

Astrophysique théorique

M. Jean-Claude PECKER, membre de l'Institut
(Académie des Sciences), professeur

COURS

ÉVOLUTION DES GALAXIES

II. Interactions avec le milieu intergalactique

Le cours était annoncé comme devant traiter des problèmes posés par les galaxies multiples. Mais seuls ont été traités les aspects de ces problèmes liés à l'échange de matière avec le milieu intergalactique, notamment au sein des amas de galaxies, à l'exclusion des problèmes de dynamique et d'interaction entre galaxies, qui seront traités l'année suivante.

Dans les familles de galaxies (galaxies doubles et multiples, groupes et amas), une des manifestations les plus évidentes de l'interaction est l'échange de masse entre une galaxie donnée et le milieu intergalactique. Ce processus, quel qu'en soit le moteur, est déterminant pour l'étude de l'évolution galactique. On notera que l'on peut généraliser cette étude par celle des échanges de matière entre une galaxie et le milieu extérieur, même si cette galaxie est simple : il s'agit alors d'une interaction entre la galaxie et son passé, le milieu circumgalactique étant évidemment constitué en partie des déchets qu'y a éjectés la galaxie. L'idée maîtresse qui est à l'origine de ces leçons est que l'évolution d'une galaxie ne peut pas être étudiée comme s'il s'agissait d'un système isolé.

1. *Distribution et mesure de la masse de matière intergalactique*

C'est à Wolf, dès 1901, mais surtout à Zwicky, que l'on doit d'avoir affirmé l'existence de quantités importantes de matière dans le milieu intergalactique (que nous désignerons par l'abréviation MIG). Dans des amas suffisamment

compacts, les collisions fréquentes arrachent de la matière aux galaxies : on doit donc observer, entre les galaxies, du gaz et des poussières (milieux absorbants), ainsi que des étoiles (responsables d'une émission lumineuse). Ces deux types d'observations ont été abordés par Zwicky dans les observatoires californiens ; plus récemment la radioastronomie de l'hydrogène neutre (à 21 cm), et celle des sources de rayonnement continu a complété ces données, et l'on peut désormais envisager avec réalisme l'étude du bilan (pertes, gains) de masse des galaxies.

Les principaux résultats peuvent se résumer comme suit.

(a) Le *décompte des galaxies du champ* dans la direction d'un amas met en évidence l'absorption par les poussières. Le *décompte des amas du champ* donne des indications plus sûres ; pour 1.5 amas par degré carré dans une région normale, on en trouve seulement 0.2 dans la région de Virgo ou de Coma, ce qui correspond à une extinction maximum de $0.2/1.5 = 0.133$, soit de $\Delta m = 2.5 \log(7.5) \cong 2$ magnitudes. Le cas de Coma a été particulièrement bien étudié ; l'amas absorbe *en moyenne* 0.6 magnitude, ce qui, compte tenu de données diverses sur les dimensions de l'amas, et les propriétés probables des poussières intergalactiques, donne une masse de poussières de l'ordre de $0.2 \cdot 10^{35}$ g, soit 10 masses solaires (10^{-13} fois la masse de l'amas), soit encore une densité de $\rho = 0.5 \cdot 10^{-42}$ g cm^{-3} .

Ces valeurs, on le comprendra, ont paru très faibles, et ont conforté certains auteurs dans leur idée qu'il était légitime d'oublier l'existence de la MIG. On notera que l'émission des poussières dans l'infrarouge devrait être mesurable, et que ce programme devrait être abordé par les grands instruments spatiaux travaillant dans l'infrarouge et associés à la navette spatiale.

(b) Les *études de l'hydrogène neutre circumgalactique et intergalactique* sont nombreuses et mettent en évidence de larges fluctuations d'un milieu à l'autre.

L'étude des radio-sources doubles proches donne Q_{MIG} totale $> 10^{-29}$; à des valeurs de z de l'ordre de 1 à 2 (sources distantes), on estime alors que $\rho \sim 10^{-28}$, ce qui est très élevé.

L'absorption de la raie à 21 cm donne des valeurs plus faibles ; à l'aide de sources localisées à $z \sim 2$, on trouve une valeur moyenne de $\rho \lesssim 10^{-34}$ g cm^{-3} ; on notera que les deux mesures ne sont pas nécessairement comparables : l'absorption dépend de la population du niveau inférieur, l'émission celle du niveau supérieur de la transition. Mais une telle différence reste réellement peu compréhensible, sauf si les radio-sources ne sont pas à leur « distance cosmologique ».

On notera aussi l'absorption autour des QSS de raies nombreuses ; si l'émission correspond à un décalage spectral donné pour un QSS donné, les absorptions correspondent à diverses valeurs de z pour les divers ions (tels que H I - Ly α -, Si II, Si III, Si IV, C II...). La valeur de Δz peut être de l'ordre de 0.01 à 0.88; s'il s'agit d'un milieu ionisé, la densité électronique en est estimée à 10^{-3} électrons cm^{-3} , soit 10^{-27} g cm^{-3} pour le milieu circumgalactique.

(c) Dans le spectre de certains QSS lointains, on a pu mettre en évidence en absorption la bande de Lyman de l'hydrogène *moléculaire*. A $z \sim 2$, on trouve $n_{\text{H}^2} < 4 \cdot 10^{-19}$ particules cm^{-3} ; ceci correspond à $\rho_{\text{H}^2} < 1.5 \cdot 10^{-42}$! De même l'absorption par Mg II semble négligeable dans la MIG.

(d) Dans ce contexte il faut noter la remarque ancienne de Zwicky qui affirme que les espaces interstellaires et intergalactiques pourraient contenir bien d'autres particules et notamment des *neutrinos* : ceux-ci, seuls, pourraient conduire à une valeur de ρ supérieure à 10^{-26} g cm^{-3} .

(e) Enfin des raisonnements théoriques permettent d'avoir une idée de la densité de la MIG : ainsi l'application du théorème du viriel aux amas de galaxies permet-elle la mise en évidence d'une masse « manquante » (c'est-à-dire non présente dans les galaxies visibles) de l'ordre au moins de la masse de l'amas lui-même, ce qui correspond à des densités de l'ordre de 10^{-29} g cm^{-3} . Une analyse de la dynamique des galaxies doubles conduit à des valeurs beaucoup plus faibles.

Il est à remarquer que souvent une incertitude majeure gêne la traduction des observations en terme de densité de matière : en effet, on mesure l'intensité d'une absorption ou d'une émission, et parfois son étendue angulaire ; mais la distance de la source est souvent arbitraire, d'où une incertitude sur la masse totale. Cette difficulté donne lieu à des conclusions contradictoires, comme on le voit dans l'étude du voisinage de notre Galaxie.

2. Etude du voisinage de la Galaxie à 21 cm

a) La raie à 21 cm de l'hydrogène correspond à une transition de spin $F = 1 \rightarrow 0$.

Dans les conditions dans lesquelles cette raie est observée, les profils de la raie sont essentiellement dus à l'effet Doppler, et sont l'image de la distribution des vitesses le long de la ligne de visée.

En effet, la largeur naturelle de la raie ($\gamma_{\text{class}} = 0.22 \cdot 10^8 \lambda^{-2}$, où λ est en μm) est de $\Delta_{\text{class}} \lambda / \lambda = 0.5 \cdot 10^{-13}$; l'élargissement dû aux vitesses thermiques (de l'ordre de 1.3 km/sec pour $T = 100$ K) est de $4 \cdot 10^{-6}$;

mais les largeurs observées correspondent à des vitesses de l'ordre de plusieurs centaines de km/sec.

Les profils observés sont en émission, et dépendent fortement de la longitude galactique ; les bras spiraux s'y manifestent par un renforcement de l'intensité à la vitesse radiale correspondante, et dans la direction du centre galactique on observe la raie en absorption.

L'analyse des profils permet de déterminer la carte de l'hydrogène neutre dans la Galaxie. Mais elle repose sur une relation ambiguë. Si l'on considère un « bras » circulaire de rayon R , le Soleil décrivant autour du centre galactique une orbite de rayon R_0 à la vitesse v_0 , à la vitesse angulaire Ω_0 ; si le gaz se déplace le long du bras à la vitesse v , à la vitesse angulaire Ω , alors la vitesse radiale mesurée de ce bras est :

$$v_{\text{rad}} = R_0 (\Omega - \Omega_0) \sin l$$

l étant la longitude galactique de la direction de visée. On connaît l , Ω_0 , et on mesure v_{rad} . On en déduit Ω ; mais si R est inconnu, v l'est aussi... d'où l'origine de la controverse évoquée déjà à la fin du paragraphe précédent.

Si un nuage d'hydrogène est observé, l'intensité mesurée à 21 cm est proportionnelle à la masse du nuage et à l'inverse du carré de la distance inconnue. Si l'on suppose une trop grande distance, une beaucoup trop grande masse se déduit donc nécessairement d'une mesure donnée.

b) Or, les mesures faites le long de la bande du ciel correspondant à la Galaxie, à des latitudes galactiques faibles, mettent en évidence, hors de la zone d'émission maximum, des « nuages » de vitesse négative assez élevée, qui semblent *tomber* vers la Galaxie avec des vitesses de 200 à 300 km/sec (Dieter, 1971, 1972 ; Hulsbosch, 1968).

La masse de ces nuages dépend, on l'a vu, de l'hypothèse qu'on fera sur leur distance. Si l'on considère la vitesse radiale mesurée comme résultant d'une vitesse v_I de chute vers le centre galactique, et d'une vitesse v_{rot} de rotation autour de ce centre, la vitesse mesurée v_{rad} peut être interprétée comme suit : on choisit v_I pour que v_{rad} soit partout négatif ; on choisit R arbitrairement ; pour Ω constant, on en déduit pour chaque valeur de R une loi $v_{\text{rad}}(l)$; on choisit la valeur de R qui donne le meilleur accord. Le résultat est d'ailleurs que R est une fonction de l .

Si l'on se donne $v_I = 125 \text{ km/sec}^{-1}$, on peut décrire correctement les observations à l'aide d'une loi $R(l)$, où R prend des valeurs comprises entre 12 et 15 kpc, R_0 étant égal à 10 kpc. Les nuages constituent un anneau continu d'épaisseur 3.5 kpc environ, et qui apparaît légèrement tordu autour du

plan galactique. La masse déduite de cette interprétation est de l'ordre de $2 \cdot 10^8 M_{\odot}$, soit $10^{-3} M_{\text{gal}}$, ce qui est assez grand, d'autant plus que l'on a choisi des données qui localisent l'anneau de Dieter à distance relativement faible.

c) Les travaux de Oort et Hulbosch se sont orientés principalement vers les latitudes galactiques élevées. On trouve alors de nombreux nuages, discrets, mais parfois groupés en chaînes granulaires. Tous ces nuages ont des vitesses négatives. A sensibilité plus élevée les nuages apparaissent évidemment réunis par des ponts de matière (Encrenaz). Les histogrammes font clairement apparaître, à toutes latitudes et longitudes deux populations, celle des nuages (-200 km/sec), celle des bras galactiques (petites valeurs de b) allant de 0 à $+150$ km/sec.

Les distances sont aussi incertaines que celle de l'anneau de Dieter. Certaines étoiles lointaines permettent l'observation de HI en absorption et leur distance, étant connue, améliore la localisation des nuages. Pour six étoiles, on observe HI et Ca II en absorption, avec la même vitesse radiale que celle des nuages HI voisins, on en déduit que la distance au plan galactique de ces nuages est de l'ordre de 0.3 à 2 kpc ; pour quatre étoiles où l'absorption n'existe pas malgré l'intensité du nuage observé dans la même direction, on en déduit que celui-ci est à une distance minimum de 90 à 600 pc, suivant les cas. Ces résultats ne sont pas incompatibles avec les données de Dieter.

d) Parmi les nuages observés, figure une chaîne qui semble bien unir la Galaxie aux « Nuages » (*) de Magellan. La vitesse radiale de ce courant magellanique au voisinage des Nuages de Magellan est de l'ordre de 150 à 250 km/s ; au voisinage (20 kpc) de la Galaxie, elle est de l'ordre de 400 km/s, selon Wannier et Wrixon. Un tel courant résulte peut-être de marées et nous y reviendrons.

e) D'autres chaînes, comparables au courant magellanique, ont été observées. C'est le cas de la chaîne A dont la distance moyenne serait de 300 kpc, la longueur du même ordre de grandeur, et la masse de l'ordre (au moins) de $5 \cdot 10^9 M_{\odot}$, si son origine est supposée identique à celle du courant magellanique. Mais si l'on suppose un autre mécanisme, d'autres calculs (voir Oort) aboutissent à une longueur de 1 à 2 kpc, à une masse de $10^4 M_{\odot}$, la chaîne étant très proche de nous et se déplaçant dans l'extension de z élevé du bras local et du bras de Persée.

f) Ces études mettent en évidence par conséquent plusieurs mécanismes d'accrétion par la Galaxie, et plusieurs descriptions des nuages intergalac-

(*) On prendra soin de ne pas confondre les deux acceptions du mot « nuage » utilisées ici.

tiques observés correspondant aux trois mécanismes proposés ci-dessus (anneau en chute de Dieter, nuages en chute proche de Oort, courant magellanique en chute lointaine). Il faut ajouter : la possibilité alternative de décrire certaines observations par un bras spiral normal et tordu, à grande distance (Verschuur, Davies) ; l'existence de restes de supernovae en dispersion ; la condensation, depuis une couronne gazeuse, de nuages en chute (Field), cette couronne gazeuse résultant peut-être elle-même de la récupération de gaz éjectés jadis par la Galaxie.

g) Le flux de masse accrété dépend bien évidemment des hypothèses. A partir des données de Dieter, on trouve : $\Delta M/M \sim 2 M_{\odot}/\text{an}$; pour Oort la masse des nuages est trop faible pour une valeur si élevée ; pour Verschuur, leur distance est grande, leur masse est de $10^{-2} M_{\odot}$, ... mais la vitesse de chute est nulle, donc aussi le taux d'accrétion.

3. Etude de l'hydrogène neutre dans d'autres galaxies

a) L'étude à 21 cm de galaxies comme M 31, M 33, NGC 68224, etc., met en évidence l'existence d'une distribution annulaire (pas d'hydrogène neutre dans le bulbe), d'extensions très lointaines, et d'une torsion à 20 kpc du centre galactique dans le plan galactique. La question posée est : y a-t-il accrétion, la matière observée est-elle en chute libre — comme dans le cas de notre Galaxie ?

Avec les notations ci-dessus, en désignant par w la composante de la vitesse perpendiculaire au plan galactique, par ω l'angle, dans le plan de la galaxie entre la direction centre-point visé et la direction du grand axe apparent, par θ l'angle entre la direction de la galaxie et la normale à son plan, on peut écrire :

$$v_{\text{rad}} = v_{\text{rot}} \cos \omega \sin \theta + v_{\text{I}} \sin \omega \sin \theta + w(\omega, r) \cos \theta$$

En travaillant sur le grand axe apparent ($\sin \omega = 0$), on sépare w , θ et v_{rot} étant connus par ailleurs, et on détecte la torsion.

On notera que le phénomène de torsion de l'anneau d'hydrogène, à de grandes distances du centre de la galaxie, et même loin du disque optique, est un phénomène général (NGC 5907, NGC 4631).

A condition de travailler à $\cos \omega = 0$, et en faisant sur w des hypothèses raisonnables, on peut détecter des mouvements radiaux. Shane analyse ses données relatives à M 31 en plaidant pour une expansion (dont l'origine aurait eu lieu il y a $3 \cdot 10^7$ ans) ; mais les données semblent indiquer une dissymétrie étrange entre les deux moitiés opposées du petit axe.

On trouve que v_{rot} pour de nombreuses galaxies, et à condition d'observer suffisamment loin du centre galactique, est indépendant de la distance r au centre. Ceci facilite l'analyse. On devra cependant se méfier des irrégularités possibles, certaines attribuables à des effets de marée.

b) Quelles autres informations peut en définitive donner la mesure de l'intensité et du profil de la raie à 21 cm ? Si l'on considère la distance d de la source à l'observateur comme une inconnue, l'indice de couleur est indépendant de d , la masse d'hydrogène tirée des mesures à 21 cm est proportionnelle à d , la masse de la galaxie et sa luminosité, tirées respectivement de l'analyse dynamique des vitesses tirées de la largeur du profil à 21 cm et de la magnitude visuelle, sont proportionnelles à d^2 . Le rapport de la masse d'hydrogène à la masse galactique est donc proportionnel à $1/d$. Ce rapport, quoiqu'il en soit, augmente régulièrement de 0.005 (galaxies SO, SBO) à 0.220 (galaxies IO). Cette masse est importante et une vitesse déduite, même faible, peut contribuer de façon majeure à une accréation importante, de l'ordre d'une masse galactique en 10^9 ans.

c) Si le taux d'accréation \dot{M}/M est assez grand, un apport nouveau d'hydrogène (sans hélium) impliquerait une baisse du rapport He/H dans les galaxies (malgré une compensation partielle par l'évolution stellaire). Or le rapport de la masse d'hydrogène atomique à la masse galactique est bien fonction du type de la galaxie ; mais He/H semble en être indépendant. Cette constatation favorise l'idée que l'hélium soit « primordial » et que l'abondance en soit de 10 % dans le milieu intergalactique. Cette conclusion ne serait falsifiée que si les âges étant très différents d'un type à l'autre, les deux effets (accréation d'hydrogène, nucléosynthèse de l'hélium) se compensaient presque exactement... Mais ceci reste à démontrer !

4. Sources radio de rayonnement « synchrotron ». Ejection de matière

Ces sources s'observent dans le spectre continu, et leur rayonnement mesure la quantité d'hydrogène ionisé.

a) *Remarques morphologiques.* Les galaxies spirales classiques ont souvent un halo d'hydrogène ionisé à de grandes latitudes galactiques, cette distribution étant fort différente de la distribution d'hydrogène neutre. Le mélange de l'émission synchrotron avec une émission thermique rend le diagnostic difficile et a pour effet notable la variation de l'indice spectral du centre de la galaxie ($\alpha \sim -0.5$) à la périphérie de la région émissive (-1.0 à -1.6). On notera les cas de M 51, de NGC 6949, de NGC 891, de NGC 4631, étudiés par divers auteurs dans le rayonnement centimétrique et décimétrique.

Les galaxies elliptiques classiques (NGC 5128 est un exemple — pas très classique ! —, mais aussi NGC 1316 ou IC 4296) sont souvent des radio-sources doubles. Dans un amas comme Virgo, alors que le flux continu des spirales est assez peu variable d'un type à l'autre, on trouve des elliptiques à flux radio négligeable (NGC 4406, E3, $m_v \sim 10.9$, et $F < 4 \cdot 10^{-29} \text{ w m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$), d'autres à flux énorme (NGC 4374, E1, $M_v \sim 10.8$, et $F \sim 6200 \cdot 10^{-29} \text{ w m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$). Ce fait est difficile à comprendre, mais il faut peut-être l'associer à la faible durée de vie des noyaux actifs.

Les radio-sources doubles sont très nombreuses. Des catalogues ont été dressés. On citera comme typique For A, Cen A (NGC 5128), 3C 33... Leur nombre est de plusieurs centaines et s'accroît toujours avec la résolution des instruments. Intuitivement, on peut penser qu'il s'agit de matière éjectée par la galaxie visible située à mi-chemin entre les deux composantes radio. Que peut-on penser de cette hypothèse ?

b) Les problèmes posés à propos des radio-sources doubles sont essentiellement les suivants : Quelle est la masse des composantes ? Un champ magnétique, et lequel, contribue-t-il à leur confinement ? Quelle est la géométrie et la physique de l'éjection ? Et enfin, y a-t-il parenté entre les radio-sources doubles et les quasars doubles, parfois « superluminiques » (voir ci-après) ?

La théorie du rayonnement synchrotron est suffisamment connue pour que l'on puisse calculer les fonctions-sources et résoudre sans trop de mal les difficultés posées par le transfert du rayonnement. Le diagnostic des mesures est en principe possible : les mesures fournissent le spectre $I(\nu)$; la fréquence critique à laquelle on observe un coude dans le spectre fournit l'épaisseur optique τ du nuage ; le spectre fournit l'indice spectral α , donc une fonction connue du champ B et de la densité n_0 ; τ étant fonction aussi de n_0 , on peut résoudre pour B et n_0 , et du volume présumé du nuage (lié à la valeur de la constante de Hubble), on déduit la masse du nuage. Les ordres de grandeur obtenus sont de l'ordre de 10^{-9} à 10^{-4} gauss pour le champ de confinement, et des masses de l'ordre de 10^6 à 10^9 masses solaires pour la masse des composantes.

Les sources synchrotron peuvent être associées à des enveloppes qui causent une absorption de type thermique, et la théorie du transfert doit en tenir compte.

Les effets perturbateurs dus au couplage entre les électrons responsables de l'émission synchrotron et les ondes de plasmas se propageant dans la même direction que le rayonnement (effet Tsytovitch), sont discutés, et jouent en général peu de rôle, sauf peut-être dans les régions condensées des radio-sources doubles.

c) La détermination empirique de tous les paramètres à partir de la seule donnée du spectre est souvent difficile. On admet en général que la valeur du champ est celle qui correspond à une équipartition de l'énergie entre l'énergie magnétique ($vB^2/8\pi$, où v est le volume occupé par le champ) et l'énergie des électrons ($K \mathcal{L} B^{-3/2}$, \mathcal{L} étant la luminosité, K une constante calculable). Le cas de Fornax A est étudié, à titre d'exemple typique. On a $z = 0.0058$, soit $d = 17$ Mpc (pour $H = 100$ km s $^{-1}$ Mpc $^{-1}$); d'où $v \sim 2.2 \cdot 10^{70}$ cm 3 ; à 1 400 MHz, on trouve un flux de $S_\nu \sim 108$ unités de flux; l'indice spectral est $\alpha = 0.75$, et $\mathcal{L} = 2.8 \cdot 10^{41}$ ergs s $^{-1}$; on en déduit $B = 8 \cdot 10^{-6}$ G, et une densité de $n_0 = 10^{-10}$ électron cm $^{-3}$, donc une masse de l'ordre de $10^3 M_\odot$ si l'on admet une ionisation complète et tous les électrons relativistes (cette masse est donc une limite inférieure). Une multiplication de H par 1/2 conduit à une masse dix fois plus grande.

d) La vitesse des deux masses de matière éjectée qui constituent les radio-sources doubles peut être déterminée indirectement. La vitesse radiale déplace en effet le spectre d'une composante par rapport à l'autre, si bien que le rapport des intensités des deux composantes, mesuré à une fréquence déterminée, fixe la vitesse radiale. On trouve sans mal $\langle v \rangle \sim 0.03 c$ pour diverses sources, ce qui correspond à une valeur maximum de v de l'ordre de 0.08 c .

e) La géométrie de l'éjection a d'abord paru simple aux observateurs : elle semblait favoriser la direction des pôles de la galaxie éjectrice. Mais une statistique plus sérieuse (Pacholczyk) semble montrer que l'éjection n'est pas polaire, mais qu'un angle $\theta \sim 30$ à 45° avec l'équateur galactique définit l'éjection paraissant la plus probable, encore que toutes les autres directions d'éjection soient presque également probables.

5. Les quasars doubles

Dans cinq cas on a observé des quasars doubles et mesuré en fonction du temps l'écartement. On aboutit à d'énormes vitesses apparentes (3C 345 : $v \sim 7c$; 3C 273 : $v = 4c$; 3C 120 : $v = 3.5c$ de 1972 à 1974, puis $7c$ de 1974 à 1977; 3C 279 : $v = 10c$; enfin 4C 39.25 : $v \leq 0.2c$). Ces vitesses sont liées à l'hypothèse de la nature cosmologique du décalage vers le rouge du spectre des quasars, et à la valeur mesurée de H .

On dispose de diverses interprétations.

a) Il pourrait s'agir de l'expansion d'un nuage sphérique relativiste, ou d'ondes relativistes de détonation, ou d'un objet éjecté à grande vitesse. La propagation de ces phénomènes s'observe par l'intermédiaire du rayonnement radio émis par les régions traversées successivement; une vitesse de

phase est observée, et peut excéder largement la vitesse c lorsque la « cible » émettrice a des propriétés géométriques adéquates...

b) Il pourrait s'agir aussi d'effets de diffusion des ondes radio se propageant dans l'espace.

c) Des modèles ingénieux mais compliqués, et finalement peu probables, ont été construits. Nous renvoyons à la bibliographie.

On fera deux remarques importantes.

Suivant Lynden-Bell, nous noterons tout d'abord que les mécanismes proposés impliquent des valeurs élevées (trop par rapport aux données usuelles !) de la constante H de Hubble, dans le cas particulier de 3C 120.

Mais peut-être devrait-on s'interroger de façon plus ouverte : N'y aurait-il pas parenté entre les QSS doubles et les radio-sources doubles (éjections réelles, à des vitesses limitées) ? La distance des QSS doubles ne doit-elle pas être réduite d'un facteur 10 à 100 ?

Une discussion portant sur les histogrammes des radio-sources permet d'appuyer ce point de vue. En effet, à leur distance « cosmologique », les QSS doubles ont des écartements 50 fois plus grands que celui correspondant au pic de l'histogramme. Les flux correspondent à celui du pic de l'histogramme multiplié par 100 (donc à une distance 10 fois plus petite, si l'on veut ramener ces flux sur ce pic).

Le problème le plus grave est donc d'expliquer la valeur anormale du décalage spectral z des QSS. Cette question a été traitée au cours d'années précédentes (Pecker, 1977).

6. Effets des marées sur les pertes de masse

Ces effets semblent dans la logique des descriptions du voisinage galactique. De plus les ponts de matière entre galaxies sont nombreux et fournissent un argument expérimental essentiel (Zwicky).

Des travaux d'intégration numérique détaillée ont été poursuivis par de nombreux auteurs. De façon générale on fait évoluer des particules-tests de masse négligeable dans le champ central d'une masse galactique, perturbé par le champ mobile d'une masse perturbatrice donnée de trajectoire donnée. Plus récemment, on a pris en compte les interactions gravitationnelles entre les particules-tests, dont la masse n'est plus négligée.

Les bras spiraux se forment... et se détruisent. De tels calculs expliquent bien, en revanche, certains cas bizarres.

Une évaluation de la perte de masse est-elle possible à partir de ces calculs ?

On note que la masse éjectée, et qui se trouve dans les queues ou les ponts de matière est souvent importante (un dixième de la masse galactique). L'échelle de temps est de l'ordre de 10^8 à 10^9 ans. De plus une galaxie peut-elle subir plusieurs interactions de cette nature ? Le phénomène semble fort général, comme le montre l'étude des « queues » cométaires de galaxies, trouvées nombreuses dans les amas de galaxies. Ce phénomène explique la forte luminosité intergalactique dans ces amas, la forte émission X ; la densité du gaz γ est élevée : de l'ordre de 10^{-27} g cm $^{-3}$. On notera de même que les amas ont des halos notables, responsables d'un rayonnement X (sans doute thermique) ; on notera aussi que l'abondance du fer, mesurée par les raies de Fe XXV et Fe XXVI, est nettement inférieure à la valeur solaire, ce qui rentre bien dans le cadre de la théorie du tri des éléments au voisinage des galaxies (Pecker, 1972, voir aussi 1978).

Conclusion

Des mécanismes d'éjection et d'accrétion ont été suggérés ; leurs échelles de temps sont très diverses ; elles interviennent à des moments divers de la vie de la galaxie, soit, si t est exprimé en années :

- D'abord ($\log t = 6$ à 7) éjection de masses importantes, formation des radio-sources doubles à partir des noyaux actifs.
- Périodes d'accrétion et d'éjection par effets accidentels de marée (entre $\log t = 7$ et $\log t = 10$, mais chaque passage dure peu).
- Un flux régulier ($\log t = 8$ à 10) de perte de masse (éjection) existe peut-être.
- Les nuages, des disques sont régulièrement accrétés par des galaxies évoluées ($\log t = 8$ à 10 ?).
- Le passage d'une galaxie dans un amas est possible et doit contribuer notablement aux pertes de masse de cette galaxie ($\log t = 7$ à 9 , par exemple).

BIBLIOGRAPHIE ÉLÉMENTAIRE

1. M. WOLF, *Astron. Nachr.*, **155**, p. 127, 1901.
F. ZWICKY, *Astrophys. J.*, **86**, p. 817, 1937.
— *Publ. astron. Soc. Pacific*, **63**, p. 61, 1951.
— *Morphological Astronomy*, Springer, Berlin, 1957.

2. J.H. OORT, A.N.M. HULSBOSCH, dans *Astronomical papers dedicated to Bengt Strömberg*. Eds. A. Reiz et T. Andersen. Copenhagen Univ. Obs. Publ., 1978, p. 409.
G.L. VERSCHUUR, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **13**, p. 257, 1975 (Bibliographie abondante).
3. Symposium U.A.I. n° 77 : *Structure and properties of nearby galaxies*. Eds. E.M. Berkhuijsen et A. Wielebinski. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1978.
Colloque C.N.R.S. n° 241 : *La dynamique des galaxies spirales*. C.N.R.S. éd., 1975.
Stars and Stellar Systems, Vol. IX : *Galaxies and the Universe*. Eds A. Sandage, M. Sandage, J. Kristian, Univ. Chicago Press, 1975 (Article de M.S. Roberts, p. 309).
4. *Stars and Stellar Systems*, Vol. IX : *Galaxies and the Universe* (Article de A.T. Moffet, p. 211).
A.G. PACHOLCZYK, *Radiogalaxies*, Pergamon Press, 1977.
5. R.D. BLANDFORD, C.F. MCKEE, M.J. REES, *Nature*, **267**, p. 211, 1977.
W.A. CHRISTIANSEN, J.S. SCOTT, *Astrophys. J.*, **216**, p. L1, 1977.
D. LYNDEN-BELL, *Nature*, **270**, p. 396, 1977.
M.H. COHEN *et al.*, *Nature*, **268**, p. 405, 1977.
J.-C. PECKER, *Ann. Collège de France*, 1977, p. 117.
6. T.C. CHAMBERLIN, *Astrophys. J.*, **14**, p. 17, 1901.
F. ZWICKY, dans Proc. Third Berkeley Symposium on *Statistics*, Univ. California Press, 1956, p. 113.
Symposium U.A.I. n° 58 : *The formation and dynamics of galaxies*. Ed. J.R. Shakeshaft, Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1974.
Symposium U.A.I. n° 77 (voir plus haut en 3).
J.-C. PECKER, *Astron. Astrophys.*, **18**, p. 253, 1972.
— *Ann. Collège de France*, 1978, p. 125.

THÉORIE DES RÉGIONS D'HYDROGÈNE IONISÉ

Ce cours (six leçons) a été donné à l'Université de Marseille (Saint-Charles) à l'invitation de l'Observatoire de Marseille, de l'U.E.R. de Physique de l'Université de Provence, et du Laboratoire d'Astronomie Spatiale du C.N.R.S.

Ce séjour de trois semaines à Marseille a fourni au Professeur l'occasion de discussions très utiles avec les équipes d'astronomie de Marseille, dont on connaît les belles contributions à la connaissance des régions H II de notre Galaxie et d'autres galaxies. Le cours a été édité par le L.A.S. en un fascicule unique, rédigé par M. DONAS à partir de notes prises pendant le cours.

1. Après un rappel des notions nécessaires concernant les propriétés de l'atome d'hydrogène et les données d'observation relatives aux régions H II, on établit les dimensions de la sphère de Strömgren par trois méthodes.

a) Le nombre de photons ionisants est égal au nombre de recombinaisons radiatives sur les niveaux $n \geq 2$ se produisant dans le volume sphérique de rayon R (Kuiper *et al.*, 1973 ; Strömgren, 1939).

b) Plus rigoureusement, on admet que la fraction ionisée n'est pas nécessairement égale à l'unité pour $r \leq R$, mais à x , compris entre 0 et 1. On écrit alors l'équilibre entre les processus ionisants (absorption des photons stellaires ionisants) et les recombinaisons radiatives ; et l'on complète cette équation par une équation de transfert (Magnan, 1979) portant sur les photons ionisants.

c) Enfin, on peut écrire que la profondeur optique, comptée depuis la surface de l'étoile, est égale à l'unité pour $r = R$; l'ionisation x est calculée à partir de l'équation de Saha-Boltzmann généralisée (Jefferies, Pottasch, 1959).

A l'occasion de cette démonstration, les bases numériques du calcul (nombre de photons ionisants, densité du milieu, recombinaisons, effet de la dilution) sont discutées.

2. Le problème posé par l'existence d'hélium est ensuite discuté. Trois difficultés se présentent :

a) Le coefficient d'absorption varie comme ν^{-3} ; par conséquent les photons de grande énergie sont absorbés moins vite ; loin de l'étoile, on aura plus de photons énergétiques que dans les régions les plus internes de la région H II.

b) Un photon donné peut ioniser un atome d'hydrogène *ou* un atome d'hélium ; la recombinaison d'un électron peut se faire avec un ion H^+ , *ou* un ion He^+ , *ou* un ion He^{++} .

c) Le photon libéré dans une recombinaison déterminée peut avoir des effets différents : si l'énergie en est suffisante, il peut ioniser *soit* un atome d'hydrogène, *soit* partiellement *ou* complètement un atome d'hélium.

Le dénombrement des photons secondaires est décrit en détail (Pecker, 1973, 1978).

3. Le transfert de rayonnement dans les régions H II.

L'étude ci-dessus mentionnée de Magnan est reprise. On montre dans quelles conditions une région de transition entre la région H II et la région extérieure H I peut avoir une épaisseur sensible. Cette région, où la population

des niveaux excités passe par un maximum, commande l'aspect de la région H II observée en H α - parois d'une bulle creuse, avec forte intensité du contour, si τ_{23} est assez petit ; sphère pleine, avec apparence de disque homogène, si τ_{23} est grand.

Le rôle du terme de diffusion, introduit par Jefferies et Pottasch (1959) sur la structure de la région de transition, est discuté.

4. L'équilibre thermique des régions H II.

En égalant les pertes d'énergie radiative aux gains, on peut calculer la température. La discussion théorique du cas de l'hydrogène pur aboutit à une valeur de l'ordre de 0.8 T_{*} au voisinage de l'étoile, et à une valeur de 1.1 T_{*} à grande distance : cet effet est l'analogie de l'effet Cayrel, connu pour les atmosphères stellaires. La présence d'impuretés abaisse fortement la température loin de l'étoile : le problème, ici encore, est l'analogie de ce qui se passe dans les photosphères stellaires lorsqu'on introduit l'effet de serre.

Le rôle des poussières sur l'équilibre est ensuite discuté ; la charge fortement positive qu'elles prennent dans une région H II, commande leur évolution, donc leur durée de vie.

5. L'évolution des régions H II.

Le rôle d'une faible variation de l'opacité de la région H II, ou celui d'une faible variation du rayonnement UV de l'étoile est discuté : il peut changer radicalement l'aspect de l'étoile et, à la suite de Magnan, il est suggéré de voir dans de tels phénomènes la cause directe des variations brutales de la luminosité d'étoiles comme FU Ori, T Tau, P Cyg, etc.

Les moteurs de l'évolution d'une région H II sont d'abord l'évolution stellaire, puis le déplacement du front d'ionisation. Un certain nombre de travaux anciens et récents sont discutés de façon critique.

6. Le cas des galaxies.

Les suggestions de Pecker (1978) sont reprises. Il est suggéré que si une source de photons UV existe, pendant des phases « actives », au centre d'une galaxie, la région H II peut s'allonger dans la direction des pôles, et même s'étendre alors à une très grande distance ; ce phénomène peut avoir comme conséquence l'explosion de matière ; l'effet supplémentaire de la pression de radiation serait d'augmenter dans les masses éjectées la teneur en hydrogène par rapport à la composition galactique ; l'effet supplémentaire des photons UV ayant « passé » par les régions polaires pourrait être l'ioni-

sation des masses éjectées, et leur comportement consécutif par le champ magnétique local. Un schéma de principe de l'évolution galactique est proposé.

RÉFÉRENCES

- J.T. JEFFERIES, S.R. POTTASCH, *Ann. Astrophys.*, **22**, p. 318, 1959.
G.P. KUIPER, O. STRUVE, B. STRÖMGREN, *Astrophys. J.*, **86**, p. 570, 1937.
C. MAGNAN, *Astron. Astrophys.*, **72**, p. 18, 1979.
J.-C. PECKER, *Astrofizika*, **9**, p. 525, 1973 ou *Astrophys.*, **9**, p. 318, 1973.
— dans *Astronomical papers dedicated to Bengt Strömngren*. Eds. A. Reiz et T. Andersen, Copenhagen Univ. Obs. Publ., p. 285, 1978.
B. STRÖMGREN, *Astrophys. J.*, **89**, p. 22, 1939.

J.-C. P.

SÉMINAIRES ET CONFÉRENCES

Les séminaires ont eu lieu du 30 janvier au 13 mars 1979, sur le thème suivant : *Etude observationnelle des pertes de masse subies par les étoiles.*

Etoiles de Wolf-Rayet, étoiles O et Of (A.B. UNDERHILL).

Etoiles B et Be (V. DOAZAN).

Etoiles symbiotiques, novae, nébuleuses planétaires (R. STALIO).

Etoiles FGK, étoiles T Tauri (R.N. THOMAS).

Le Soleil (C. CHIUDERI).

Etoiles carbonées, étoiles froides (F. QUERCI).

D'autre part, des personnalités étrangères, invitées par le Collège de France, ont donné, dans le cadre de la Chaire d'Astrophysique théorique, des séries de cours ou de conférences :

M. John B. ROGERSON Jr., professeur à l'Université de Princeton, a donné deux conférences sur les sujets suivants : (1) *Interstellar research with the Copernicus satellite* ; (2) *Stellar research with the Copernicus satellite*, les 14 et 21 novembre 1978.

M. Benoît MANDELBROT, du Thomas J. Watson Research Center, a fait une conférence sur le sujet suivant : *Amasements galactiques et modèles fractals des trémas*, le 31 janvier 1979.

M. Peter VAN DE KAMP, directeur honoraire de l'Observatoire de Sproul, a donné à l'Institut d'Astrophysique une série de huit leçons sur le sujet suivant : *Photographic astrometry* : (a) Historical. Long-focus photographic astrometry ; (b) Instrumentation : telescope, measuring machine. Accuracy ; (c) Path of single star. Reference stars plate constants, dependences. Attainable accuracy of relative proper motion, acceleration and parallax. Reduction to absolute ; (d) Perspective secular changes in proper motion, radial velocity and parallax. Astrometric determination of radial velocity. Evaluation and elimination of quadratic time effects ; (e) Stellar path with orbital motion. Mass-radius and masses. Photocenter. Long-period eclipsing binaries ; (f) Perturbations due to unseen companions, in single and in double stars. Historical. Current work ; (g) Perturbations. Analysis. Mass-function. Dynamical interpretation. (h) Results. Specific examples. Mass-density of unseen astrometric companions. Ces leçons ont été données les 9, 16, 23 et 30 mai 1979.

M. L. GOLDBERG, directeur du Kitt Peak National Observatory, a fait, le 18 mai 1979, une communication sur : *Some problems of mass-loss in α Orionis and cold supergiants*.

COMPOSITION DU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE

(98 bis, boulevard Arago, 75014 Paris)

M^{me} J. BRUNEL (aide-comptable, Collège de France), M^{me} E. DECHARD (aide de laboratoire, Collège de France), M. S. DEPAQUIT (ingénieur 1 A, C.N.R.S.), M^{lle} G. DROUIN (documentaliste 3 A, C.N.R.S.), M^{lle} S. DUMONT (astronome-adjoint, Observatoire de Paris), M^{me} M. GROS (assistant, Observatoire de Paris), M^{me} N. HEIDMANN (astronome-adjoint, Observatoire de Paris), M. R. KRİKORIAN (maître-assistant, Collège de France), M. M. LOUCIF (boursier algérien, étudiant de D.E.A.), M. C. MAGNAN (sous-directeur du laboratoire, Collège de France), M. J.-C. PECKER (professeur, Collège de France), M^{me} PETIT-ALEXANDRE (aide-physicien, Collège de France), M^{lle} S. PERRET (secrétaire, Collège de France), M. E. SIMONNEAU (attaché de recherche, C.N.R.S.), M. R.N. THOMAS (maître de recherche, C.N.R.S.), M. J. ZOREC (boursier du Gouvernement français, Argentine).

Des chercheurs parisiens sont associés régulièrement au laboratoire où ils disposent d'un bureau : M. R. BONNET (L.P.S.P., Verrières), M^{me} S. COLLIN-SOUFFRIN (Observatoire de Meudon), M. H. REEVES (C.E.A., Saclay).

Une coopération étroite se poursuit avec le groupe de M. J.P. VIGIER (maître de recherche, Institut Henri-Poincaré), notamment avec MM. T. JAAK-

KOLA, H. KAROJI, G. LE DENMAT, P. MERAT, M. MOLES, L. NOTTALE et J.P. VIGIER.

Deux élèves de l'Ecole Polytechnique, MM. KRAMARZ et VIGINIER, ont travaillé dans le laboratoire, pendant l'année universitaire 1978-1979, sous la direction de M. PECKER.

De plus, des personnalités étrangères ont effectué au Laboratoire d'Astrophysique théorique des séjours courts ou prolongés, ou répétés : M. I. HUBENY, de l'Observatoire d'Ondrejov, séjour de cinq mois (novembre 1978 - mars 1979) ; M. H. ARP, Hale Observatories, fin 1978 ; M^{lle} A.B. UNDERHILL, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, dont le séjour commencé le 1^{er} mars 1977, s'est terminé le 15 février 1979 ; M. R. STALIO, Observatoire de Trieste, février 1979 ; M. C. CHIUDERI, Observatoire d'Arcetri, Florence, mars 1979 ; M. J. OXENIUS, Euratom, Université libre de Bruxelles, mai 1979 ; M. W.G. TIFFT, Steward Observatory, Tucson, en avril 1979 ; M. N. PANAGIA, Laboratoire d'Astrophysique, Frascati, en mai 1979 ; M. P. VAN DE KAMP, Observatoire de Sproul, un mois en mai 1979 ; M. L. GOLDBERG, Kitt Peak National Observatory, huit jours en mai 1979 ; M. G. MICHAUD, de l'Université de Montréal, trois semaines en mai-juin 1979.

ACTIVITÉ SCIENTIFIQUE DU LABORATOIRE D'ASTROPHYSIQUE THÉORIQUE

Tout ce qui concerne l'activité scientifique du Laboratoire d'Astrophysique théorique durant l'année 1978, doit paraître dans le Rapport d'Activité 1978 de l'Institut d'Astrophysique du C.N.R.S., et il est donc inutile de le reproduire ici.

THÈSE

E. SIMONNEAU : Transfert de rayonnement dans les atmosphères étendues (Thèse d'Etat, Paris, 23 mai 1979).

PUBLICATIONS

S. COLLIN-SOUFFRIN, M. JOLY, N. HEIDMANN, S. DUMONT, Formation of permitted lines in the spectrum of type I Seyfert galaxies and quasars. I. Fe II lines. Preliminary discussion. *Astron. Astrophys.*, **72**, p. 293, 1979.

S. COLLIN-SOUFFRIN, S. DUMONT, N. HEIDMANN, M. JOLY, Formation of permitted lines in the spectrum of type I Seyfert galaxies and quasars. II. The Fe II emissive region. *Astron. Astrophys.* (sous presse), 1979.

L. DIVAN, D. BRIOT, J. ZOREC, Be stars observed at La Silla. *The Messenger* (E.S.O.), n° 14, p. 11, 1978.

A. KASTLER, J.-C. PECKER, La bête immonde..., *Le Matin*, n° 642, 20 mars 1979.

S. KICHENASSAMY, R.A. KRİKORIAN, On the importance of the geometry of the inverse Compton scattering in the generation of hard photons. Soumis à *Mon. Not. R. astron. Soc.*, 1979.

— On the relativistic invariance of the cross-section in collision processes. Soumis à *Found. Phys.*, 1979.

C. MAGNAN, The sudden appearance of stars. *Astron. Astrophys.*, **72**, p. 18, 1979.

J.-C. PECKER, H II regions around sources of intense ultraviolet radiation. Dans *Astronomical papers dedicated to Bengt Strömgen*. Eds. A. Reiz et T. Andersen. Copenhagen Univ. Obs. Publ., p. 285, 1978..

— La théorie des atmosphères stellaires : tendances actuelles. Dans *Problems of physics and evolution of the Universe*. Ed. L.V. Mirzoyan. Publ. House of the Armenian Academy of Sciences, Erevan, p. 293 (en français) et p. 321 (en russe), 1978.

— Astrophysique théorique. Evolution des galaxies. *Ann. Collège de France*, p. 125, 1978.

— Observations mal comprises dans le cadre de la cosmologie classique. Dans *Colloque Einstein* (sous presse), 1979.

— Cosmologie, science ou conjecture. *Bull. Obs. Bordeaux*, n° 13, p. 130, 1979.

— Ten nights at the « Very Large Telescope » (V.L.T.). *The Messenger* (E.S.O.), n° 15, p. 1, 1978.

— Remerciements. *Actes Acad. nat. Sciences, Belles-Lettres, Arts, Bordeaux*, **3**, p. 129, 1979.

— Quel devrait être le rôle du scientifique dans la nation ? *Asso. Ingénieurs Météorologie. Bull.* n° 31, p. 2, janvier 1979.

— Du « Big Bang » à la conquête de l'univers. *Le Figaro*, 29-30 juillet 1978, p. 15.

— La science et le nouvel ordre économique mondial. *Sciences*, Paris (sous presse), 1979.

— L'évolution des galaxies. *Sciences*, Paris (sous presse), 1979.

— La science face aux choix majeurs de la fin du millénaire. *Bull. M.U.R.S.* (sous presse), 1979.

— Les réflexions d'un astronome. *Espace et Civilisation*, n° 4, p. 15, février 1979.

— La paranormal ? Voyons... *Le Monde*, 23 mai 1979.

E. SIMONNEAU, Sur l'anisotropie du champ de rayonnement dans les atmosphères stellaires étendues. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **287B**, p. 341, 1978.

— Radiative transfer in atmospheres with spherical symmetry. IV. The non-conservative problem. *J. quant. Spectrosc. radiat. Transfer.* (sous presse), 1979.

— Transfert de rayonnement dans les atmosphères étendues. Thèse d'Etat, Paris, 23 mai 1979.

CONGRÈS, COLLOQUES, RÉUNIONS

Centenaire de l'Observatoire du Pic du Midi, 27 juillet 1978 (J.-C. PECKER).

Conférence U.N.E.S.C.O./M.I.N.E.S.P.O.L. II, Belgrade, 11-16 septembre 1978 (J.-C. PECKER).

XX^e Conférence Générale de l'U.N.E.S.C.O., Paris, octobre-novembre 1978 (J.-C. PECKER).

Journées Infrarouges, Institut d'Astrophysique, Paris, 18-20 octobre 1978 (J.-C. PECKER).

Colloque « Astronomie extragalactique : Rencontres sol-espace », Institut d'Astrophysique, Paris, 11-15 décembre 1978 (N. HEIDMANN, J.-C. PECKER).

9th Advanced Course : *Extragalactic high energy astrophysics*, Saas-Fee, 26-31 mars 1979 (S. DUMONT, N. HEIDMANN).

Centenaire de l'Observatoire de Bordeaux, 9 mars 1979 (J.-C. PECKER).

Ecole de Pâques d'Astrophysique : *Classification stellaire*, Goutelas, 9-13 avril 1979 (E. SIMONNEAU).

Journées sur *La Nouvelle Frontière Technologique*, Paris, 24-26 avril 1979 (J.-C. PECKER).

Colloque Einstein, Collège de France, Paris, 6-9 juin 1979 (J.-C. PECKER).

Meeting on Emission Line Stars, Trieste, 11-15 juin 1979 (J.-C. PECKER).

SÉJOURS A L'ÉTRANGER, VOYAGES D'ÉTUDE, MISSIONS

R. KRIKORIAN : Séjour en octobre-novembre 1978 à l'Observatoire de Byurakan, Arménie, dans le but d'étudier les processus non thermiques dans les objets instables. Entretiens avec le Prof. V.A. AMBARTSUMIAN, portant notamment sur l'effet Compton inverse dans les étoiles T Tauri. Un article sur ce sujet, en collaboration avec A. NIKOGHOSSIAN et H. HARUTUNYAN, paraîtra dans *Astrofizika* et dans les comptes rendus du Colloque sur les *Flare Stars* (Byurakan, printemps 1979).

R.N. THOMAS, J. ZOREC : Mission à l'Observatoire de Haute-Provence, 25 octobre - 2 novembre 1978 (Observations d'émissions H dans les étoiles Be avec le système multiphot).

S. DEPAQUIT : Mission en janvier 1979 à l'Observatoire de Calar Alto, Almeria, Espagne. Objet : mise en œuvre d'un programme de photométrie photographique sur le télescope de 152 cm dans le cadre de la coopération avec l'Observatoire de Madrid. Mission effectuée avec M. MOLES et G. LE DENMAT, de l'Institut Henri-Poincaré.