

```
In [3]: %matplotlib notebook

In [ ]:

In [32]: import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import rc
rc('font',**{'family':'sans-serif','sans-serif':['Helvetica']})
## for Palatino and other serif fonts use:
#rc('font',**{'family':'serif','serif':['Palatino']})
rc('text', usetex=True)

In [71]: %%latex
Consideremos el teorema del virial, es decir
\begin{equation}
2K+U=0,
\end{equation}
donde U es la energía potencial de una estrella de massa $m$ que se mueve con una orbita circular en el plano del disco galáctico. Esta energía potencial es el result
Siempre y cuando, consideremos que el campo gravitacional es esféricamente simétrico. K es la energía cinética ligada a esta partícula.

Ahora podemos relacionar la velocidad de rotación con las distribuconies de masa de la galaxia.
Tomemos por ejemplo las estimaciones hechas por McMillan 2016 (arXiv:1608.00971) para la via lactea y comparemos con observaciones recientes recopiladas en el archivo
```

Consideremos el teorema del virial, es decir

$$2K + U = 0,$$

(1)

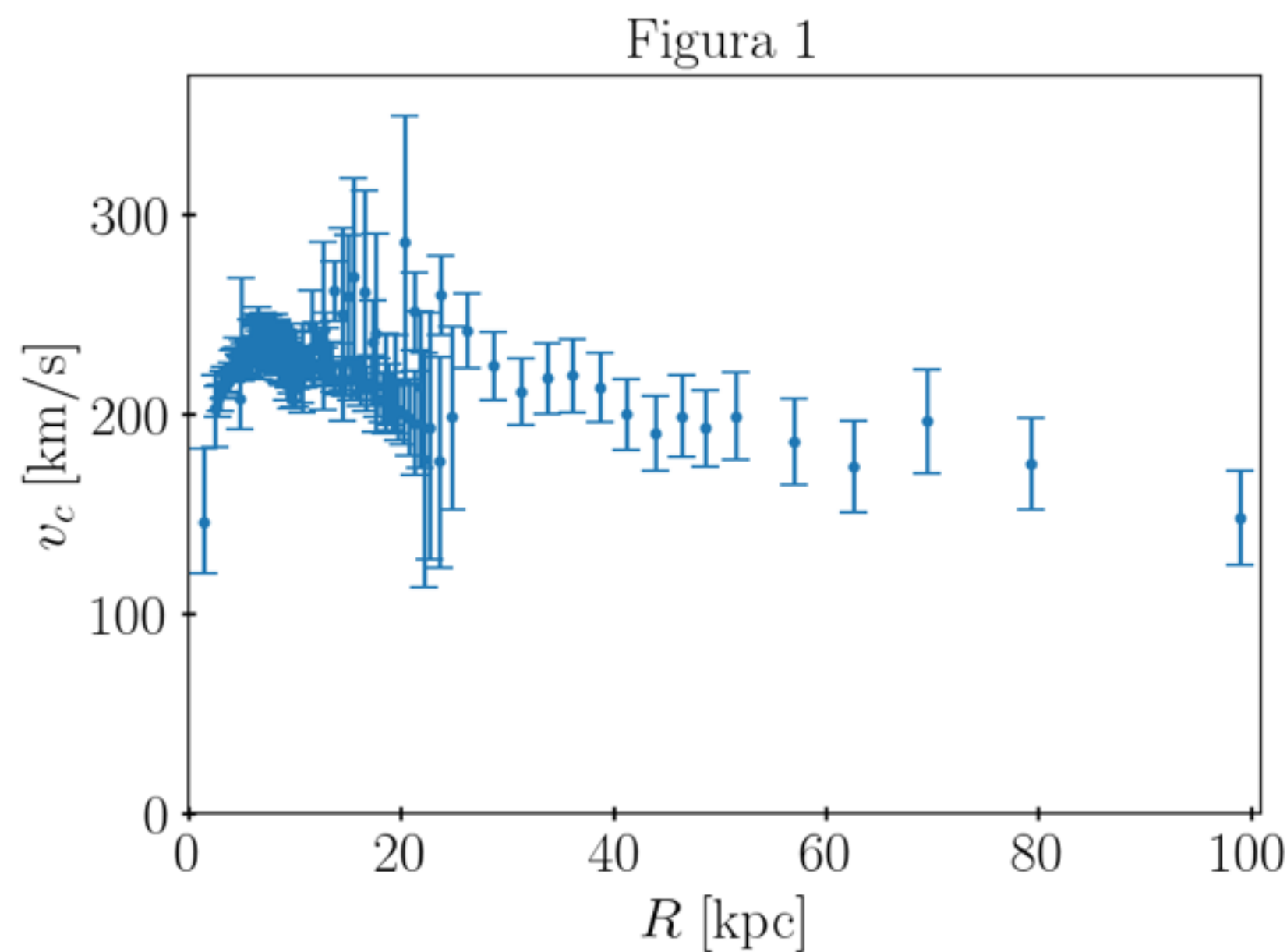
donde U es la energía potencial de una estrella de massa m que se mueve con una orbita circular en el plano del disco galáctico. Esta energía potencial es el resultado de toda la masa contenida al interior del radio r en el que se localiza la estrella. Siempre y cuando, consideremos que el campo gravitacional es esféricamente simétrico. K es la energía cinética ligada a esta partícula. Ahora podemos relacionar la velocidad de rotación con las distribuconies de masa de la galaxia. Tomemos por ejemplo las estimaciones hechas por McMillan 2016 (arXiv:1608.00971) para la via lactea y comparemos con observaciones recientes recopiladas en el archivo "vc_combined.dat".

```
In [70]: # load data
dat = np.loadtxt("vc_combined.dat")
# define los arreglos
R      = dat[:,0]
vc_MW  = dat[:, -3]

vc_err_M = dat[:, -2]
vc_err_P = dat[:, -1]

# hacer el grafico
fig, ax= plt.subplots()
# MW plot
ax.errorbar(R,vc_MW,yerr=[vc_err_M,vc_err_P], fmt='.', capsize=5)

# Cosmeticos
ax.set_xlabel(r"$ R \; \; \rm [kpc] \; $",fontsize=20)
ax.set_ylabel(r"$ v_c \; \; \rm [km/s] \; $",fontsize=20)
ax.set_xlim(0,101)
ax.set_ylim(0,370)
ax.tick_params(axis='both', which='major', labelsize=20,
               size=5,width=1.2,direction="inout")
ax.set_title(r"$\rm Figura\; 1$",fontsize=20)
plt.tight_layout()
```



```
In [55]: %%latex
Las referencias de estas observaciones están en el archivo vc_combined.dat en líneas comentadas.

Como se observa en la Figura 1 la velocidad circular aumenta rapidamente hasta que alcanza una  $V_{\rm max} \simeq 200$  km/s.
Considerando que el disco galáctico estelar se extiende hasta unos 30 kpc del centro, y el gaseoso unos 10 kpc más,
hace el hecho de que la curva de rotación se mantenga constante hasta mucho mas afuera sea dificil de explicar solo con estrellas y gas.
```

Las referencias de estas observaciones estan en el archivo en líneas comentadas. Como se observa en la Figura 1 la velocidad circular aumenta rapidamente hasta que alcanza una $V_{\rm max} \simeq 200$ km/s. Considerando que el disco galactico estelar se extiende hasta unos 30 kpc del centro, y el gaseoso unos 10 kpc más, hace el hecho de que la curva de rotación se mantenga constante hasta mucho mas afuera sea dificil de explicar solo con estrellas y gas.

Ejercicio 1

```
In [57]: %%latex
Partiendo del teorema del virial escriba la expresion para la velocidad circular de una estrella en el disco galactico.
```

Partiendo del teorema del virial escriba la expresion para la velocidad circular de una estrella en el disco galactico.

Ejercicio 2

```
In [2]: %%latex
Suponiendo simetria esférica integre por separado las ecuaciones (1),(3) y (4) para la el bulbo estelar, el disco estalar y un disco gaseoso. Los valores necesarios
la idea es obtener la masa de cada componente en funcion del radio y obtener la velocidad circular correspondiente a cada componente en funcion del radio.
```

la idea es obtener la masa de cada componente en funcion del radio y obtener la velocidad circular correspondiente a cada componente en funcion del radio.

Ejercicio 3

```
In [64]: %%latex

Compare las velocidades circulares obtenidas con las observaciones de la Figura 1. Y si la suma de las diferentes contribuciones gracias a las estrellas y el gas
no son suficientes para explicar las observaciones, porceda a agregar la velocidad circular inducida por el halo de materia oscura (ecuacion 5).
```

Compare las velocidades circulares obtenidas con las observaciones de la Figura 1. Y si la suma de las diferentes contribuciones gracias a las estrellas y el gas no son suficientes para explicar las observaciones, porceda a agregar la velocidad circular inducida por el halo de materia oscura (ecuacion 5).

Bonus

```
In [67]: %%latex
El parametro  $\gamma$  en la ecuacion 5 representa la pendiente del perfil de materia oscura en el centro galactico. Actualmente este parametro es protagonista de tens
Compare la diferencia entre considerar un cuspide o cusp ( $\gamma=1$ ) y un nucleo o core ( $\gamma \sim 0$ ) en las curvas de rotacion. Y discuta a su parecer cual valor
```

El parametro γ en la ecuacion 5 representa la pendiente del perfil de materia oscura en el centro galactico. Actualmente este parametro es protagonista de tensiones entre las observaciones y simulaciones cosmologicas. Compare la diferencia entre considerar un cuspide o cusp ($\gamma = 1$) y un nucleo o core ($\gamma \sim 0$) en las curvas de rotacion. Y discuta a su parecer cual valor representa mejor las observaciones.

```
In [69]: %%latex

Consejos: considere hacer una prueba de  $\chi^2$  de cada prediccion contra las observaciones, probando solo los puntos con  $R < 8$ .
```

Consejos: considere hacer una prueba de χ^2 de cada prediccion contra las observaciones, probando solo los puntos con $R < 8$.

```
In [ ]:
```