

Condiciones iniciales

Unidades Se usa un sistema de unidades en cual $G = 1$, $[M] = 10^{11} M_{Sol}$, $[l] = 1 \text{ kpc} \implies [v] = 655.85 \text{ km/s}$ $[t] = 1.49 \text{ My}$

los modelos individuales

Uso los modelos esféricos y con disco obtenidos en las prácticas anteriores (ya escalados con masa total 1)

El modelo elíptico obtenido con isomodr4 (Smulders & Balcells) tiene 50000 partículas (10000 en el bulbo y 40000 en el halo). El halo usa un modelo Hernquist y el bulbo un modelo Jaffe, la relación de masas es $M_{halo} : M_{bulbo} = 3 : 1$

La galaxia con disco(espiral) obtenido con el modelo Widrow & Dubinski tiene 20000 partículas (8000 en el disco, 4000 en el bulbo, 8000 en el halo)

El modelo elíptico se escala a una masa total 0.1 (cuando se escalan los modelos el radio se escala también para que se cumpla la relación: $\frac{R_1}{R_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}$). Es mejor escalar el segundo modelo antes de ponerlos en órbita usando **scale** y no especificando estas relaciones en setorbdः porque parece que no funciona

los parámetros que se van a configurar para tree500 en TREEPAR: dt y eps dependen de estos modelos iniciales

En la práctica usamos valores máximos para $dt = \frac{1}{20} t_{cruce} = \frac{1}{20} \sqrt{\frac{R^3}{M}}$ y $eps = 0.2R$ donde R es el radio de media masa y M es la media masa de la parte luminosa eligiendo los valores más pequeños de los 2 modelos

```
nora>> data two.xvp 1
      getmodel>> model :           1
      xvpread>> Reading    70000 particles from model    0.0000 of file :two.xvp
      getmodel:: nbods =   70000.0000      iteration =  300.000000      time =  16.02000
      nora>> list head 100 110
      1.00000000
      5.00000000
      8000.00000
      1.02271779E-05
      12000.00000
      7.43265036E-06
      20000.00000
      1.10622786E-04
      30000.00000
      2.49999994E-06
      70000.00000
      nora>> bodsrange 1 12000
      nora>> Rm 100
      #
      #FILE two.xvp      MODEL      1
      #PART      1- 12000  VIEW     0.0,    0.0  RMAX 100.0  SLIT  -0.0, 0.0,*****
      #totm =  1.116E-01
      #FRM :      0.01      0.02      0.05      0.10      0.20      0.30      0.40      0.50
      #Rm :  2.23E+00 2.29E+00 2.31E+00 2.34E+00 2.40E+00 2.46E+00 2.53E+00 2.59E+00
      #FRM :      0.60      0.70      0.80      0.90      0.95      0.98      0.99      1.00
```

```

#Rm : 2.65E+00 2.71E+00 2.77E+00 2.84E+00 2.87E+00 2.89E+00 2.89E+00 1.00E+15
nora>> bodsrange 30001 40000
nora>> Rm 100
#
#FILE two.xvp MODEL 1
#PART 30001- 40000 VIEW 0.0, 0.0 RMAX 100.0 SLIT -0.0, 0.0,*****
#totm = 1.875E-02
#FRM : 0.01 0.02 0.05 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50
#Rm : 1.27E+00 1.48E+00 1.82E+00 1.99E+00 2.30E+00 2.40E+00 2.50E+00 2.60E+00
#FRM : 0.60 0.70 0.80 0.90 0.95 0.98 0.99 1.00
#Rm : 2.70E+00 2.79E+00 2.89E+00 3.37E+00 3.61E+00 4.16E+00 4.42E+00 1.00E+15

```

$R_1 = 2.59E+00$, $M_1 = 0.5 * 1.116E-01 \Rightarrow dt_1 = 0.8822721105537292$ y $\text{eps}_1 = 0.518$

$R_2 = 2.60E+00$, $M_2 = 0.5 * 1.875E-02 \Rightarrow dt_2 = 1.5308385501634936$ y $\text{eps}_2 = 0.52$

Con unos valores de $dt = 0.8822721105537292$ y $\text{eps} = 0.518$ la simulación debería ir bien, eligiendo unos valores mas pequeños la simulación es más realista, pero tardará más (explicación en Clase2.pdf)

yo elegí $dt = 0.1146314$ y $\text{eps} = 0.276$

puesta en órbita

kepler

si cambiamos el parámetro de impacto hay que ejecutar de nuevo kepler con la nueva separación

el parámetro nsteps de TREEPAR depende del parámetro Period de la salida de kepler: hay que poner un par de veces el periodo hasta el encuentro de los 2 objetos (El número de periodos de la ejecución = nsteps * dt / Period)

elegí separacion = 20, 10 y 5

separación 5

```

BINARY: M2/M1= 0.10000      SEP.(M2)= 5.000      (VR,VT)=(-0.46904, 0.00000)
         AngMom= 0.0000      P.A.(M2)= 0.00      PHI(V)= 0.05      VZ= 0.000
         a= 5.00      r-peri= 0.00      r-apo= 10.00      b= 0.00      e= 1.000      Period= 66.98
         V-peri=999.999V-apo= 0.000V(Now)= 0.469T(period)= 6.08
BOUNDF LINEAR TRAJECTORY -- at Orbital Phase (TRUE ANOMALY) = -0.0548

```

Period = 66.98, yo elegí nsteps = 4000 lo que corresponde a 6.845 periodos

separación 10

```

BINARY: M2/M1= 0.10000      SEP.(M2)= 10.000      (VR,VT)=(-0.33166, 0.00000)
         AngMom= 0.0000      P.A.(M2)= 0.00      PHI(V)= 0.05      VZ= 0.000
         a= 10.00      r-peri= 0.00      r-apo= 20.00      b= 0.00      e= 1.000      Period= 189.45
         V-peri=999.999V-apo= 0.000V(Now)= 0.332T(period)= 17.21
BOUNDF LINEAR TRAJECTORY -- at Orbital Phase (TRUE ANOMALY) = -0.0548

```

Period = 189.45, yo elegí nsteps = 10000 lo que corresponde a 6.05 periodos

separación 20

```

BINARY: M2/M1= 0.10000      SEP. (M2)= 20.000      (VR,VT)=(-0.23452, 0.00000)
         AngMom= 0.0000      P.A.(M2)= 0.00      PHI(V)= 0.05      VZ= 0.000
         a= 20.00  r-peri= 0.00  r-apo= 40.00  b= 0.00  e= 1.000  Period= 535.83
         V-peri=999.999V-apo= 0.000V(Now)= 0.235T(peri)= 48.68
BOUND LINEAR TRAJECTORY -- at Orbital Phase (TRUE ANOMALY) = -0.0548

```

Period = 535.83, yo elegí nsteps = 30000 lo que corresponde a 6.41 periodos

La órbita es parabólica(Binary Orbital Eccentricity = 1) y por haber elegido bound linear encounter = yes VT = 0 y por haber elegido Binary Approaching Pericenter = yes VR < 0 Hay que poner los valores de VR obtenidos en este paso en el fichero setorbdat

setorb

si cambiamos el angulo del spin de los objetos relativo al plano de la orbita de los 2 (en particular la orientación del spin) hay que ejecutar de nuevo setorb

he elegido valores de theta1 = 90, 60, 270, 240

Los modelos están aliniados en la direccion ox

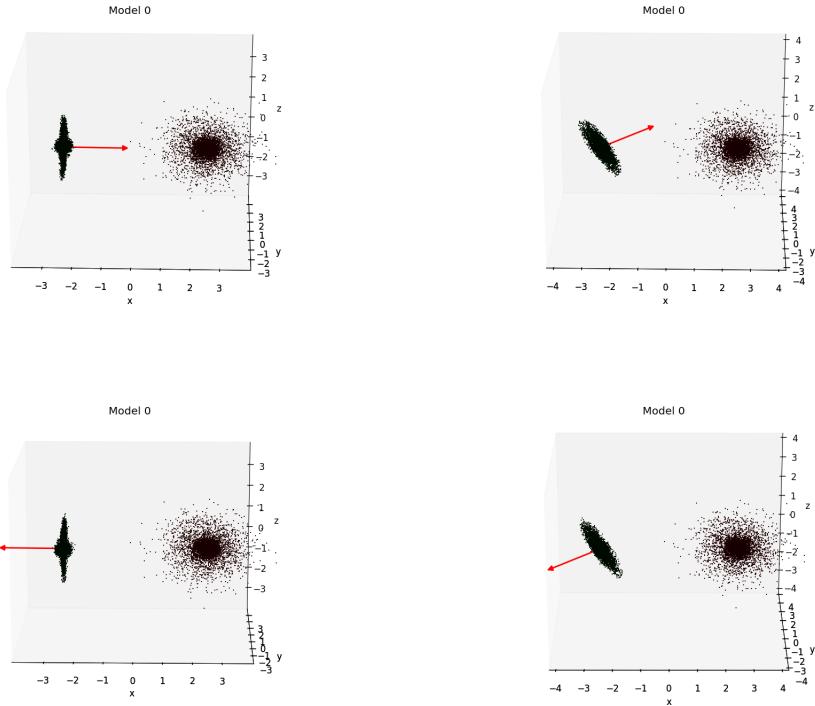


Figura 1: Los modelos en el momento inicial (separación = 5), solo la parte luminosa para angulos 90, 60, 270, 240

Se representa también el vector del momento angular del objeto con disco (el módulo multiplicado por 100)



Figura 2: El disco y bulbo del primer modelo en el momento inicial visto desde la dirección del otro objeto (y el vector de la velocidad en un punto cualquiera)

para los primeros 2 casos (ángulos 90, 60) y para los otros 2 (ángulos 270, 240 - el spin en la otra dirección)

Evolución del modelo

tree500 Los videos de la evolución del modelo(con nombres $sep < SEP > - < DEG > deg- < OBJ > [< PROJAXIS >].mp4$ donde $< SEP >$ y $< DEG >$ son la separación y angulo theta1 de setorbdat, $< OBJ > = 2ob$ para los 2 objetos(solo bulbo y disco), e para el modelo esférico(solo bulbo) y d para el modelo con disco(solo bulbo y disco). [$< PROJAXIS >$] (opcional) es línea de visión) están en el repositorio: <https://github.com/beevageeva/simnum2/tree/master/results2/videos>

`sep10-90deg-2ob.mp4 sep10-90deg-dox.mp4 sep10-90deg-doy.mp4 sep10-90deg-e.mp4 sep20-270deg-2ob.mp4 sep20-270deg-dox.mp4 sep20-270deg-doy.mp4 sep20-270deg-e.mp4 sep5-90deg-2ob.mp4 sep5-90deg-dox.mp4 sep5-90deg-doy.mp4 sep5-90deg-eox.mp4 sep5-90deg-eoy.mp4`

Voy a representar los primeros encuentros (el modelo esférico está atravesando el disco - en caso de la separación = 5 el primer encuentro pasa en el modelo 1) y el penúltimo (modelo 39) Quería representar el último modelo, pero me equivoqué cuando generé las imágenes(para separación = 5 y 10) y no las rehice porque son muy parecidos. Además para separación = 20 la simulación se colgó y solo se calcularon 236 modelos(en lugar de 300)

La relación entre el número de modelo y el tiempo es: $t = noutbod * dt * numModel = 11.46 * numModel$ (en el caso de la separación = 5 hay 41 modelos con numModel = 0..40)

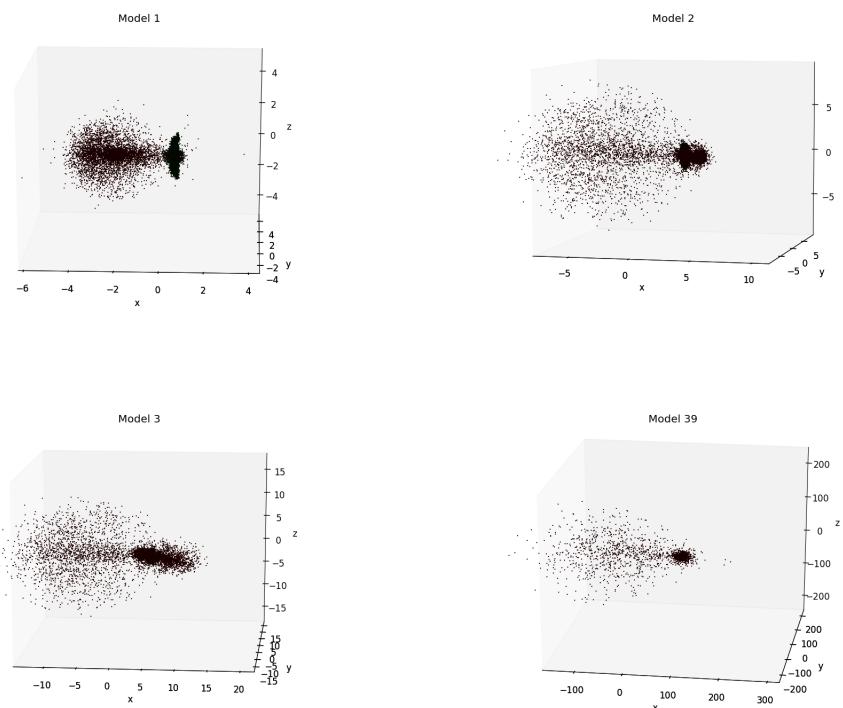


Figura 3: ángulo = 90 grados, los 2 objetos(solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

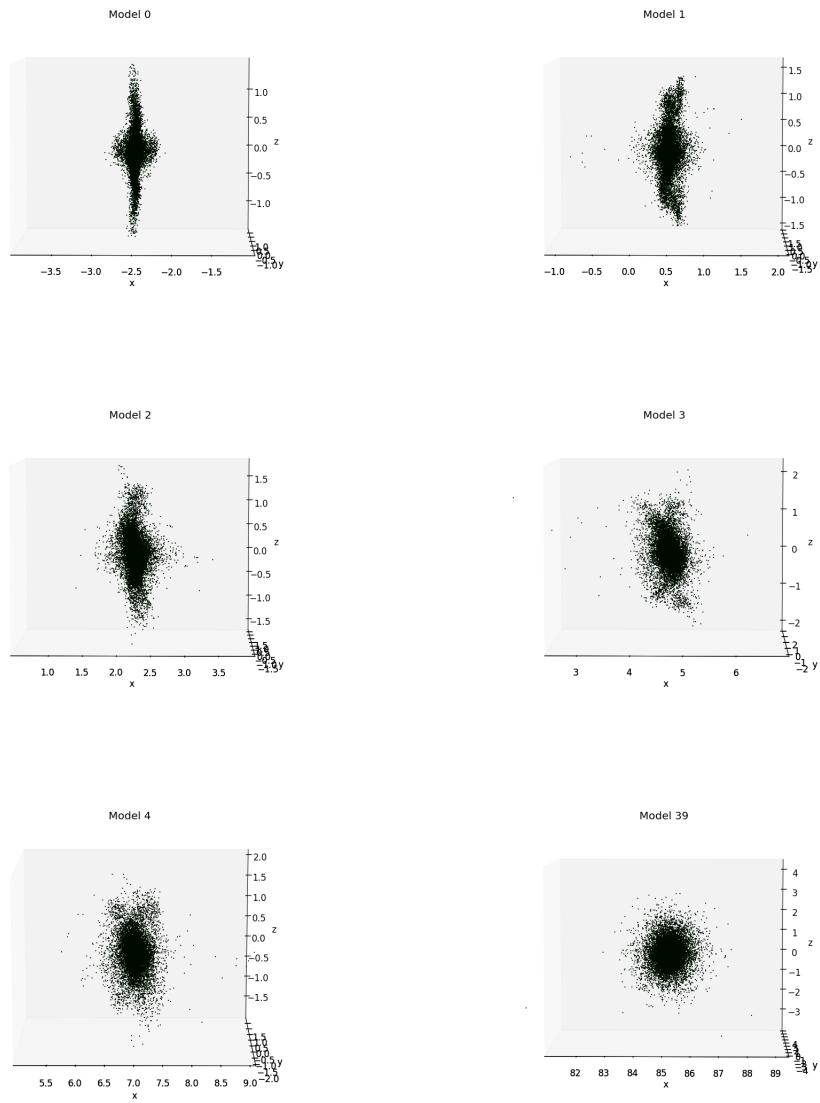


Figura 4: $\text{ángulo} = 90 \text{ grados}$, el objeto con disco visto en la dirección oy (solo parte luminosa) modelo 0,1,2,3,4,39

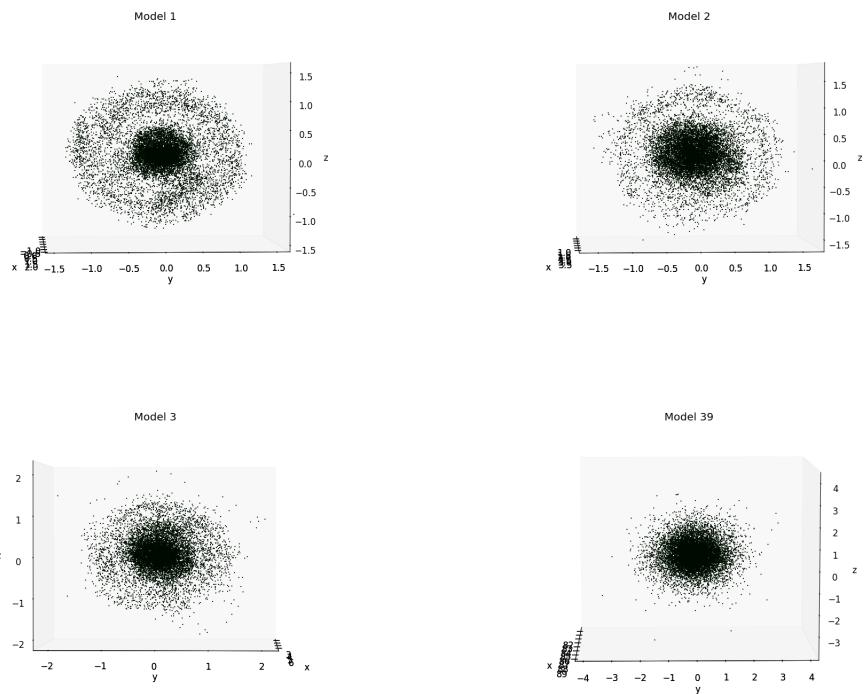


Figura 5: $\text{ángulo} = 90 \text{ grados}$, el objeto con disco visto en la dirección ox (solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

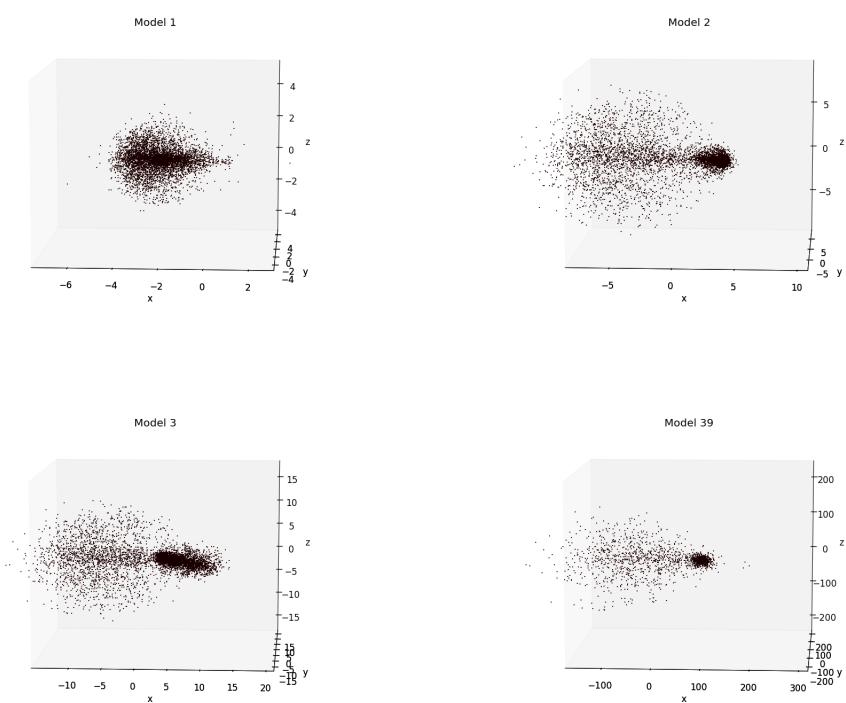


Figura 6: $\text{ángulo} = 90 \text{ grados}$, el objeto esférico visto en la dirección oy (solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

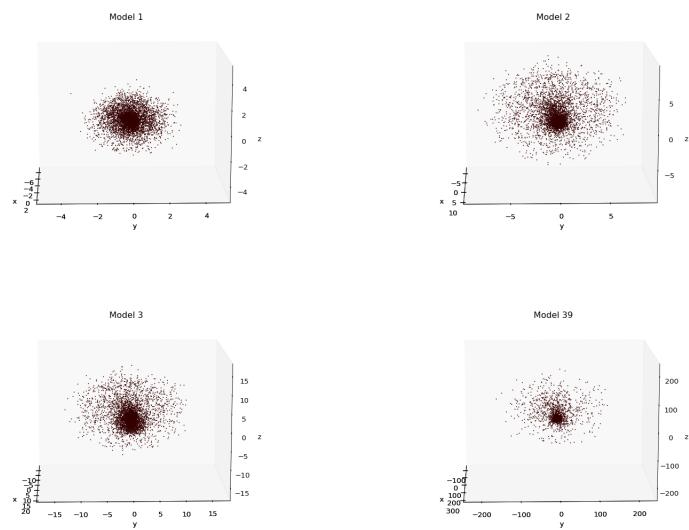


Figura 7: $\text{ángulo} = 90 \text{ grados}, \text{el objeto esférico visto en la dirección } ox(\text{solo parte luminosa}) \text{ modelo } 1, 2, 3, 39$

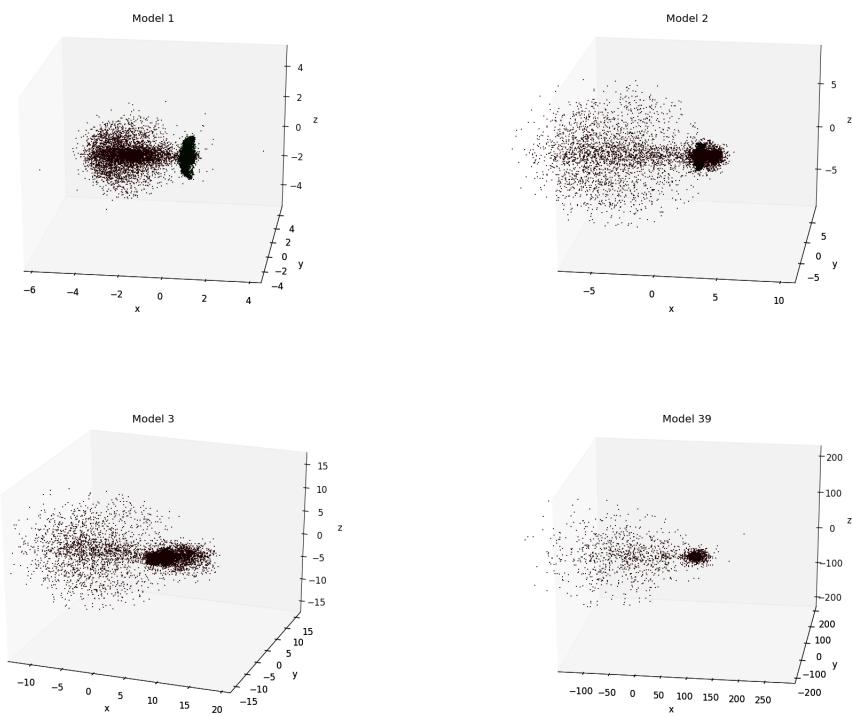


Figura 8: $\text{ángulo} = 270 \text{ grados}, \text{los 2 objetos(solo parte luminosa)} \text{ modelo } 1, 2, 3, 39$

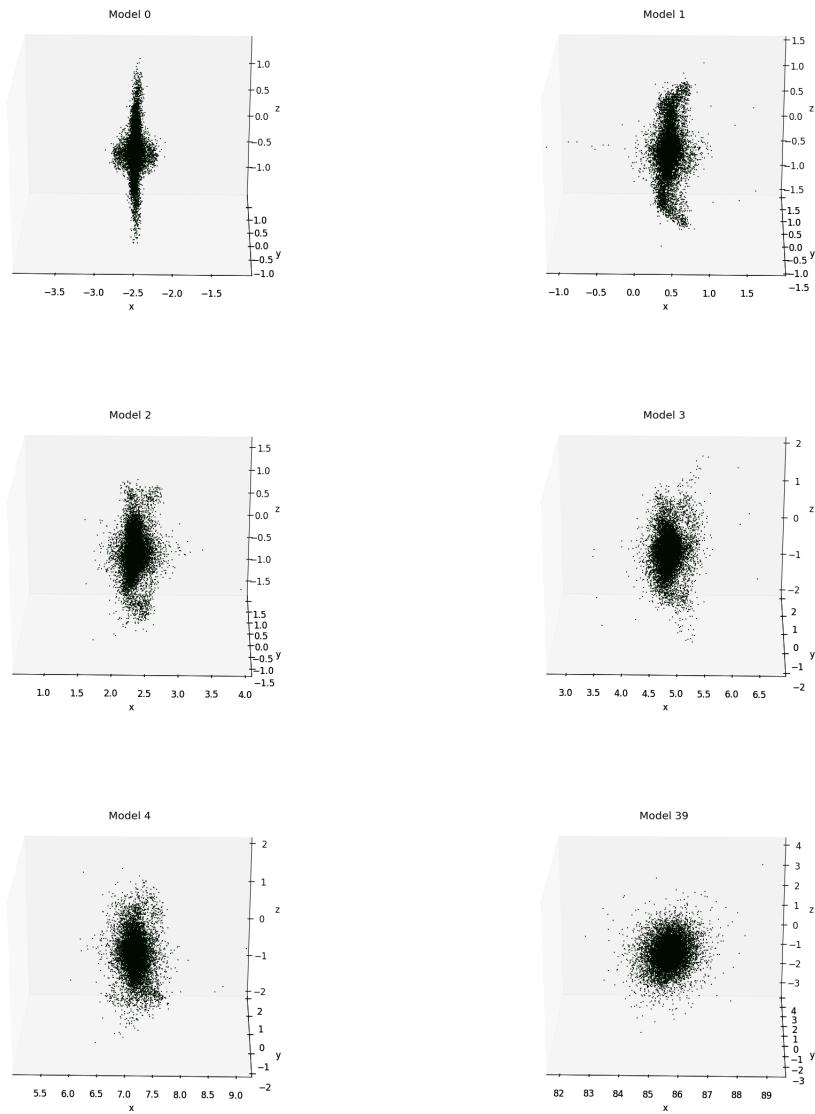


Figura 9: $\text{ángulo} = 270$ grados, el objeto con disco visto en la dirección oy (solo parte luminosa) modelo 0,1,2,3,4,39

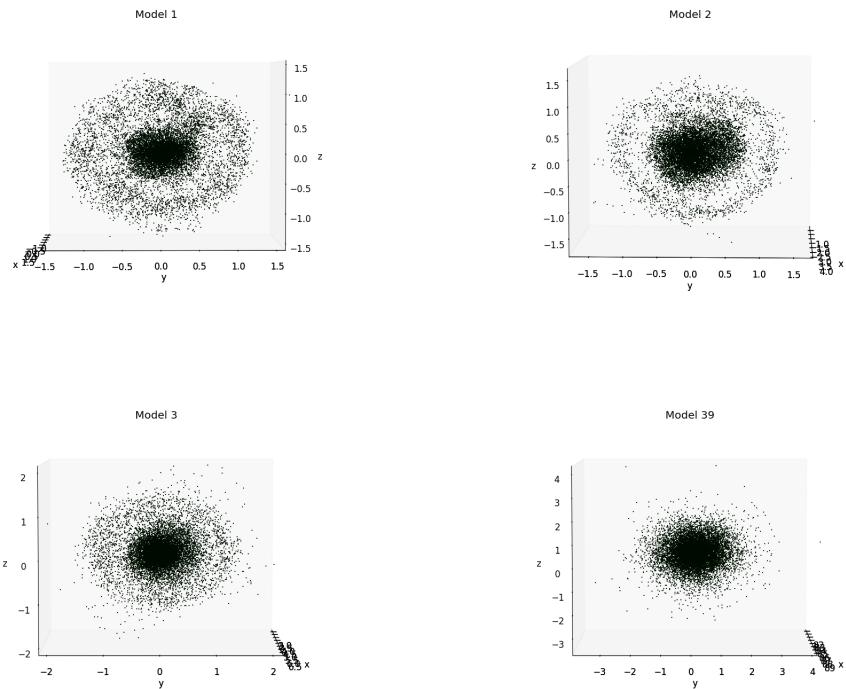


Figura 10: $\text{ángulo} = 270 \text{ grados}$, el objeto con disco visto en la dirección ox (solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

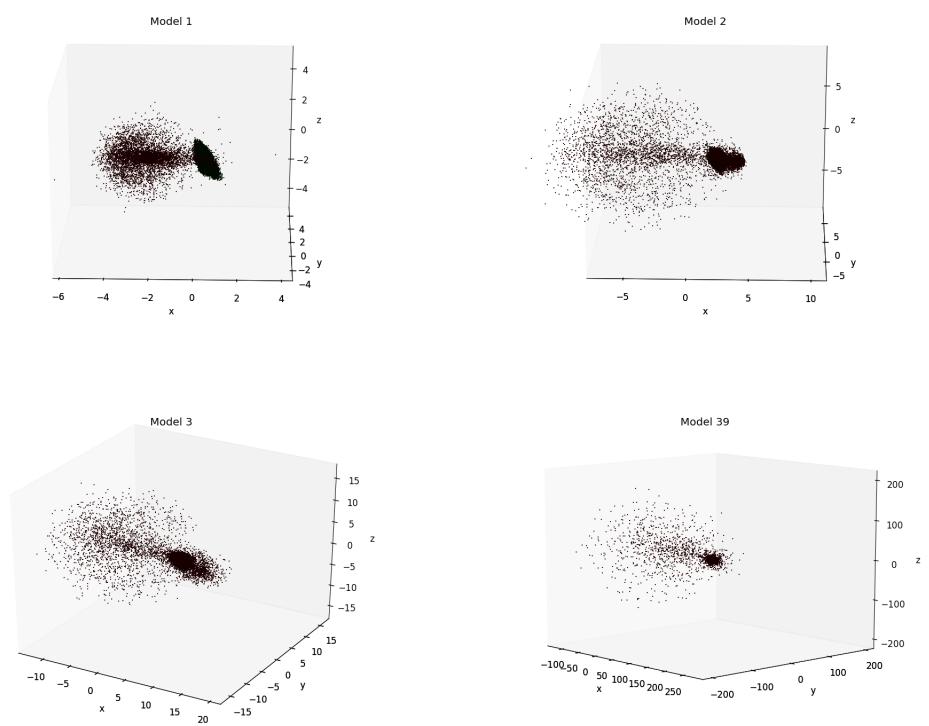


Figura 11: $\text{\'angulo} = 60$ grados, los 2 objetos(solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

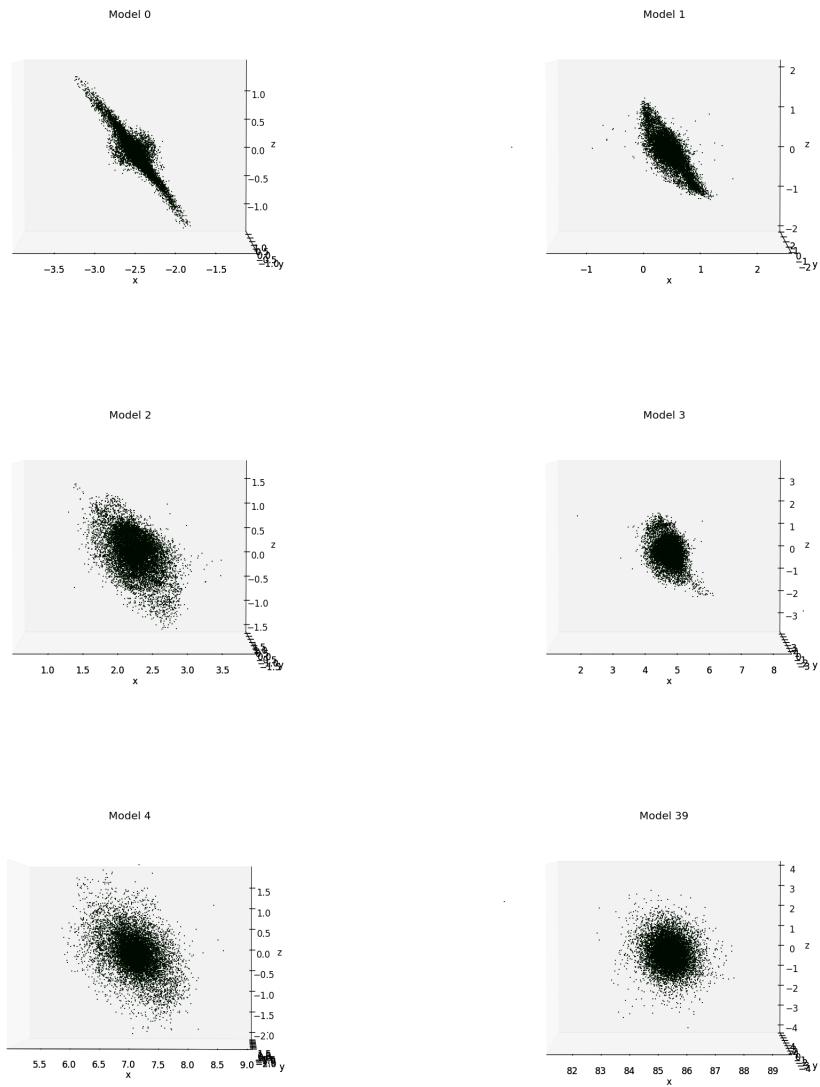


Figura 12: $\text{ángulo} = 60 \text{ grados}$, el objeto con disco visto en la dirección oy (solo parte luminosa) modelo 0,1,2,3,4,39

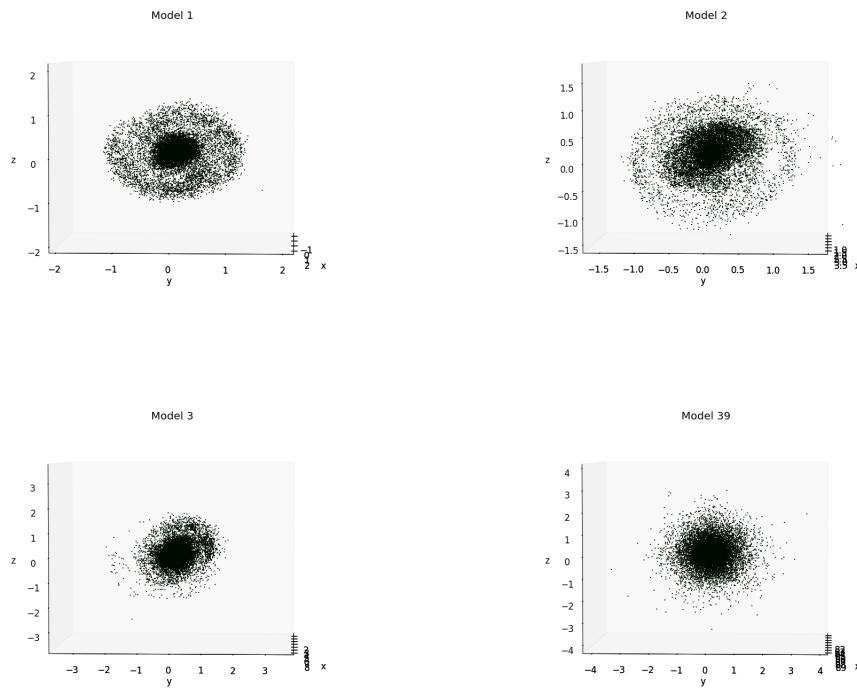


Figura 13: $\text{ángulo} = 60 \text{ grados}$, el objeto con disco visto en la dirección ox (solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

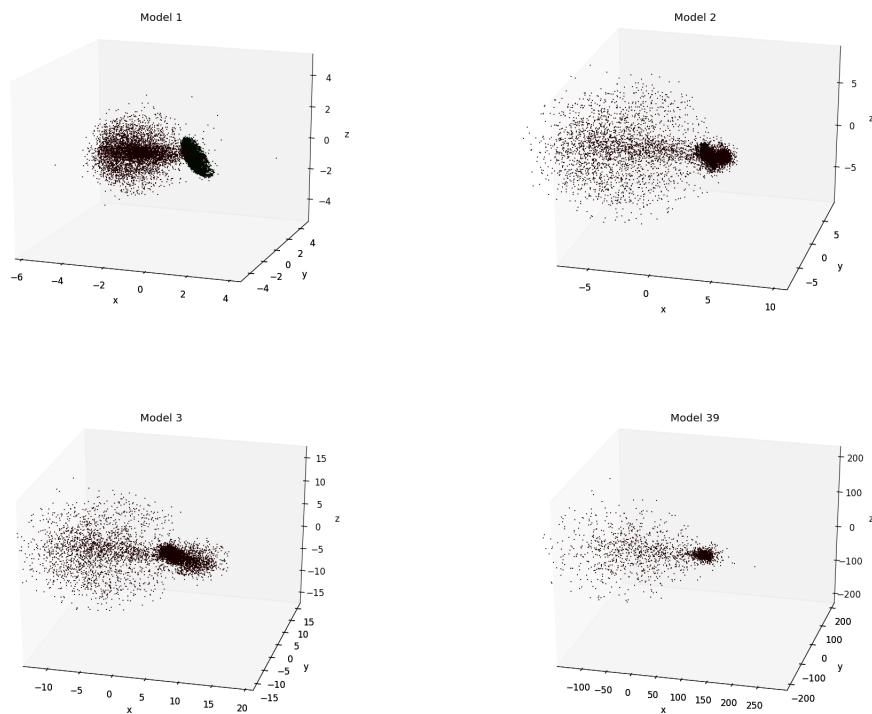


Figura 14: $\text{ángulo} = 240 \text{ grados}$, los 2 objetos(solo parte luminosa) modelo 1,2,3,39

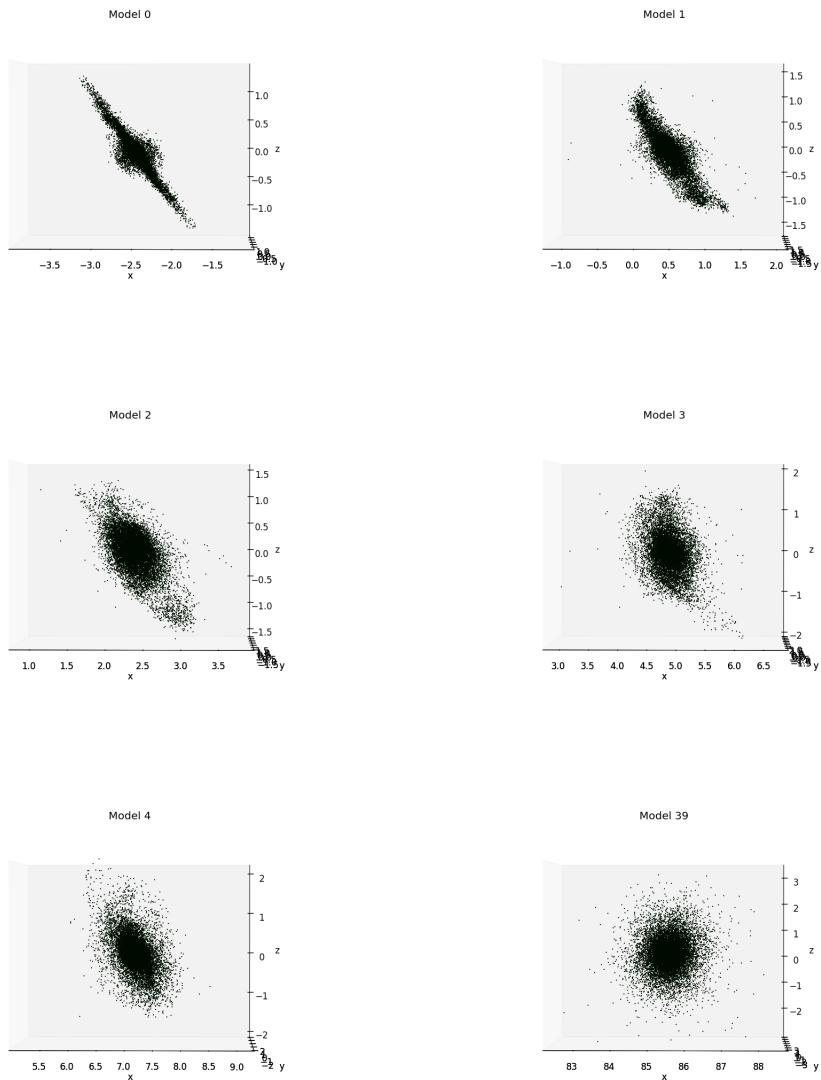


Figura 15: $\text{ángulo} = 240 \text{ grados}$, el objeto con disco visto en la dirección oy (solo parte luminosa) modelo 0,1,2,3,4,39

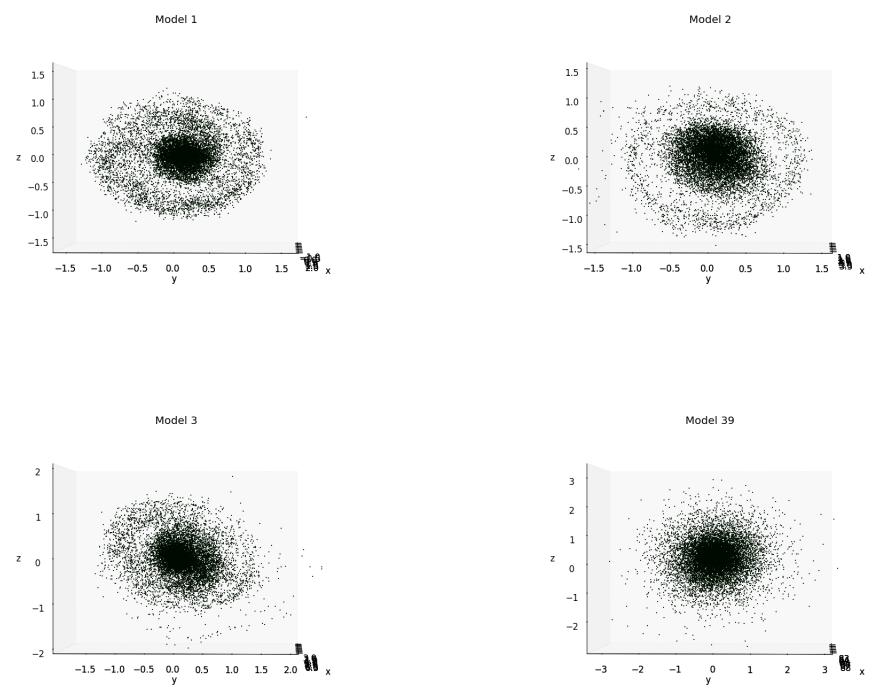


Figura 16: $\text{ángulo} = 240 \text{ grados}, \text{el objeto con disco visto en la dirección } ox (\text{solo parte luminosa})$ modelo 1,2,3,39

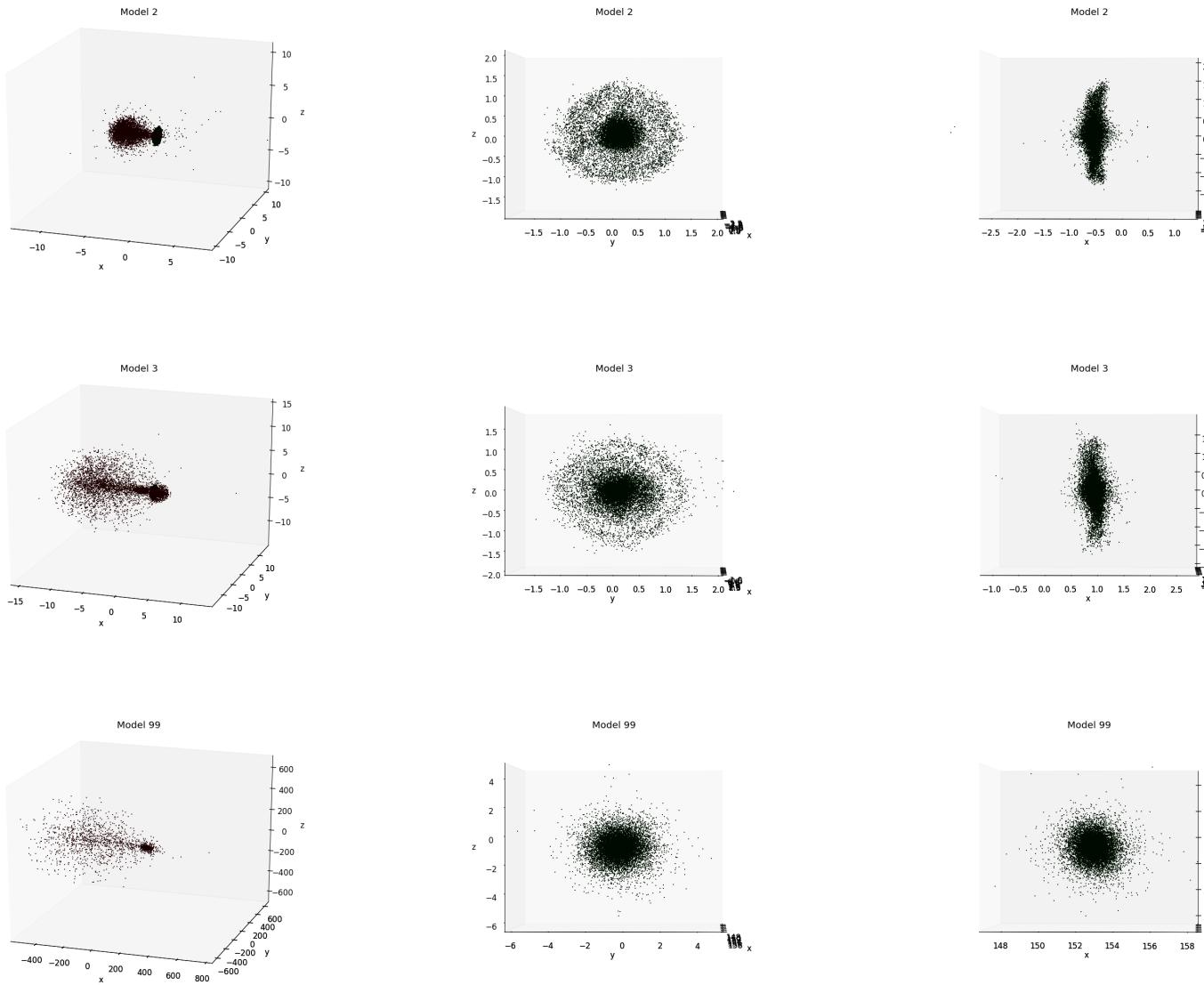


Figura 17: Separación = 10 , ángulo = 90 grados, solo la parte luminosa, primera columna los 2 objetos, la segunda el objeto con disco visto en la dirección ox , la tercera el objeto con disco visto en la dirección oy , modelos 2,3,99

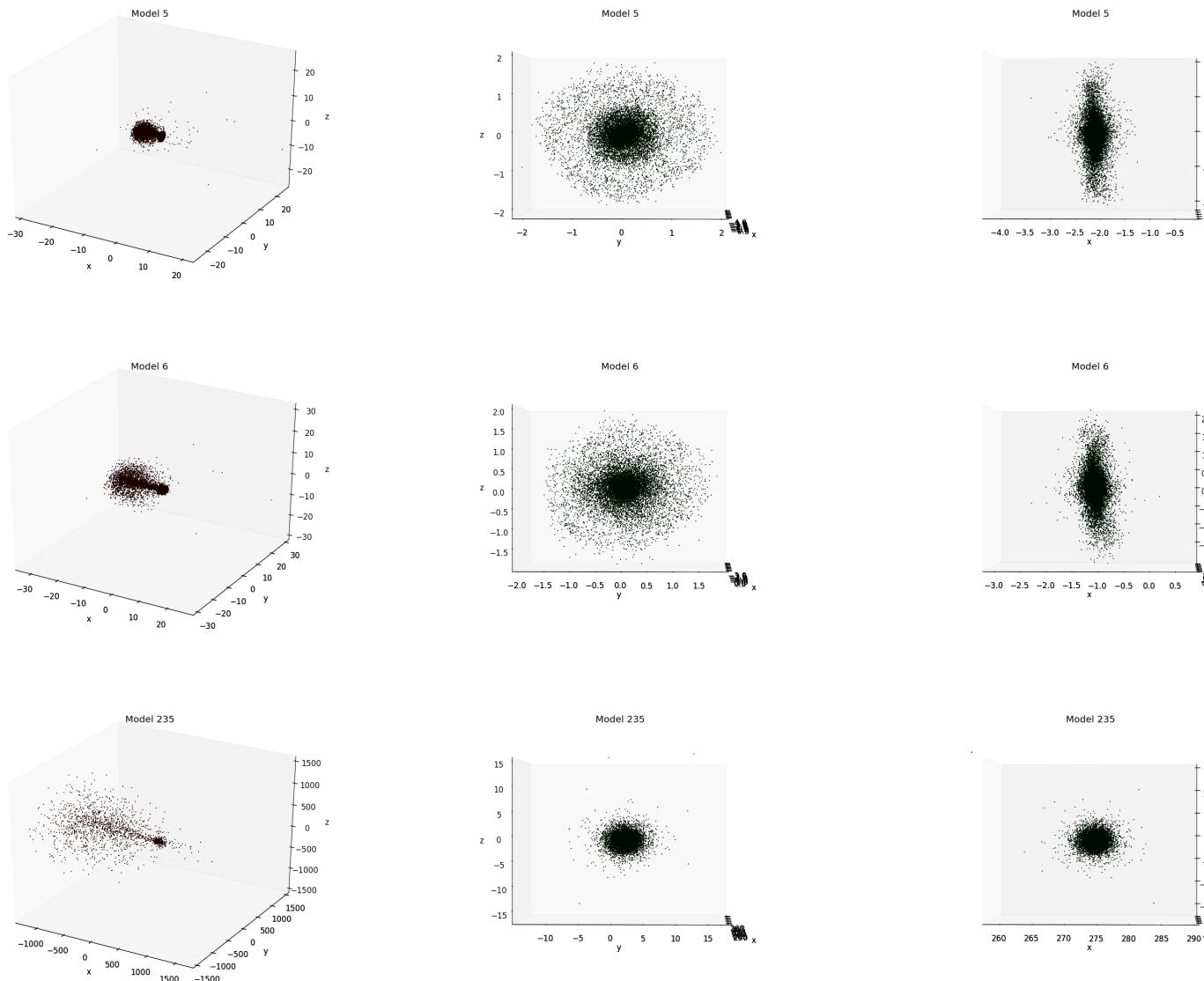


Figura 18: Separación = 20 , ángulo = 270 grados, solo la parte luminosa, primera columna los 2 objetos, la segunda el objeto con disco visto en la dirección ox , la tercera el objeto con disco visto en la dirección oy , modelos 5,6,235

Cuando el disco es perpendicular al plano de la órbita ($\text{ángulo} = 90, 270$) durante la evolución los objetos tienen simetría radial vistos en el plano yoz(línea de vision ox). Cuanto menor es la separación inicial el objeto esférico es más compacto y tiene mayor velocidad relativa al objeto con disco en el primer encuentro y lo va a atravesar con mayor velocidad atrayendo partículas de este (cartwheel: ver las imágenes del disco visto en la dirección ox - para menor separación el anillo hueco es mas pronunciado) Cuando el disco no es perpendicular al plano de la órbita , la velocidad de rotación del disco va a tener una componente en la dirección ox que se va a sumar o restar a la velocidad del otro objeto dependiendo del sentido de rotación (las imágenes del disco en el plano yoz de los ángulos 60 y 270 no tienen más simetría radial, pero las imágenes al largo de la línea ox de los objetos en el caso $\text{ángulo} = 60$ son imágenes en espejo de los objetos en el caso $\text{ángulo} = 270$) En los encuentros posteriores las partículas del objeto esférico que no se han escapado van a tener menos velocidad y el anillo cartwheel va a desaparecer.

Mirando Ebind en nora vemos que del objeto con disco se escapan mucho menos partículas que en el objeto esférico porque tiene mas energía potencial y la mayor parte de las partículas se van en los primeros 2 encuentros

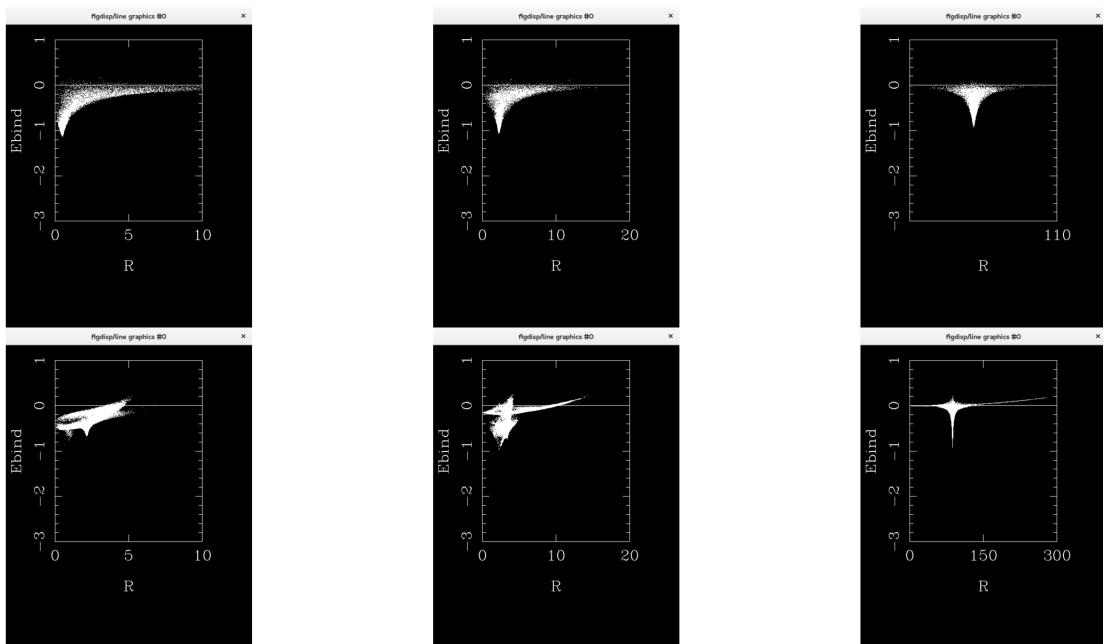


Figura 19: Separación = 5 , ángulo = 90 grados,la primera fila: Ebind para el modelo con disco, la segunda Ebind para el modelos esférico, las partículas con energía positiva se van a escapar. Las columnas representan modelo 1,2,40.No parece que haya muchas mas partículas que se escapan en el último modelo comparado con el modelo 2

El sistema no alcanza el equilibrio. Miramos el gráfico del radio para varios valores de la fracción de masa y comprobamos si se cumple T. virial

En realidad el objeto con disco no se expande tanto: algunas partículas se escapan, pero el disco se hace cada vez mas grueso hasta que se convierte en una esfera con el radio aprox igual al radio inicial del disco. Comprobamos si ahora se parece más a una elíptica mirando la relación del brillo superficial con r^4 y la dispersión de velocidad frente a la velocidad en nora

Aunque la dispersión de velocidad crece, sobre todo en el centro, a radio mas grande la velocidad de rotación es mayor que la dispersión de velocidadEl logaritmo del brillo superficial no depende de forma lineal de r^4 (la relación de Vaucouleurs no se comprueba) El modelo con disco sigue teniendo un disco(con velocidad ordenada - de rotación)

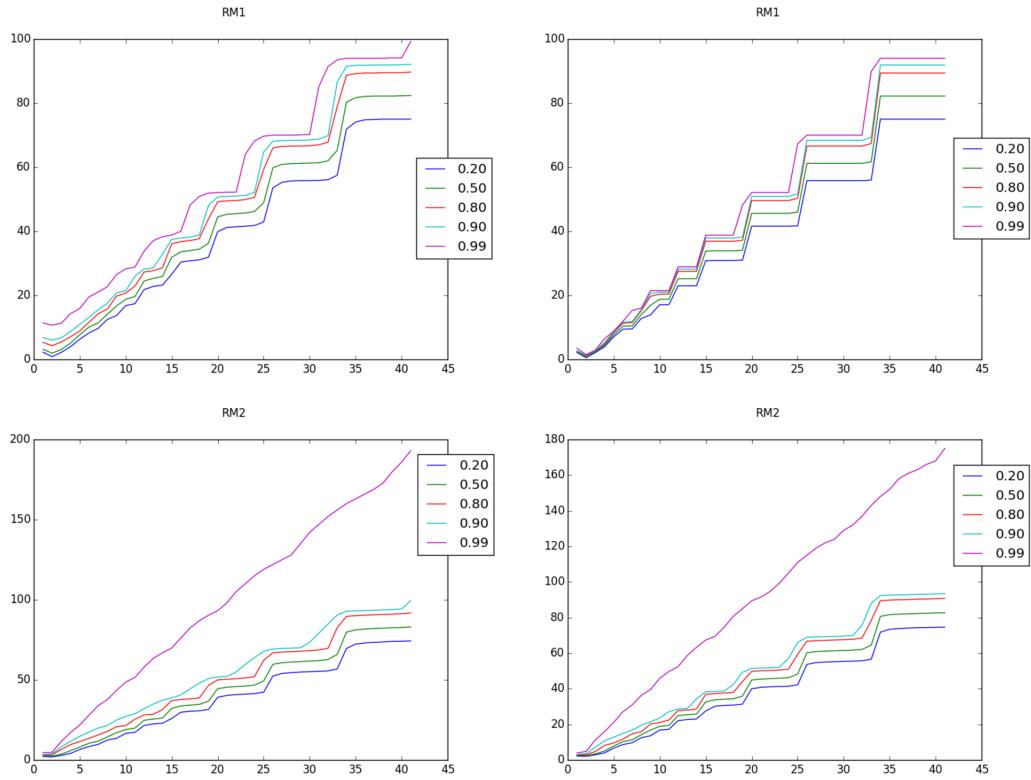


Figura 20: Separación = 5 , ángulo = 90 grados, R_m obtenido en nora: primera fila el objeto con disco, la segunda el modelo esférico, la primera columna el objeto entero, la segunda solo la parte luminosa

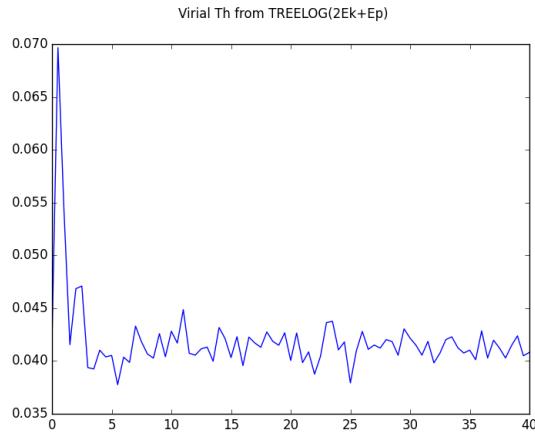


Figura 21: Separación = 5 , ángulo = 90 grados, $T.$ virial no se cumple

El centro de masas se va desplazando en la dirección positiva de ox con una velocidad casi constante.(cuando se crea el modelo inicial: en $t=0$ con setorb los 2 objetos están aliniados en la dirección ox, el centro de masas de los 2 objetos está casi en el origen y a la velocidad de todas las partículas le añade $-\vec{v}r/2$ (el signo negativo porque van hacia el centro), pero el objeto con disco que es 10 veces más masivo está situado en la parte negativa de ox y el modelo esférico en la parte positiva)

La energía total se conserva y es positiva (las partículas se escapan)

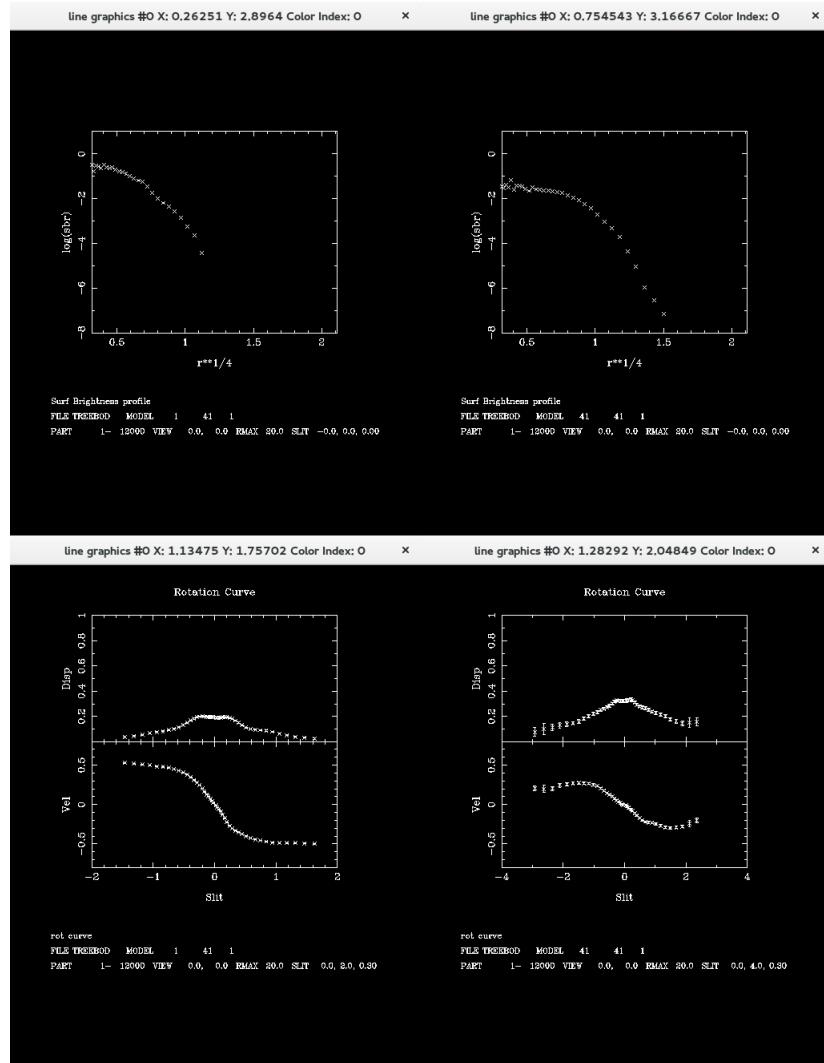


Figura 22: Separación = 5 , ángulo = 90 grados, primera fila: sbr 2 2, segunda fila: rotc 0 radio 0.3, primera columna en el momento inicial, la segunda en el momento final, solo la parte luminosa

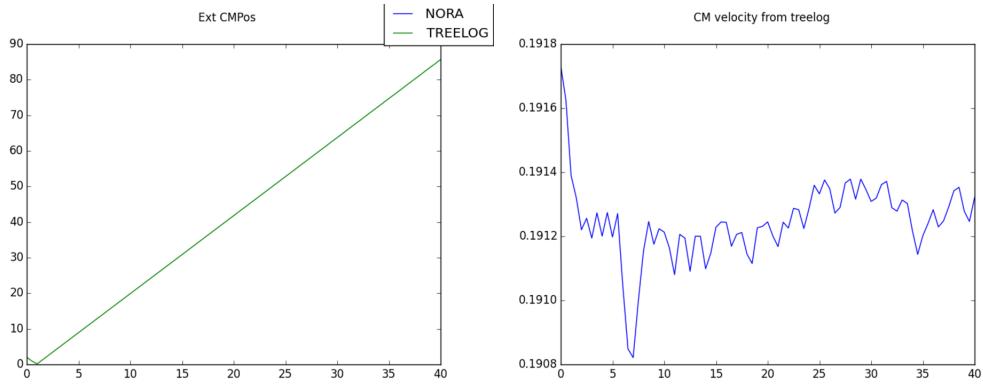


Figura 23: Separación = 5 , ángulo = 90 grados, la distancia del centro de masas con respecto al origen (los valores calculados con cmcent en nora son exactamente iguales a los de treelog) que crece lineal en el tiempo (velocidad constante) y la velocidad del centro de masas obtenida de treelog

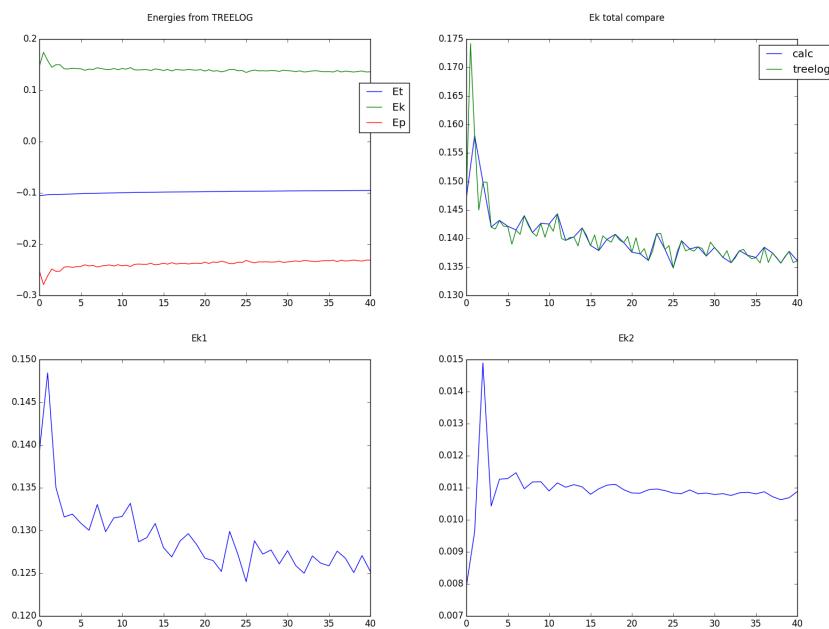


Figura 24: Separación = 5 , ángulo = 90 grados, izquierda-derecha, arriba-abajo: Energias de treelog, energía cinética (comparación treelog y calculado en python - las diferencias se deben a que noutlog = 2*noutbod), energías cinéticas de los 2 objetos - todas las partículas incluyendo halos

Código python

makeAsc.py, nora.py, extern.py tienen que estar en la misma carpeta con los ficheros de salida de tree500 : TREE* , además los binarios xvp-asc y nora

determinar el numero de módulos de TREEOUT o del output de tree500
ejecutar

```
python makeAsc.py --numModels=41
```

donde 41 es el número de modelos. Eso va a crear unos ficheros Model*.txt que lee nora.py después

```
python nora.py
```

nora.py e un programa python que usa las librerías numpy, matplotlib y wx. Se pueden seleccionar los grupos de partículas que son visibles y el objeto a que apartenece cada grupo. Hay unos botones para cargar los modelos siguientes y anteriores En el menú las funciones del submenú Each se calculan para las partículas visibles del modelo actual Todas las funciones de los submenús Each y All(calc) y las funciones que calculan RM y Center (of mass) distance se van a calcular solo para las partículas visibles, los que calculan momento angular y energía en los submenús All(ext) y All(comp) se calculan para todas las partículas. La explicación es que el momento angular y energía calculados con las herramientas externas (ver extern.py) son valores de los ficheros de salida TREEAM y TREELOG, pero los valores obtenidos con Rm , medcent y cmcent que se ejecutan en nora se pueden calcular para un cierto rango (bodsrangle)

Las funciones del submenú All(calc) pueden tardar un poco porque se calculan para todos los modelos: se usan ficheros *.txt donde se guardan los valores para no calcularlas siempre, también para algunos cálculos en nora: ver el parámetro useCalcValues = True (y donde se usa) en nora.py y extern.py. Los videos se han obtenido de las imágenes generadas con la función Make images del submenú All(calc) Pulsando en una partícula(ondpick event) se va a representar el vector de la velocidad(multiplicado por una constante que por defecto es 10, se puede cambiar con el slider) Hay 2 sliders que representan el valor con el cual se multiplica el módulo de la velocidad y momento angular en un instante (en el submenú Each) Mirar también el output del programa