

Tarea programada 2

Introducción a la Física Espacial - II-2025 - Prof. Dr. André Oliva

Instrucciones

Pueden trabajar en parejas (por favor no olvidar poner sus nombres y carnés a la hora de la entrega). Enviar por correo electrónico un archivo con el código y los resultados. De preferencia, trabaje en Jupyter notebooks (pero exporte el resultado a html o pdf para poder visualizarlo fácilmente).

Descripción de los archivos adjuntos

Adjunto al enunciado encontrará los siguiente archivos:

```
v_r.npy  
rho.npy  
Pgrad_r.npy  
PBgrad_r.npy  
x.npy  
z.npy  
table.txt
```

los cuales contienen la siguiente información:

archivo	cantidad física	unidades
v_r.npy	velocidad en la dirección radial	cm/s
rho.npy	densidad	g/cm ³
Pgrad_r.npy	gradiante de presión térmica (= dP/dr)	dinas/cm ³ , es decir, fuerza por unidad de volumen
PBgrad_r.npy	gradiante de presión magnética (= dP_B/dr , donde $P_B = B^2/\sqrt{4\mu_0}$)	dinas/cm ³
x.npy	posiciones en x	au
z.npy	posiciones en z	au

Las primeras cuatro cantidades están definidas en coordenadas cartesianas de la siguiente forma: la posición en x de una celda, por ejemplo la número (3,40) es $x [3, 40]$ y la posición en z de la misma celda (3,40) es $z [3, 40]$, y la velocidad radial en esa celda es $v_r [3, 40]$.

El archivo table.txt es un archivo de texto que tiene una tabla con varias columnas. Esta es la descripción de cada columna:

columna #	cantidad física	unidades
0	tiempo	años
1	masa de la protoestrella	M_\odot

columna #	cantidad física	unidades
2	tasa de acreción de la protoestrella	M_{\odot}/yr
3	luminosidad de acreción	L_{\odot}
4	luminosidad de la protoestrella	L_{\odot}

Los datos fueron obtenidos a partir de una simulación 2D de un disco de acreción y un jet protoestelar. El eje z es el eje de rotación, y el eje x representa el plano ecuatorial. La protoestrella en formación está ubicada en (0,0). Cuando grafique los datos, debe imaginar que existe simetría axial (vemos el corte vertical de algo que se repite si lo rota alrededor del eje z), y simetría ecuatorial (vemos lo mismo del otro lado del eje x).

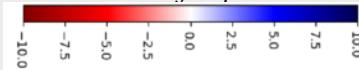
Sugerencia: en `numpy`, puede cargar los archivos `.npy` con la función `np.load()`, y la tabla con la función `np.loadtxt()`. Esos arrays 2D (primera tabla) son muy prácticos para calcular cosas porque `numpy` hace operaciones sobre cada elemento. Por ejemplo, si usted ocupa calcular $\sqrt{\rho}$ o bien x^2 , basta con poner `np.sqrt(rho)` y `x**2`, respectivamente, y ya se calculan en todos las celdas.

Ejercicios

1. Velocidad radial

1.1. Grafique la velocidad radial en km/s usando la función `pcolormesh` de `matplotlib`.

Sugerencia para este punto: utilice las opciones `vmin` y `vmax` y el colormap "seismic_r" para distinguir bien dónde está $v_r = 0$ (las velocidades cercanas a cero tienen que verse blancas, las negativas rojas y las positivas azules). No se olvide de colocar un `colorbar` para ver qué significa cada color. Este es un ejemplo de como queda el `colorbar`:



1.2. Con base en las velocidades radiales, identifique (a) el jet (material que se lanza hacia afuera), (b) el disco de acreción (material que rota, por lo que casi no se mueve en r) y (c) la nube que está colapsando (material que cae radialmente hacia adentro).

2. Densidad

2.1. Grafique el logaritmo base 10 de la densidad usando la función `pcolormesh` de `matplotlib`.

2.2. Usando los resultados del ejercicio (1), identifique densidades típicas del jet y el disco.

3. Gradiente de presión vs gravedad

3.1. Calcule la gravedad (como fuerza volumétrica) con la ecuación $F_g = GM_{\star}\rho/r^2$. En el momento en el que fueron los datos de la simulación, la protoestrella tenía una masa de $M_{\star} = 3.227471M_{\odot}$.

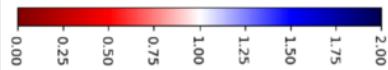
Tenga en cuenta las siguientes sugerencias: a) use los valores de G y M_{\star} en unidades cgs, no SI! b) calcule r^2 como $r^2 = x^2 + z^2$, pero no olvide convertir el resultado a cm (recuerde que x y z están en au).

3.2. Grafique las siguientes razones:

a) $\frac{\text{gradiente de presión térmica}}{\text{gravedad}}$

b) $\frac{\text{gradiente de presión magnética}}{\text{gravedad}}$

Sugerencia: igual que el ejercicio (1), use el colormap "seismic_r" y las opciones `vmin` y `vmax` de la función `pcolormesh`. Pero ahora ponga `vmin=0` y `vmax=2` como está en la imagen de abajo. Haciendo esto, estamos centrando el colormap en 1, que es cuando ambas fuerzas son iguales. Entonces los colores rojos representan cuando el denominador es más grande que el numerador y al revés para los colores azules.



- 3.3. Con base en los puntos anteriores, demuestre que el jet es de origen magnético y no puede ser de origen térmico, y que la presión térmica es insuficiente para detener el colapso gravitacional de la nube.

4. **Cantidades de la tabla (no hace falta convertir unidades para este ejercicio)**

- 4.1. Grafique la masa de la protoestrella en función del tiempo. Fíjese cómo solo incrementa en el tiempo debido a la acreción.
- 4.2. Grafique la tasa de acreción en función del tiempo. Ponga el eje vertical en escala logarítmica.
¿Cuál es el orden de magnitud de la tasa de acreción en este caso?
- 4.3. En la misma gráfica, grafique la luminosidad de la estrella y la luminosidad de acreción. Use un eje vertical logarítmico.

La luminosidad de la estrella es la que ella misma va emitiendo conforme su temperatura aumenta (cuerpo negro) y conforme se van produciendo reacciones nucleares. Cuando la materia es acretada, la energía gravitacional se convierte en energía radiante y eso produce la luminosidad de acreción.

Con base en la gráfica, compruebe que la protoestrella es tan joven todavía que la luminosidad de acreción es mucho mayor que la que produce la protoestrella misma.