qui n'ont pas été inclues dans les présents modèles.

Rotation et binarité dans le diagramme couleur-magnitude de Praesepe : Plusieurs auteurs ont étudié les effets de la rotation dans le diagramme couleur-magnitude de Prasepe, avec des conclusions souvent divergentes. Une des sources de difficultés

réside dans le fait que les étoiles en rotation rapide occupent dans ce diagramme la même position que les étoiles binaires (dont le caractère binaire peut ne pas avoir été reconnu). La discussion simultanée des écarts en m_v dans le diagramme m_v vs. $(B_2 - V_1)$ et m_v vs. d permet la séparation de ces deux effets pour les étoiles de type A et F dans les amas. Les écarts des étoiles en rotation sont plus petits dans le diagramme m_v vs. d que dans le diagramme couleur-magnitude. Pour les binaires, ces écarts sont égaux. La différence entre les écarts dans ces deux diagrammes est sensible au produit $v_R \sin i$ indépendamment de la binarité et conduit à une mise en évidence claire des effets controversés de la rotation. On trouve alors que ces effets sont trop grands d'un facteur 2 par rapport aux prédictions des modèles. Ce résultat obtenu pour des étoiles de types A7 V à F5 V confirme ce que nous avons déjà vu plus haut. Cette méthode permet aussi de proposer dans Praesepe 8 nouvelles binaires, dont les écarts photométriques sont particulièrement flagrants.

Les travaux rappelés ci-dessus nous ont permis de faire une comparaison serrée entre modèles et observations, de montrer les régions du diagramme HR où cet accord est réalisé et de préciser la nature des différences pour celles où cet accord n'existe pas.

III. QUELQUES INTERACTIONS DE LA ROTATION AVEC L'ÉVOLUTION

Dans cette partie (Maeder, 1971) nous nous intéressons surtout aux effets de la rotation sur les estimations de l'âge des étoiles au voisinage de la séquence principale. Ces effets sont de 2 sortes:

a) *Les effets de la rotation sur l'évolution interne des étoiles*

L'échelle de temps t de l'évolution au voisinage de la séquence principale pour une étoile de masse M et de luminosité L est donnée par $t \sim q_c\, M/L$. q_c est la fraction de masse combustible donnée par la limite de Schonberg-Chandrasekhar (S-C), (1942). L et q_c varient avec la rotation, L diminue au maximum de 8% pour une étoile sur la séquence d'âge zéro (Faulkner et al. 1968). Dans la phase shell H-burning, nous avons calculé que cette diminution était de 4% au maximum.

Nous étudions les effets de la rotation sur la limite de S-C, par un développement analytique au premier ordre. Le théorème du Viriel exprimé pour une configuration isotherme en rotation permet de discuter les effets de la rotation sur la stabilité du noyau stellaire et en particulier sur la pression maximum que celui-ci peut supporter. La limite de S-C peut augmenter ou diminuer suivant la loi de rotation dans l'enveloppe. Dans le cas de la rotation uniforme, la limite de S-C change très peu même pour une rotation extrême (diminution max. 3%). En tenant compte des effets sur L et sur q_c, on trouve que t n'est que peu modifié par la rotation uniforme (augmentation max. 4%).

Par contre, une rotation non uniforme caractérisée par un noyau en rotation très rapide conduit à une augmentation de la limite de S-C, pouvant accroître de façon très importante la fréquence des étoiles au stade « shell H-burning » dans les amas ouverts par exemple. Un excès d'étoiles dans ce stade de l'évolution par rapport à ce que prévoient les modèles habituels a été récemment observé par Burkhead (1971) dans NGC 6819.

b) *Les effets atmosphériques de la rotation*

Le spectre d'une étoile et par conséquent ses propriétés photométriques dépendent de v_R et de i. Le problème à résoudre pour déterminer l'âge d'une étoile en rotation est de restituer dans le diagramme HR la position qu'elle occuperait si elle ne tournait pas. La connaissance de v_R et de i séparément est nécessaire. Cependant, les modèles montrent une propriété importante: le changement d'indice de couleur dû à la rotation dépend essentiellement du produit v_R sin i. L'importance de l'orientation des axes de rotation n'a donc aucune influence sur la correction en indice. Notons en passant, que cette propriété barre la route à une éventuelle séparation de v_R et de i basée sur des indices de couleur; il reste la possibilité cependant d'utiliser l'effet en m_v. Grâce à la propriété citée plus haut, on peut restituer l'indice sans rotation du turnoff des amas ouverts. Il est bien entendu que l'indice d'une étoile ne peut être restitué à sa valeur sans rotation que dans l'intervalle de types spectraux (B5 à A7) où l'accord entre les modèles de la partie I et les observations de la partie II est observé. Pour le reste, de meilleurs modèles sont à réaliser.

Les âges de 7 amas, pour lesquels des valeurs de v_R sin i sont connues sont estimés avec et sans correction de rotation par fitting avec des lieux isochrones de modèles sans rotation. On trouve que sans ces corrections, les âges des Pléiades et de α Per sont surestimés de 60 à 70% au moins. Pour les Hyades, Praesepe et Coma, ces différences sont faibles et se montent à 10 ou 20%. De nombreux écarts aux séquences dans le diagramme couleur-magnitude sont bien expliqués par la rotation et le turnoff de plusieurs amas apparaît mieux défini après ces corrections.

BIBLIOGRAPHIE

BURKHEAD, M. S. (1971). *A. J. 76*, 251.
COLLINS, G. W., II. (1963). *Ap. J. 138*, 1134.
FAULKNER, J., I. W. ROXBURGH et P. A. STRITTMATTER. (1968). *Ap. J. 151*, 203.
FEINSTEIN, A. (1968). *Z. Astrophys. 68*, 29.
GOLAY, M. (1968). *Publ. Obs. Genève, 75*, 105.
MAEDER, A. (1971). *Astron. Astrophys., 10*, 354.
MAEDER, A. et E. PEYTREMANN. (1970). *Astron. Astrophys., 7*, 120.
RUFENER, F. G. (1971). *Astron. Astrophys.*, Suppl. *3*, 181.
SCHÖNBERG, M. et S. CHANDRASEKHAR. (1942). *Ap. J., 96*, 161.
STRITTMATTER, P. A. et W. L. W. SARGENT. (1966). *Ap. J., 145*, 130.