

Aussois 2004

Chronologie de la formation du Systeme Solaire

II. Des grains presolaires aux objets de Kuiper

Ecole de formation permanente du CNRS

Programme detaille des cours

Les grains presolaires (Roberto Gallino) [3h]

1. Les porteurs microscopiques de la composante isotopique exotique de gas nobles dans les meteorites chondritiques. Poussieres d'etoiles en laboratoire: le reve d'un astronome. Classifications des different types de grains presolaires (stardusts), micro(nano)crystaux, detectes jusqu'aujourd'hui, suivant leurs compositions chimiques, cristallographiques, et isotopiques: SiC, nanodiamants, graphites, corundums, silicates, TiC et autres carbures, silicates.
2. Origine stellaire des grains presolaires. Les grains des supernovae, des geantes rouges, des etoiles geantes de l'AGB, des novae. De quels problemes fondamentaux d'astrophysique stellaire et de nucleosynthese nous parlent t'ils? Relation avec l'astronomie infrarouge, la poussiere interstellaire et l'origine de la composition chimique et isotopique du systeme solaire.
3. Du SIMS au NanoSIMS au CHARISMA. Role de CAMECA. Le triple reve d'un astrophysicien nucleaire, mesure de composition isotopique exotique sur toute la table des elements dans un seul petit grain, confrontation avec la theorie, jusqu'a mieux evaluer la section nucleaire efficace de quelques isotopes particuliers.

Des nuages moleculaires aux coeurs denses et aux etoiles (Philippe Andre & Patrick Hennebelle) [4h30]

1. Introduction generale (~ 1h): Idee: introduire les differents concepts/phases et problematiques sans entrer dans les details (e.g. fragmentation des nuages, coeurs denses, effondrement, proto-etoiles, accretion/ejection protostellaire, disques d'accretion, jets); donner les proprietes generales des nuages moleculaires (e.g. structure, turbulence, champ magnetique, probleme du support).

2. Proprietes et effondrement des coeurs denses (~ 2h30): observations/modeles (e.g. details sur les profils de densite et de vitesse - rotation et contraction - des coeurs denses et l'evolution temporelle de ces profils, du point de vue observationnel et theorique)
3. Fragmentation dynamique des coeurs denses pendant l'effondrement, formation des disques d'accretion et des systemes multiples (~ 1h30): observations (des disques et des binaires au stade protostellaire) vs. theories (e.g. evolution du disque centrifuge et simulations numeriques de fragmentation dynamique + criteres semi-analytiques).

Disques, jets et champs magnetiques (Jonathan Ferreira) [3h]

1. (1h30) Revue des contraintes observationnelles sur les jets d'etoiles jeunes et sur l'interaction magnetospherique entre l'etoile et le disque. Pourquoi faut-il un champ magnetique a grande echelle? Concepts et equations de la MHD decrivant les jets.
2. (1h30) Revue de divers scenario et modeles de jets ainsi que d'interaction etoile-disque. Analyse des contraintes posees par l'existence des champs magnetiques requis dans les 2-3 AU centraux: necessite d'une turbulence MHD, modification des valeurs et gradients radiaux de densite, temperature, echelle de hauteur du disque, echelles de temps, influence eventuelle sur la migration des planetes etc...

Inclusions riches en Aluminium (CAIs) et chondres (Matthieu Gounelle) [4h30]

- Tout sur le modele de Shu, formation des radionucleides par irradiation, formation et distribution des CAI et chondres, mais aussi, si possible un apercu des theories alternatives pour CAI et chondres (les travaux de Desh et Connolly, de Cuzzi etc.)
- L'homogeneite des elements radioactifs eteints en question: vers une nouvelle chronologie?

The photoevaporation of disks (Sabine Richling) [1h30]

- Observations and models of "proplyds". Weak irradiation models. How do accretion disks disappear? Application to the formation of the Solar System.

Une chronologie de la formation du Systeme Solaire (Marc Chaussidon) [5h]

- Les meteorites, la formation des premiers solides du Systeme Solaire

- La différenciation des planétésimaux (en gros les radioactivités éteintes dans les météorites de fer et l'Hf/W et autre dans les eucrites)
- La différenciation de la Terre (qui inclut la formation de la Lune) : radioactivités longues (sauf pour le ^{142}Nd ou $>$ le Pu) dans les roches terrestres anciennes, & datation du dégazage (donc des gaz rares) et de la formation de l'atmosphère.

La migration des planètes (Frederic Masset) [6h]

1. [~30mns] Propriétés des disques protoplanétaires axisymétriques en équilibre. Les différentes fréquences locales et leur signification.
2. [~1h] Bases de la migration planétaire. Migration sur orbite circulaire. Calcul du couple aux résonances de Lindblad en régime linéaire. Dépendance du couple en les paramètres du disque. Echelles de temps de la migration linéaire, robustesse, le rôle du "buffer" de pression. Dépendance de la migration vis-à-vis des profils d'équilibre du disque.
3. [~30min] Dépletion de la région coorbitale. Ouverture du sillon (gap). Critères d'ouverture, propriétés attendues de la migration avec sillon (dite de type II).
4. [~1h] Résonances de corotation, lien avec la région fer-a-cheval. Saturation visqueuse d'une résonance de corotation, désaturation par migration et emballement.
5. [~1h] Calcul linéaire des couples dans le cas d'une planète en orbite excentrique. Compétition excitation/amortissement de l'excentricité des différentes résonances. Rôle de la saturation des résonances de corotation excentriques. Lien avec l'excentricité des planètes extra-solaires?
6. [~1h] Présentation critique de simulations numériques publiées sur le problème de la migration. Problèmes spécifiques au numérique, problème du lien entre numérique et analytique.
7. [~1h] Extension des résultats présentés incluant des effets physiques potentiellement importants: turbulence MHD et migration diffusive, transfert radiatif et migration dans les disques flaring, verrouillage en résonance de plusieurs planètes, problèmes ouverts (accretion, etc.)

L'évolution tardive du Système Solaire (Alessandro Morbidelli) [3h]

1. Migration des planètes due à la dispersion d'un disque de planétésimaux:
 - principes de base
 - migration amortie et migration en "runaway"

- migration et capture des planetesimaux en resonance de moyen mouvement
 - indices qui suggerent que le disque primitif etait tronque a environ 30-35 UA
2. L'origine de la structure de la Ceinture de Kuiper
- proprietes observationnelles de la ceinture de Kuiper
 - explication de la structure resonante
 - origine de la population dynamiquement chaude
 - origine de la population dynamiquement froide: explication du deficit de masse et du bord a 48 UA
3. Le Grand Bombardement tardif
- Deux interpretations face a face: la decroissance lente du taux de bombardement contre l'hypothese cataclysmique
 - La source: systeme circumterrestre, systeme solaire interne ou systeme solaire externe?
 - un modele cataclysmique