

### Tarea 1

#### Instrucciones:

- Responda cada inciso justificando de forma clara y concisa y aportando gráficos o ecuaciones de ser necesario para complementar su argumentación.
- Entregue la tarea en el buzón de tareas de Canvas en formato PDF. Si lo desea, puede incluir ecuaciones manuscritas escaneadas.
- Si tiene dudas sobre la tarea, utilice el foro de discusión en Canvas destinado para este fin.
- La fecha de entrega es el **lunes 15 de abril** a las **23:59**. Se descontarán **0.5 puntos** por **día** de atraso.

#### Problema 1: Medicion de distancias (12 ptos)

La rama horizontal (HB) es una región del diagrama HR donde se encuentran las estrellas que están produciendo reacciones de quema de Helio en su núcleo. La luminosidad de las estrellas en la HB es relativamente constante, independiente de la edad del cúmulo, por lo tanto, es posible usarla como candela estándar.

- a) Acceda a la base de datos de GAIA y haga una query para obtener estrellas del cúmulo NGC 5904. Para ello, deberá investigar las coordenadas de este objeto (puede usar por ejemplo, Simbad). Haga una extracción de al menos 10000 estrellas en un radio de  $1^\circ$  y magnitud  $G < 18$ . Muestre la query utilizada. (2 pto)
- b) Haga un gráfico de los movimientos propios de las estrellas en ascensión recta y declinación (pmra, pmdec). Se recomienda fuertemente usar un gráfico de densidad y no de puntos. Describa lo que observa. ¿Puede aislar las estrellas pertenecientes al cúmulo? (2 ptos)
- c) En base al gráfico anterior, haga una selección de las estrellas que pertenecen al cúmulo, y haga un diagrama color-magnitud ( $G_{BP} - G_{RP}$  vs  $G$ ). Identifique la HB de este cúmulo, estime su magnitud aparente. Sabiendo que este cúmulo se encuentra a una distancia de 7.4 kpc, determine la magnitud absoluta de las estrellas de HB. (3 ptos)
- d) Ahora haga una query para el cúmulo NGC 2808 y repita los pasos para construir su diagrama color-magnitud. Determine su distancia en base a la magnitud aparente de la HB y la calibración que hizo anteriormente. (3 ptos)
- e) Haga un promedio de los paralajes de las estrellas del último cúmulo y estime su distancia. ¿Coincide con el estimado del inciso anterior? (2 ptos)

Puede utilizar como base la siguiente query, la cual extrae todos los objetos centrados en las coordenadas RA-CLUSTER, DEC-CLUSTER, en un radio de X grados, y más brillantes que CUT-MAG

```
SELECT *
FROM gaiadr3.gaia_source
WHERE 1 = CONTAINS( POINT(RA-CLUSTER, DEC-CLUSTER), CIRCLE(ra, dec, X))
AND phot_g_mean_mag < CUT-MAG
```

## Problema 2: Constante de Hubble (12 pts)

Las supernovas (SN) tipo Ia se utilizan para medir distancias a galaxias lejanas debido a que la luminosidad en el máximo de su curva de luz presenta poca variabilidad. En este ejercicio veremos cómo estimar la constante de Hubble ( $H_0$ ) usando observaciones de SN Ia incluyendo las correcciones básicas.

- Describa el proceso físico detrás de este tipo de supernova ¿A qué se debe la baja variabilidad en el máximo de la curva de distintas SN Ia? (1 pto)
- Usando la ley de Hubble obtenga una relación entre el módulo de distancia ( $\mu$ ) de una SN Ia y su redshift ( $z$ ). (2 pto)
- Tras calibrar un conjunto de SN Ia utilizando Cefeidas se determinó que la magnitud absoluta en el máximo de la curva de luz en el azul es  $\langle M_{MAX}(B) \rangle = -19.258$ . Con esta información grafique un diagrama de Hubble usando el redshift y el módulo de distancia de las supernova Ia de la tabla 1. (2 pto)
- Usando la relación  $\mu - z$  y los datos de la tabla 1, estime  $H_0$  y su incerteza. Muestre el valor obtenido en un diagrama de Hubble ( $\mu$  vs  $z$ ). (2 pto)
- Phillips et al (1993) presentaron una relación entre el  $M_{MAX}$  de una SN Ia y que tan rápido decae (estimado como la diferencia en magnitud después de 15 días,  $\Delta m_{15}$ ): las supernovas más débiles decaen más rápido que las más intensas. Posteriormente se midió dicha relación con una muestra calibrada de supernovas:

$$M_{MAX}(B) = -19.258 + 0.784[\Delta m_{15}(B) - 1.1] \quad (1)$$

Use esta relación para corregir la dispersión en módulo de distancia debido a este efecto. (Nota: vea la Figura 27.1 del libro C&O para una descripción gráfica de la calibración.) (2 pto)

- Repita el cálculo de  $H_0$  con la muestra corregida. (1 pto)
- Gracias al telescopio espacial Hubble (HST) se lograron detectar SN Ia a “alto redshift”. Tres SN Ia descubiertas con este instrumento se muestran en la tabla 2. Grafique estos nuevos datos junto a los de la tabla 1 y el resultado del ítem f) extendiendo la relación  $\mu - z$  hasta redshift 1.0. ¿Concuerda el módulo de distancia de las SN Ia a alto redshift con la predicción a bajo redshift? Asumiendo que las mediciones son correctas ¿Cómo se puede interpretar esta diferencia? (Nota: para su interpretación recuerde que el redshift se relaciona a velocidad con la que el objeto se aleja y  $\mu$  con su distancia). (2 pto)

Tabla 1: Muestra de SN Ia a bajo redshift: redshift de su galaxia anfitriona, magnitud aparente en el máximo de la curva de luz en la banda B y decaimiento en la magnitud 15 días después del máximo.

SN	$z$	$B_{MAX}$	$\Delta m_{15}(B)$
90O	0.030	16.320	0.96
90T	0.040	17.160	1.15
90Y	0.039	17.700	1.13
90af	0.050	17.870	1.56
91S	0.056	17.810	1.04
91U	0.033	16.400	1.06
91ag	0.014	14.620	0.87
92J	0.046	17.700	1.56
92P	0.026	16.080	0.87
92ae	0.075	18.620	1.28
92ag	0.026	16.410	1.19
92al	0.014	14.600	1.11
92aq	0.101	19.450	1.46
92au	0.061	18.210	1.49
92bc	0.020	15.160	0.87
92bg	0.036	16.720	1.15
92bh	0.045	17.700	1.05
92bk	0.058	18.110	1.57
92bl	0.043	17.360	1.51
92bo	0.018	15.860	1.69
92bp	0.079	18.410	1.32
92br	0.088	19.380	1.69
92bs	0.063	18.370	1.13
93B	0.071	18.530	1.04
93H	0.025	16.840	1.69
93O	0.052	17.670	1.22
93ag	0.050	17.720	1.32
93ah	0.029	16.330	1.30

Tabla 2: Muestra de SN Ia a alto redshift.

SN	$z$	$B_{MAX}$	$\Delta m_{15}(B)$
1996c	0.828	24.58	1.19
1997G	0.763	24.49	1.07
1997ap	0.830	24.30	1.13

## Problema 3: Cosmología (12 ptos)

La métrica de Robertson-Walker está dada por

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + a(t)^2 \left( \frac{dx^2}{1 - kx^2/R^2} + x^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) \right) \quad (2)$$

- ¿Cuál es el significado de  $k$  y  $R$ ? (1 pto)
- Calcule a que distancia comóvil ( $r$ ) corresponde un desplazamiento  $dx$ . Recuerde para llegar a esta ecuación se hizo un cambio de variable de la forma  $x = S_k(r)$ . Haga este cálculo considerando  $k=-1,0,1$ . (2 pto)
- Explique, haciendo las aproximaciones necesarias, por qué la curvatura del universo no es importante para  $r \ll R$ . (1 pto)
- Usando las expresiones del inciso b), justifique el uso de los términos geometría “abierta” y “cerrada”. (1 pto)
- Considere un fotón que se mueve puramente en una dirección radial. Encuentre una expresión para la distancia comóvil  $r(t)$ . No es necesario encontrar una solución analítica. (1 pto)
- En base a la expresión anterior, demuestre que las longitudes de onda del fotón observada en el tiempo  $t_o$  y emitida en el tiempo  $t_e$  están relacionadas por  $\frac{\lambda_o}{\lambda_e} = \frac{a(t_o)}{a(t_e)}$ . (2 pto)
- Usando la definición de redshift ( $z$ ), encuentre una relación  $z$  y el parámetro de escala al momento de la emisión, considerando que el fotón es observado hoy, cuando  $a(t_o) = 1$ . (1 pto)
- La ecuación de Friedman está dada por

$$H^2 = \left( \frac{\dot{a}}{a} \right)^2 = \frac{8\pi G}{3c^2} \mathcal{E}(t) - \frac{kc^2}{R_0^2 a(t)^2} \quad (3)$$

encuentre la ecuación de aceleración  $\ddot{a}/a$ . (3 ptos)

Puede usar la ecuación de fluido

$$\dot{\mathcal{E}} \frac{a}{\dot{a}} = -3(\mathcal{E} + P) \quad (4)$$