Evolución de Galaxias

Morfológica

Dinámica

Luminosa o pasiva

Química

Hay cuatro tipos de evolución en las galaxias:

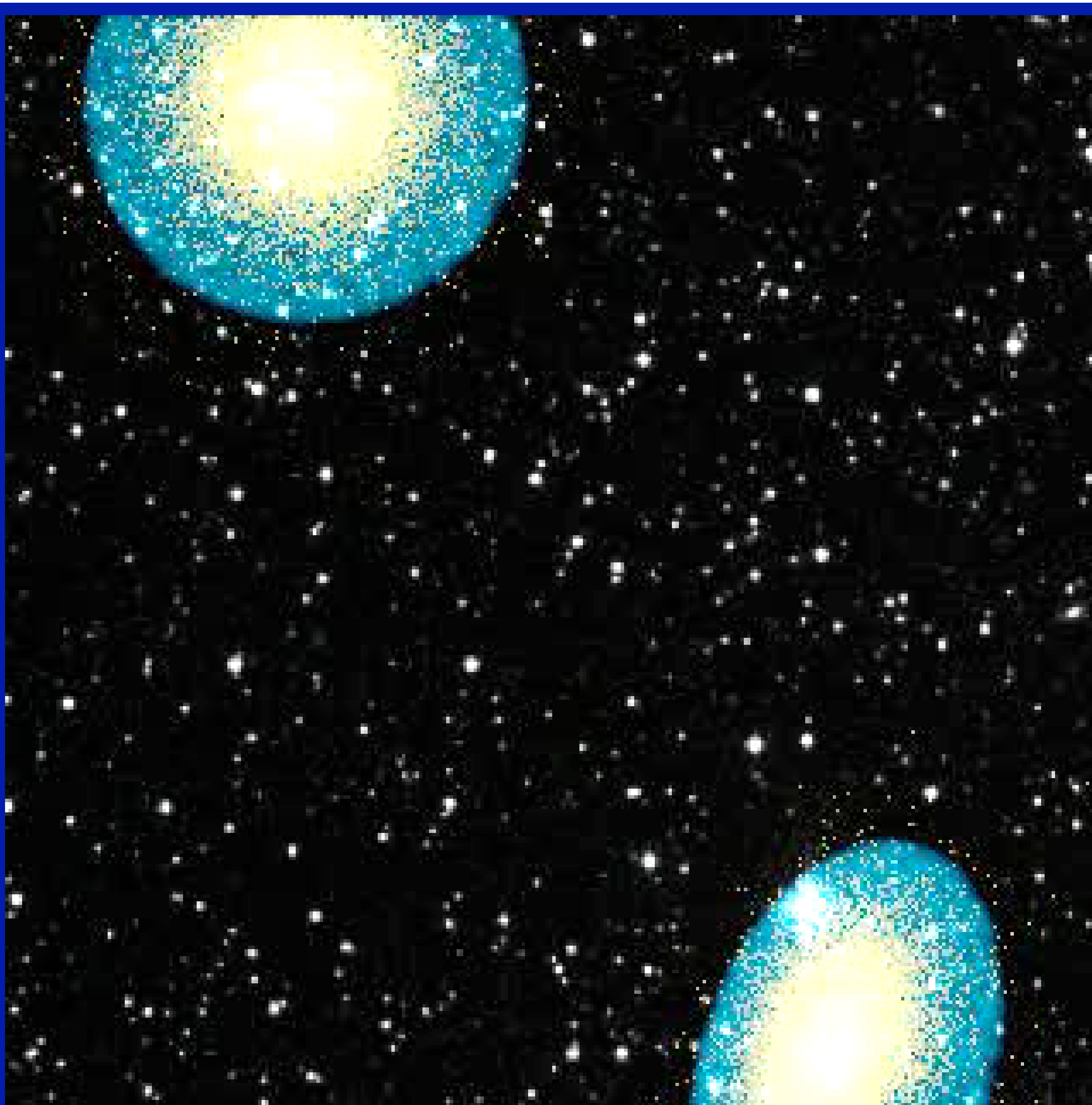
- Evolución morfológica
- Evolución dinámica
- Evolución luminosa o pasiva
- Evolución química

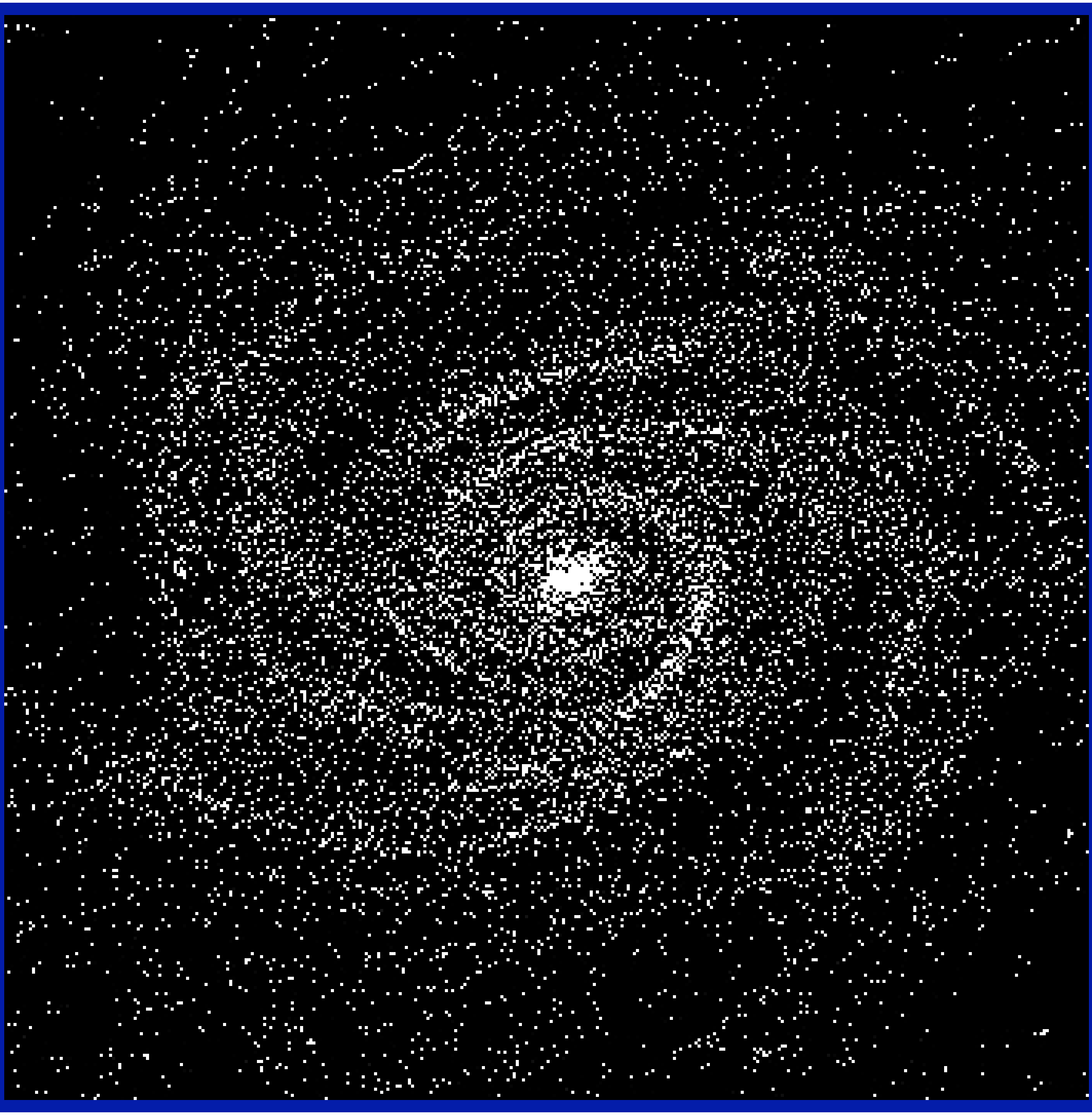
Evolución Morfológica

La evolución morfológica depende de la tasa de colisiones entre galaxias. Esto hace que su estudio teórico sea difícil. Sin embargo, simulaciones de N cuerpos ha arrojado luces en este tema. (Ver animaciones)

Ya que el universo era más denso en el pasado, esperaríamos un mayor número de colisiones y, como consecuencia, mayor evolución morfológica.

Por otro lado, evolución morfológica de espirales a lenticulares puede ocurrir por barrido por presión-ram del medio interestelar por gas caliente.





Evolución Dinámica

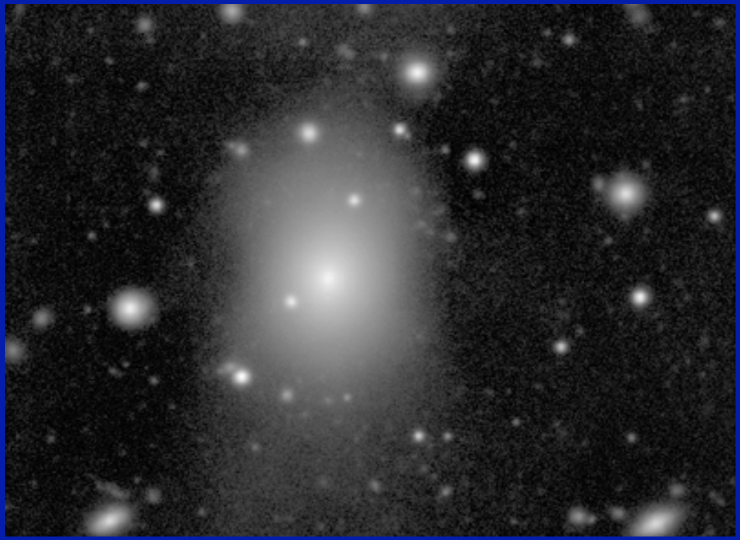
Se refiere al cambio que pueden sufrir las órbitas estelares por:

- Evolución morfológica
- Interacción con el ambiente
- Supernovas
- Formación de estrellas violentas.
- Etc.

Este tipo de evolución es aún más difícil de estudiar teóricamente. Por ejemplo, muy poco se sabe de órbitas estelares en galaxias elípticas. (Ver trabajos de Scharzchild.)

Evolución Luminosa o pasiva

Evolución de la luz en galaxias debido al envejecimiento de las estrellas.



$$L = L_d + L_g$$

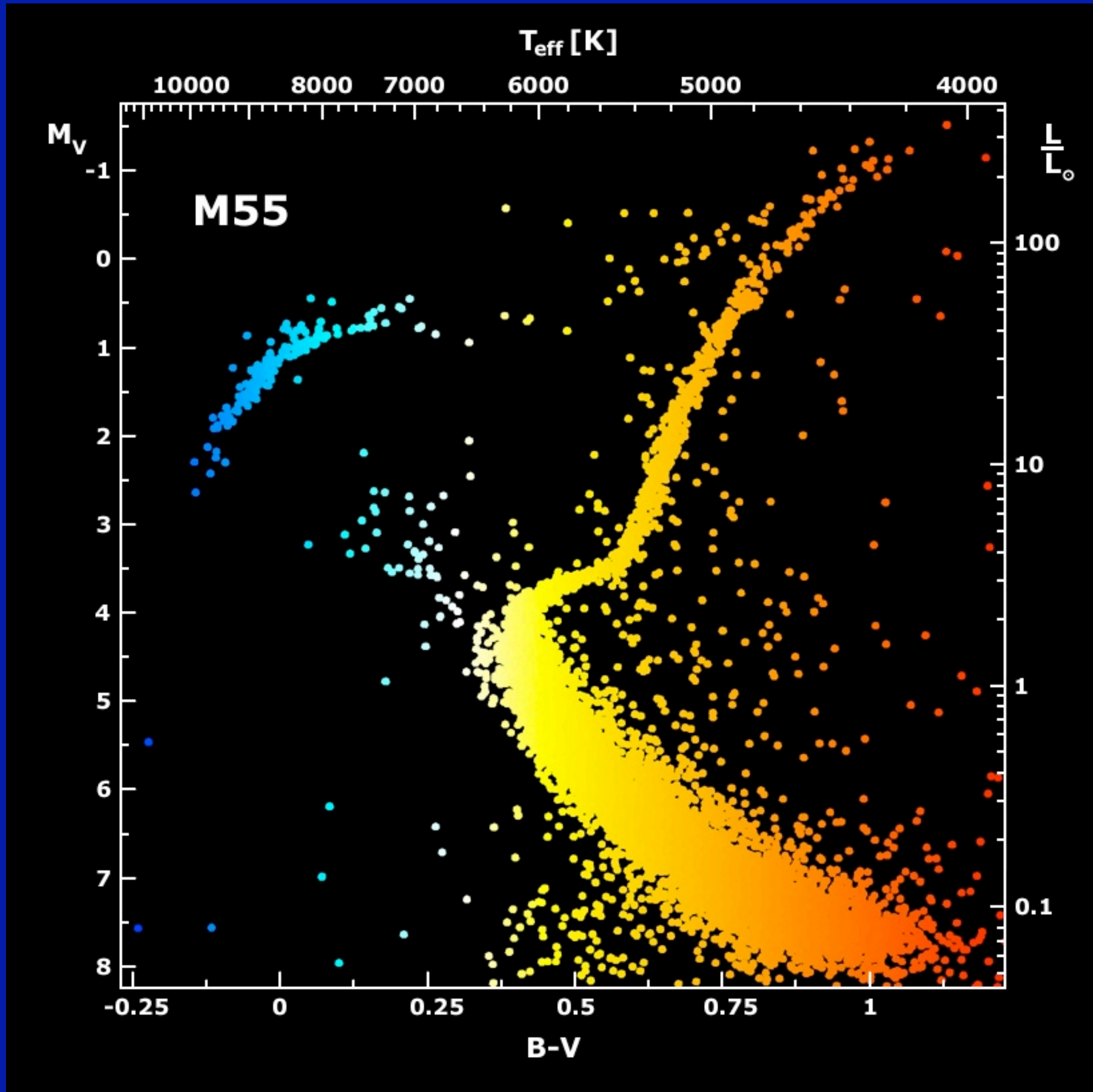
d: enanas
g: gigantes

Ingredientes

Para el cálculo de la evolución de la luminosidad de estrellas de SP necesitamos tres elementos:

1. Función Inicial de Masa (IMF); función que describe el número de estrellas que nacen con una determinada masa.
2. Relación *masa-luminosidad,* en particular para estrellas de la secuencia principal.
3. Tiempo que las estrellas permanecen en la secuencia principal

Cúmulo Globular M55



T_eff [K]
10000
8000
7000
6000
5000
4000
M_V
-1
0
1
2
3
4
5
6
7
8
M55
L/L_⊙
100
10
1
0.1
-0.25
0
0.25
0.5
0.75
1
B-V

Para iniciar el cálculo, consideremos la Función Inicial de Masa (IMF); función que describe el número de estrellas que nacen con una determinada masa.

$$\phi(m)dm \propto m^{-(1+x)}dm = \phi_1\left(\frac{m}{m_1}\right)^{-(1+x)} d\left(\frac{m}{m_1}\right)$$

- m **es la masa estelar**
- m_1 **escala arbitraria,** ***e.g.*** m_{sol}
- x**, la pendiente de la ley de potencia Salpeter** $x=1.35$
- ϕ_1 **para normalizar la función, tal que**

$$M_0 = M_0\int_0^\infty m\phi(m/m_1)d\left(\frac{m}{m_1}\right)$$

$\rightarrow$ Unidades de ϕ_1 $[m_1^{-1}]$

M_0 **es la masa total de un cúmulo de estrellas**

Necesitamos también la relación *masa-luminosidad* para estrellas de la secuencia principal. Aproximamos esto con una ley de potencia,

$$l_d = l_1 \left(\frac{m}{m_1} \right)^{\alpha}$$

donde

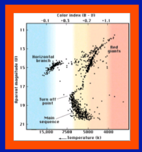
- α es el índice de la ley de potencia
- l_1 es la luminosidad de una estrella de la secuencia principal para una estrella de masa m_1
- l_d es la luminosidad de estrellas enanas, es decir secuencia principal

Una buena aproximación es, $\alpha \approx 3.5$

El tercer elemento que necesitamos es el tiempo que las estrellas permanecen en la secuencia principal. Este tiempo es proporcional a la energía disponible que, a su vez es proporcional a la masa de la estrella, que a su vez está dado por la luminosidad a través de la relación masa-luminosidad.

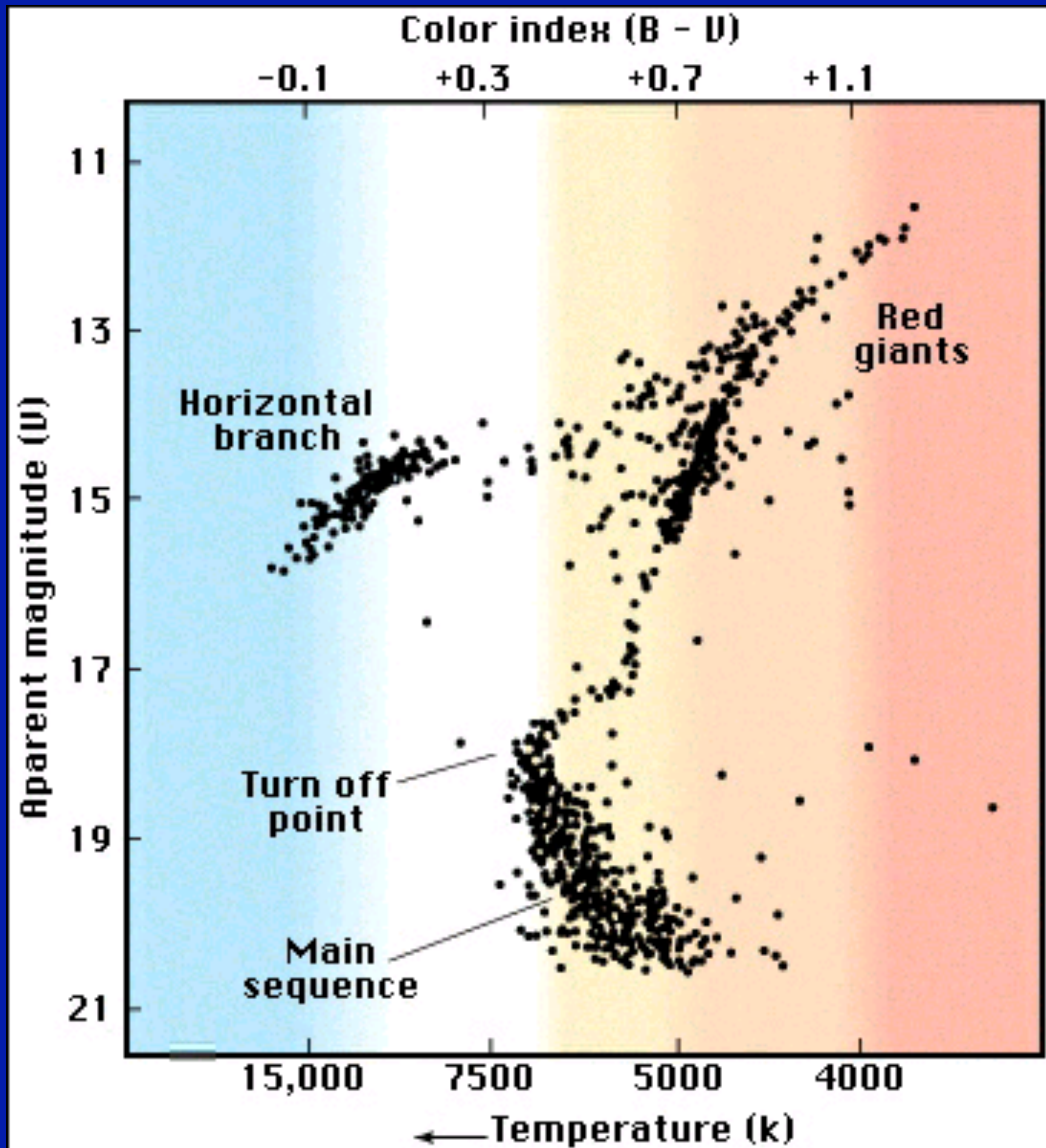
$$\tau \propto \frac{m}{l_d} \propto \left(\frac{m}{m^{\alpha}}\right) \propto m^{1-\alpha}$$

Invirtiendo esta relación, después de tiempo *t*, la masa del punto de quiebre de una población estelar será,



$$m_{tn} \propto t_{tn}^{1/1-\alpha} \quad \Rightarrow \quad \frac{m_{tn}}{m_1} = \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{1/1-\alpha}$$

donde τ_1 es el tiempo en la SP de una estrella de masa m_1.



Color index (B – V)
–0.1
+0.3
+0.7
+1.1
11
13
15
17
19
21
Apparent magnitude (V)
Horizontal branch
Red giants
Turn off point
Main sequence
15,000
7500
5000
4000
Temperature (k)

Por último, para el cálculo de la contribución de gigantes necesitamos:

- τ_g **el tiempo de vida de una estrella típica post secuencia principal (gigante)**
- l_g **La luminosidad promedio de una gigante**
- m_w **La masa de una enana blanca típica.**

Todo esto se puede derivar aproximadamente de modelos de evolución estelar.

Evolución luminosa o pasiva de un cúmulo de estrellas

Calculemos la evolución de un conjunto de estrellas (cúmulo o galaxia) de masa M_0, *todas* nacidas simultáneamente.

La luminosidad total de estrellas de la secuencia principal es fácil de calcular:

– Sumamos la contribución de todas las estrellas de la SP
– Índice inferior, m_L corresponde a la masa mínima de una estrella que genera energía.
– Índice superior, m_{tn} corresponde a la masa de una estrella en el punto de quiebre de la SP.

Entonces: Calculamos la contribución total a la luminosidad de estrella enanas (i.e. SP) L_d

$$L_d = \int_{m_L}^{m_{tn}} M_0 \phi(m/m_1) l_d(m/m_1) d\left(\frac{m}{m_1}\right)$$

$$= M_0 \int_{m_L}^{m_{tn}} \phi_1 \left(\frac{m}{m_1}\right)^{-(1+x)} l_1 \left(\frac{m}{m_1}\right)^{\alpha} d\left(\frac{m}{m_1}\right)$$

$$= M_0 \phi_1 l_1 \int_{m_L}^{m_{tn}} \left(\frac{m}{m_1}\right)^{\alpha-1-x} d\left(\frac{m}{m_1}\right)$$

$$= \frac{M_0 \phi_1 l_1}{\alpha - x} \left\{ \left(\frac{m_{tn}}{m_1}\right)^{\alpha-x} - \left(\frac{m_L}{m_1}\right)^{\alpha-x} \right\}$$

$$\boxed{m_{tn} = m_1 \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{1/1-\alpha}}$$

$$= \frac{M_0 \phi_1 l_1}{\alpha - x} \left\{ \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\frac{\alpha-x}{1-\alpha}} - \left(\frac{t_L}{\tau_1}\right)^{\frac{\alpha-x}{1-\alpha}} \right\}$$

Ya que el exponente es negativo, y estrellas de baja masa viven esencialmente para siempre, el último término de la ecuación es despreciable. La luminosidad total es,

$$\alpha \approx 3.5 \quad x \approx 1.35 \Rightarrow \left(\frac{t_L}{\tau_1}\right)^{\frac{\alpha - x}{1-\alpha}} \rightarrow 0$$

$$L_d = \frac{M_0 \phi_1 l_1}{\alpha - x}\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\frac{\alpha - x}{1-\alpha}}$$

Ahora calculemos la contribución de las gigantes.

- **Notemos que la evolución de estrellas en la rama gigante es mucho más rápida que en la SP.**
- **Ingredientes:**
  - **La clave es calcular el número de estrellas que se transforman en gigantes,** n_g
  - **Multiplicamos por el tiempo que la estrella permanece como gigante,** τ_g
  - **Multiplicamos por la luminosidad media de la estrella,** l_g
- **La tasa a la cual las estrellas de SP se transforman en gigantes se define por el número de estrellas que hay en el punto de quiebre de la SP, y cuantas de ellas se mueven a la rama gigante por unidad de tiempo.**

Luminosidad total en gigantes

$$L_g = n_g \cdot l_g \cdot \tau_g$$

Tiempo medio que una estrella típica se mantiene como gigante

Número de estrellas que se transforman en gigantes

Luminosidad media de gigantes

$$M_0 \phi(m_{tn}) \frac{dm_{tn}}{dt}$$

$$L_g = \phi(m_{tn}) \frac{d(m_{tn}/m_1)}{dt} l_g \tau_g$$

$$= M_0 \phi_1 \left(\frac{m}{m_1} \right)^{-(1+x)} \frac{dm_{tn}}{dt} l_g \tau_g$$

Si sustituimos *t* por *m*, usando la relación masa-luminosidad y derivamos,

La luminosidad de las gigantes es:

$$L_g = \frac{M_0 \phi_1 l_g \tau_g}{\tau_1(\alpha - 1)} \left(\frac{t}{\tau_1} \right)^{\frac{\alpha - x - 1}{1 - \alpha}}$$

Por lo tanto, la luminosidad total es:

$$L = L_d + L_g = \frac{M_0 \phi_1 l_1}{\alpha - x} \left(\frac{t}{\tau_1} \right)^{\frac{\alpha - x}{1 - \alpha}} + \frac{M_0 \phi_1 l_g \tau_g}{\tau_1(\alpha - 1)} \left(\frac{t}{\tau_1} \right)^{\frac{\alpha - x - 1}{1 - \alpha}}$$

Si definimos la función *G(t)* como la razón entre la luminosidad de las gigantes y la luminosidad de las enanas, entonces,

$$G(t)=\frac{L_g}{L_d}=\frac{(\alpha-x)l_g\tau_g}{(\alpha-1)l_1\tau_1}\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{1/\alpha-1}$$

Como α > 1, el exponente del tiempo es mucho menor que 1, lo que indica que la función anterior es una función débil del tiempo. Sin embargo,

$$l_d=l_1\left(\frac{m}{m_1}\right)^{\alpha}$$

$$\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\frac{1}{\alpha-1}}=\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\frac{\alpha}{\alpha-1}}\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{-\frac{\alpha-1}{\alpha-1}}=\left(\frac{m}{m_1}\right)^{-\alpha}\left(\frac{\tau_1}{t}\right)=\frac{l_1\tau_1}{l_{tn}t}$$

$$\Rightarrow\quad G(t)=\frac{L_g}{L_d}=\frac{(\alpha-x)}{(\alpha-1)}\left\{\frac{l_g\tau_g}{l_{tn}t}\right\}$$

$$G(t) = \frac{L_g}{L_d} = \frac{(\alpha - x)}{(\alpha - 1)} \left\{ \frac{l_g \tau_g}{l_{tn} t} \right\}$$

Notar:

- **$(\alpha\text{-x})/(\alpha\text{-}1) \approx 1$**
- **$l_g \tau_s / l_d t$ es la razón entre la energía total emitida por estrellas en la rama gigante y la energía emitida por estrellas en la SP.**
- **Estimación de *G(t)*:**
  - **Las estrellas de la SP se apagan cuando han consumido cerca de un 10% de su combustible.**
  - **En general, en su vida, las estrellas consumen cerca del 70% de su combustible.**

  $\Rightarrow G(t) \sim 6$

  - **Sin embargo, este valor depende de la longitud de onda**
  - **Azul *G(t) ~ 1*, Rojo *G(t) ~ 10***

Finalmente, usando la notación anterior, la luminosidad de la población estelar, en función del tiempo, es

$$L_t = L_d\{1 + G(t)\}$$

$$= \frac{M_0 \phi_1 l_1}{\alpha - x}\{1 + G(t)\}\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\frac{\alpha - x}{1-\alpha}}$$