

# Manual simulació N-cossos

En aquest manual es donen unes instruccions bàsiques per generar una simulació N-cossos pura (només actua la gravetat).

En les següents seccions es proposen diversos exercicis per estudiar l'efecte de les condicions inicials i les resolucions temporal i espacial en el resultat final de la simulació. Intentarem veure com queden afectades les òrbites de les partícules i la distribució general del sistema quan no es va molt en compte a l'hora d'escollir unes bones condicions inicials i resolucions espacial i temporal.

Pels que ja sàpiguen programar, aquí se'ls proposa el repte de crear un codi propi d'N-cossos (amb el llenguatge de programació que vulguin), seguint els apunts de classe sobre simulacions en astronomia.

Aquesta pràctica està pensada també pels que mai han programat o pels que encara no tenen suficients coneixements en computació. És per això que s'adjunten tot un conjunt de programes i les instruccions per poder-los executar. Per aquest grup d'alumnes, l'objectiu d'aquesta pràctica no és saber desenvolupar un codi de simulació sinó de veure els efectes que tenen els diferents paràmetres inicials en el resultat final.

## 1. Com fer servir el Terminal. Algunes comandes bàsiques.

En astronomia i en general quan es fa programació numèrica és bàsic saber com utilitzar el terminal de Linux. A continuació es detallen algunes de les comandes bàsiques per poder utilitzar els programes de simulació.

Comandes bàsiques:

- **pwd**: Per conèixer en quina carpeta ens trobem.
- **cd**: Per anar a la carpeta principal o 'arrel'.
- **cd nomdelacarpeta**: Per entrar a una carpeta o subcarpeta.
- **ls**: Per conèixer els arxius i carpetes que hi ha en la carpeta en la que ens trobem.
- **mv carpeta\_i\_nomarxiu\_ini carpeta\_i\_nomarxiu\_nou**: Per moure els arxius d'una carpeta a una altra.
- **cp nomarxiu\_vell nomarxiu\_nou**: Copiar un arxiu d'un nom a d'un altre nom.
- **gedit nomdelarxiu &**: Programa per editar els arxius.
- **vi nomdelarxiu**: Una altra opció de programa per editar els arxius.

## 2. Sistemes a simular

### 2.1. Objectiu primari

L'objectiu primari d'aquesta pràctica és el de simular el manteniment i evolució d'una galàxia esferoïdal.

Es proposa variar els paràmetres del pas de temps (resolució temporal) i de 'softening de la força gravitatòria' (resolució espacial), així com les condicions inicials, per obtenir un sistema estable.

### 2.2. Objectiu secundari (opcional)

Com a exercici extra, i més realista, hem generat unes condicions inicials que ens permeten començar a estudiar el xoc de dues galàxies espirals. Igual que en el cas anterior (galàxia esferoïdal) us proposem estudiar els efectes de les resolucions temporal, espacial i número de partícules (massa) en el resultat final.

També serà interessant que us fixeis en el temps que tarda la simulació depenent del número de partícules.

## 3. Descripció dels programes

### 3.1. Descripció general

Per fer aquesta pràctica us hem copiat la carpeta 'Practicasims'. Dins d'aquesta carpeta trobareu:

- Carpeta DATA: On, automàticament, s'hi escriurà el resultat de la simulació. Els fitxers generats pel programa de simulació seran del tipus Snap000.XXX.dat.
- Carpeta IC: On nosaltres crearem les condicions inicials de la simulació. Després de generar les condicions inicials, aquestes s'escriuran automàticament a la carpeta DATA.
- Fitxer 'nbody1.f': Programa principal de la simulació (no cal que el toqueu però podeu obrir-lo i mirar com està programat, si voleu).
- Fitxer 'nbody1.h': Fitxer de condicions inicials. **És en l'únic fitxer que heu de tocar, i on heu de modificar la resolució espacial, temporal i en massa.**
- Fitxer 'nbodyaux.f': Programa secundari de la simulació (tampoc cal que el toqueu tot i que si voleu el podeu obrir i mirar com funciona).
- Fitxer 'makefile': Fitxer per convertir el llenguatge del programa en llenguatge intern de l'ordinador (crear el programa).

### 3.2. Condicions inicials: esfera uniforme

En la carpeta 'IC' és on teniu tots els programes que serveixen per generar les condicions inicials de la simulació. Així doncs obriu una finestra del Terminal i entreu a la carpeta (`cd ./Practicasisms/IC`).

Dins la carpeta IC teniu el programa esferauni.f (ho podeu veure escrivint 'ls' al Terminal). Aquest programa genera les posicions de N partícules distribuïdes uniformement en una esfera de radi 1. El número de partícules (N) el podeu modificar a l'arxiu 'nbody1.h' de la carpeta Practicasims (heu de canviar el valor de la variable Np). Per fer això obriu una altra finestra del Terminal, aneu a la carpeta 'Practicasisms' (escriuiu a la terminal: `cd ./Practicasisms`) i després la comanda: `'gedit nbody1.h &'` (o bé, `'vi nbody1.h'`, o bé, `'emacs nbody1.h &'`) modifiqueu la variable Np i guardeu.

Un cop hagueu escollit el valor d'Np, torneu a la carpeta IC i escriuiu a la línia de comandes (terminal):

```
gfortran -O3 -o esferauni.exe esferauni.f
```

Un cop fet això s'us generarà l'arxiu 'esferauni.exe' (ho podeu comprovar escrivint `'ls -lrt'` a la línia de comandes). El que fem amb això s'anomena 'compilar' i significa que estem traduït el nostre programa des del llenguatge de programació al llenguatge real de l'ordinador. Aquest arxiu '.exe' que hem creat és el programa real que farem servir per generar les condicions inicials.

Per executar el programa i que l'ordinador generi les condicions inicials, heu d'escriure a la línia de comandes (terminal), des de la carpeta 'IC' (podeu comprovar que esteu en aquesta carpeta escrivint `'pwd'`):

```
./esferauni.exe
```

Amb això s'us haurà generat a la carpeta 'DATA', un fitxer tal com 'ic.dat' en el qual hi ha 10 columnes (x,y,z,vx,vy,vz,0.,0.,0.,massa). Per comprovar-ho entreu a la carpeta DATA i verifiqueu que s'han generat els arxius correctes.

Copieu l'arxiu ic.dat a un altre amb el nom ic\_unif.dat. Això ho podeu fer amb la comanda `'cp'`, escrivint:

```
cp ic.dat ic_unif.dat
```

**Ara ja podeu anar a la secció 4.0 (Generar la simulació).**

### 3.3. Condicions inicials: esfera en equilibri

Com ja hem comentat, en la carpeta 'IC' és on teniu tots els programes que serveixen per generar les condicions inicials de la simulació.

Veureu ara que dins d'aquesta carpeta també teniu el programa equilibrium.f. Aquest programa genera les posicions de N partícules distribuïdes uniformement en una esfera de radi 1. El número de partícules (N) el podeu modi-

ficar a l'arxiu 'nbody1.h' de la carpeta Practicasims (com en el cas anterior heu de canviar el valor de la variable Np escrivint a la Terminal 'gedit nbody1.h &', editant i guardant).

Un cop hagieu escollit el valor d'Np, torneu a la carpeta IC i escriviu a la línia de comandes:

```
gfortran -O3 -o equilibrium.exe equilibrium.f
```

Un cop fet això s'us generarà l'arxiu 'equilibrium.exe'. Aquest és el programa per generar les condicions inicials de l'esfera en equilibri.

Per executar el programa i que l'ordinador generi les condicions inicials, heu d'escriure a la línia de comandes:

```
./equilibrium.exe
```

Amb això, com abans, s'us haurà generat a la carpeta 'DATA', un fitxer tal com 'ic.dat' en el qual hi ha 10 columnes (x,y,z,vx,vy,vz,0.,0.,0.,massa).

Copieu aquest arxiu ic.dat amb un nou nom (ic\_equi.dat), escrivint:

```
cp ic.dat ic_equi.dat
```

**Ara ja podeu anar a la secció 4.0 (Generar la simulació).**

### 3.4. Condicions inicials per l'exercici extra: xoc de galàxies

En la carpeta 'RODIN' que hi ha dins de la carpeta 'IC' és on teniu tots els programes que serveixen per generar les condicions inicials d'un sistema de dues galàxies a punt de xocar.

En aquest cas podeu mirar com funciona el programa però l'únic que us interessa és copiar l'arxiu 'ic\_new.dat' a la carpeta 'DATA'. Això ho podeu escrivint, des de la carpeta RODIN:

```
cp ic_new.dat ../../DATA/ic_galxoc.dat
```

Si ho voleu, també podeu canviar el paràmetre d'impacte d'una galàxia amb l'altra. Per fer això entreu a la carpeta RODIN i obriu el programa joingal.f. Per canviar el paràmetre d'impacte heu de modificar els valors que se sumen o resten a les variables vel i vell entre els línies 21 i 26 del programa joingal.f. No poseu valors superiors a 10. Un cop modificat, guardeu l'arxiu i compileu el programa escrivint:

```
gfortran -O3 -o joingal joingal.f
```

Un cop fet això, executeu el programa escrivint:

```
./joingal
```

Copieu l'arxiu de condicions inicials a la carpeta DATA:

```
cp ic_new.dat ../../DATA/ic.dat
```

**Ara ja podeu anar a la secció 4.0 (Generar la simulació).**

## 4. Generar la simulació

Per generar la simulació (qualsevol dels tres tipus pels quals podeu generar les condicions inicials) el primer que heu de fer és escollir el pas de temps i la resolució espacial. Per fer això, obriu el fitxer que es troba a la carpeta 'Practicassims' i que es diu nbody1.h:

```
gedit nbody1.h & (o bé 'emacs nbody1.h' & o bé 'vi nbody1.h')
```

Veureu que hi ha les variables time0 (que és el moment inicial, podeu deixar-lo =0), dt (que és el pas de temps), epsilon (això és el softening o resolució espacial), i finalment RunTime (temps final) i dprinttime (indica cada quant temps escriurà un arxiu de sortida que podreu analitzar/visualitzar).

**RECOMANEM COMENÇAR AMB LES 3 SITUACIONS SEGÜENTS (començeu amb la primera, quan acabeu proveu la segona, etc):**

1. **Esfera homogènia:** time0=0., dt=0.003, RunTime=0.1, epsilon=0.003, dprinttime=0.06.
2. **Esfera en equilibri:** time0=0., dt=0.003, RunTime=0.1, epsilon=0.003, dprinttime=0.003.
3. **Xoc galàxies:** time0=0., dt=0.003, RunTime=1.0, epsilon=0.003, dprinttime=0.005.

Modifiqueu els paràmetres a l'arxium nbody1.h, i després guardeu-lo. Ara ja podeu generar l'executable. Recordeu que esteu a la carpeta Practicassims. Per generar l'executable (el programa de la simulació), escriviu a la línia de comandes:

```
make clean (borra els executables antics)
```

```
make (genera el nou executable)
```

**IMPORTANT!!!** El programa de simulació fa servir les condicions inicials que heu generat i que es troben a la carpeta DATA sota el nom 'ic.dat'. El programa **SEMPRE** llegeix la posició, massa i velocitat de les partícules ('estrelles'), de l'arxiu 'ic.dat'. Si voleu simular l'esfera uniforme haureu de copiar doncs, des de dins la carpeta DATA, l'arxiu ic\_unif.dat a 'ic.dat' (cp ic\_unif.dat ic.dat). Si voleu simular l'esfera en equilibri, copieu ic\_equi.dat a 'ic.dat' (cp ic\_equi.dat ic.dat). Finalment si voleu simular les galàxies xocant haureu de copiar ic\_galxoc.dat a 'ic.dat' (cp ic\_galxoc.dat ic.dat).

Un cop seleccionades les condicions inicials, ja podeu córrer el programa. Torneu a la carpeta Practicasims i escriviu:

`./nbody1.exe` (executem el programa, és a dir, iniciem la simulació)

Després d'iniciar la simulació veurem que se'ns indica per pantalla els paràmetres inicials que hem escollit i tot seguit unes línies que comencen amb el valor del pas de temps de la simulació en el que es troba el procés.

A mesura que la simulació avança es generen nous arxius amb un nom 'Snap00X.XXX.dat', dins la carpeta DATA. En aquests arxius hi ha 10 columnes (ho podeu veure fent 'gedit nomdelarxiu' &), les tres primeres són les posicions x,y,z, les tres segones les velocitats vx,vy,vz les tres terceres les energies Ex,Ey,Ez i l'última la massa.

**Un cop acabada la simulació aneu a la carpeta de dades 'cd DATA' i feu els passos següents, amb molt de compte!!!:**

1. Netejeu la carpeta on voleu guardar les dades (explosion, equilibri o galxoc). Per fer-ho, entreu a la carpeta (per exemple fent 'cd explosion'), i borreu tots els arxius que hi ha (`rm Snap* traj*`). **ULL!!! LA COMANDA DE BORRAR ÉS IRREVERSIBLE, COMPROVEU QUE ESTEU BORRANT ELS ARXIS DE LA CARPETA CORRECTA!!!**
2. Torneu a la carpeta DATA (`cd ..`).
3. Moveu tots els arxius 'Snap00X.XXX.dat' a la carpeta que toqui, segons les condicions inicials que hagueu generat (explosion, equilibri o galxoc), fent, per exemple, 'mv Snap\* explosion' i 'mv trajectories.dat explosion'.

A part dels que heu fet servir, també s'han generat uns altres arxius:

- trajectories.dat (hi ha la informació de l'òrbita d'algunes partícules). Hi ha 17 columnes, la primera és el temps, la segona el número de partícules de la simulació i la resta la posició radial de 15 partícules escollides aleatòriament.
- Altres arxius .dat que són arxius de control que no farem servir.

## 5. Anàlisi de les simulacions

En aquesta pràctica volem aprendre alguns conceptes bàsics i precaucions que s'han de prendre a l'hora de fer simulacions. Haureu de generar diverses simulacions, variant els paràmetres inicials, per intentar respondre a les següents preguntes:

1. Per la simulació de l'esfera homogènia:

- Què passa quan deixo una esfera homogènia amb velocitat inicial nula evolucionar sota la seva pròpia gravetat?
  - És vàlid fer servir una simulació d’N-cossos no col·lisional en aquest cas?
  - Quin és l’efecte del softening? Què passa si l’escallo nul? I si el poso molt gran?
  - Quin efecte té el canvi en el pas de temps?
2. Per la simulació de l’esfera en equilibri:
- En aquest cas s’ha generat una esfera que no és homogènia en densitat i a la qual s’ha calculat quina velocitat han de tenir les partícules per tal que es mantinguin autogravitants (en una òrbita lligada i estable). És realista aquest sistema? És vàlida ara l’aproximació de no col·lisions?
  - Quin és l’efecte del softening? Què passa si l’escallo = 0?
  - Quin és l’efecte del canvi en el pas de temps?
3. Per la simulació del xoc de galàxies:
- Podeu intentar respondre a les mateixes preguntes que en els problemes anteriors i jugar amb els paràmetres per veure diferents escenaris de xoc de galàxies.

Per poder respondre a totes les preguntes anteriors, i un cop fetes les simulacions, farem servir tot un conjunt de programes escrits en llenguatge Python que es troben a la carpeta ‘Figures’.

El primer que hem de modificar és la direcció on es troben les dades que volem analitzar (colapse, equilibri o galxoc). Això ho podem fer editant l’arxiu ‘parameters.py’, heu de deixar la direcció correcta sense el símbol ‘#’ a l’inici de la fila, la resta de direccions (path) han de tenir aquest símbol a davant de tot.

### 5.1. Primer anàlisi: trajectòries partícules

Per fer aquest anàlisi ens servirem d’un programa per generar imatges .jpg. Ho farem executant un programa que dibuixa la trajectòria de 15 partícules de la simulació escollides a l’atzar (radi en funció del temps). Aquest programa és el traj.py. Per executar-lo hem de fer:

```
python traj.py
```

Podeu ara analitzar com evoluciona la posició en radi de les partícules en funció del temps de la simulació.

## 6. Visualització

Per poder tenir una imatge en x,y,z del que està passant en les simulacions hem creat dos programes en llenguatge Python.

El primer programa és el 'xyzplot.py'. Aquest programa genera arxius .jpg de cadascuna de les captures (on amb captures ens referim a moments en els que es guarda la simulació) de la simulació. L'executarem fent:

```
python xyzplot.py
```

Podreu veure com va generant els arxius ja que per pantalla us escriurà quin és el que ha obert (Snap00X.XXX.dat).

Finalment, per poder veure com ha evolucionat la simulació podeu generar un petit vídeo executant el programa xyzvid.py:

```
python xyzvid.py
```

També podeu veure la evolució en 3D fent servir els programes 'xyz3Dplot.py' i 'xyzvid3D.py', seguint el mateix procés que en el cas anterior:

```
python xyz3Dplot.py (generem els arxius d'imatge)
```

```
python xyzvid3D.py (visualitzem el vídeo)
```

Finalment si seguiu les instruccions dins de l'arxiu 'create\_MP4.txt', podreu guardar el vídeo en format .mp4.