

# Yıldızların İçyapısı ve Evrimi

---

Anakol Öncesi Evrim

# Gaz ve Toz Bulutu

---







# Moleküler Hidrojen Gaz Bulutları



# İki Görüntü Arasındaki Fark?

---



# Karanlık Bulutlar

---

Pogson formülü bize ne ifade eder?

$$m_{\lambda} = M_{\lambda} + 5 \log_{10} d - 5 + A_{\lambda}$$

Burada  $d$  uzaklık, diğerlerini biliyorsunuz.

Son terim materyalin optik derinliği ile ilgili olması gerekir.

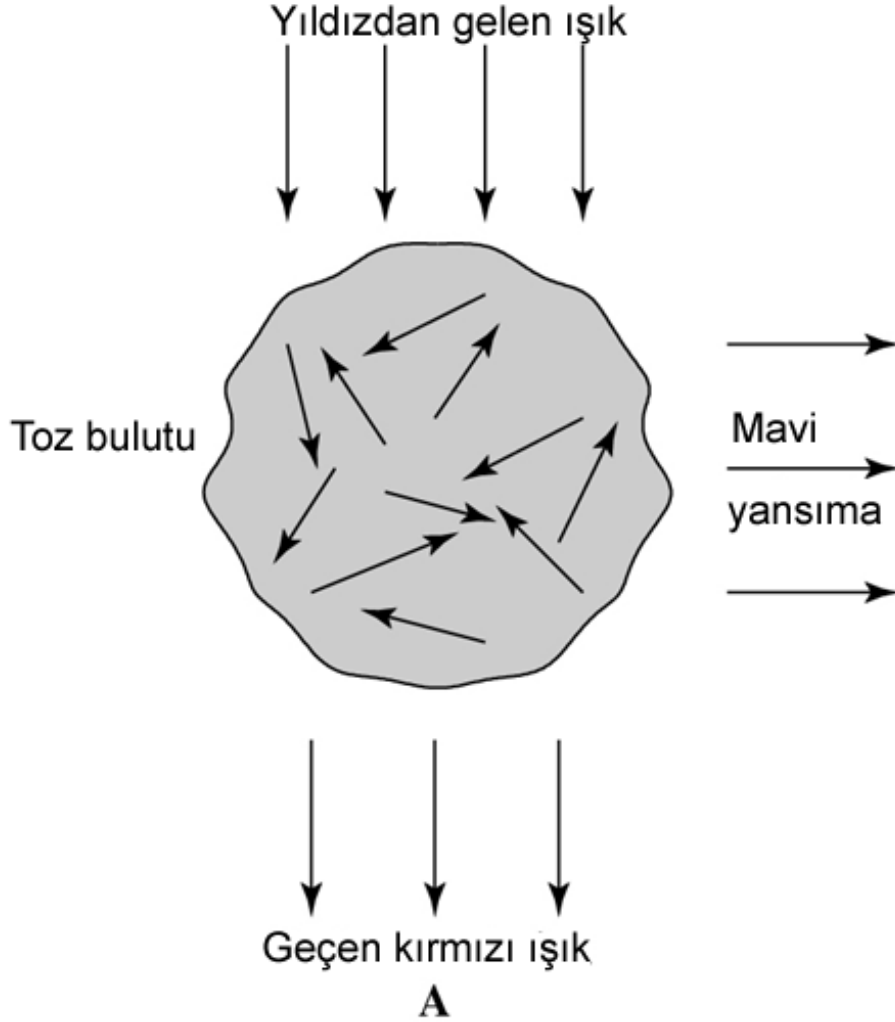
$$\frac{I_{\lambda}}{I_{\lambda,0}} = e^{-\tau_{\lambda}} \quad m_{\lambda} - m_{\lambda,0} = -2.5 \log_{10} (e^{-\tau_{\lambda}}) = 2.5 \tau_{\lambda} \log_{10} e = 1.086 \tau_{\lambda}$$

$$\tau_{\lambda} = \int_0^s n(s) \sigma_{\lambda} ds = \sigma_{\lambda} \int_0^s n(s) ds = \sigma_{\lambda} N_d$$

$$A_{\lambda} = 1.086 \tau_{\lambda}$$

---

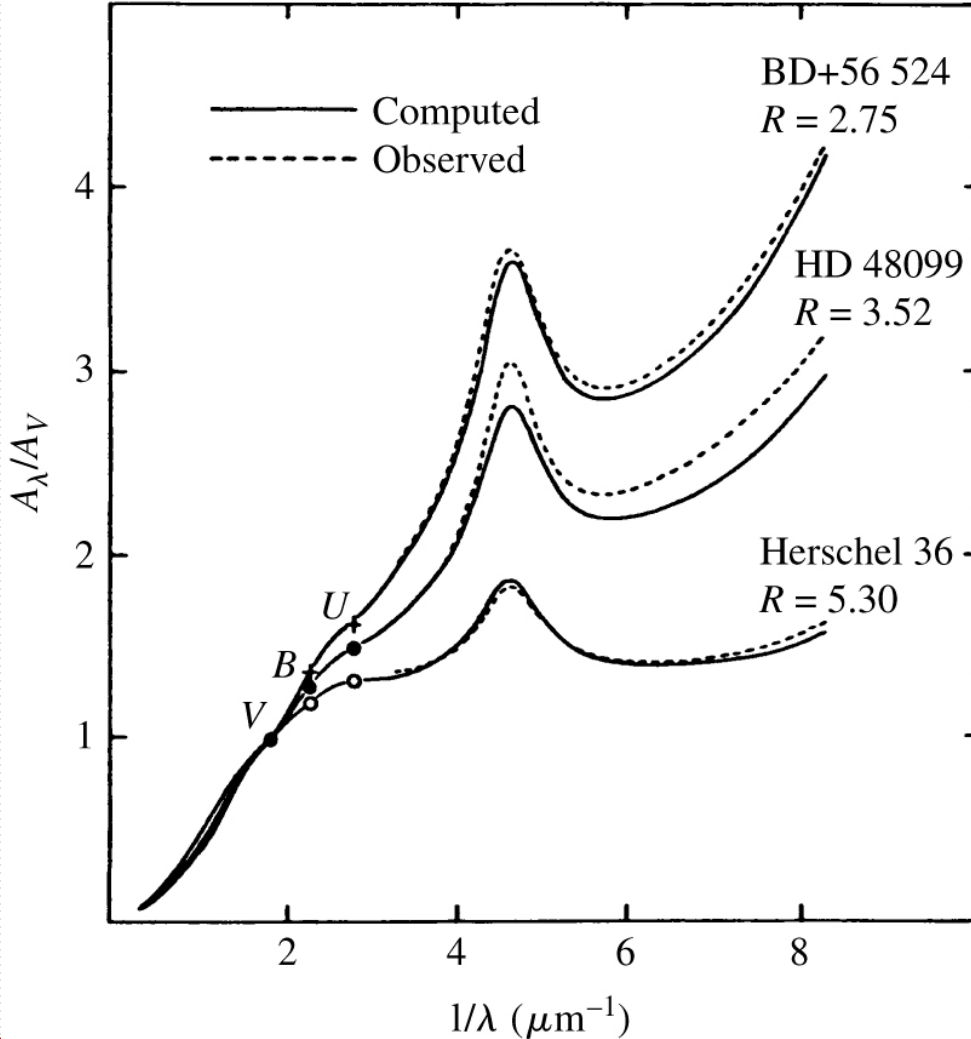
# Karanlık Bulut



Saçılma sütun yoğunluğuna, ışığın dalgaboyuna ve bulutun kalınlığına bağlıdır. A ve B gözlemcileri ne görür?

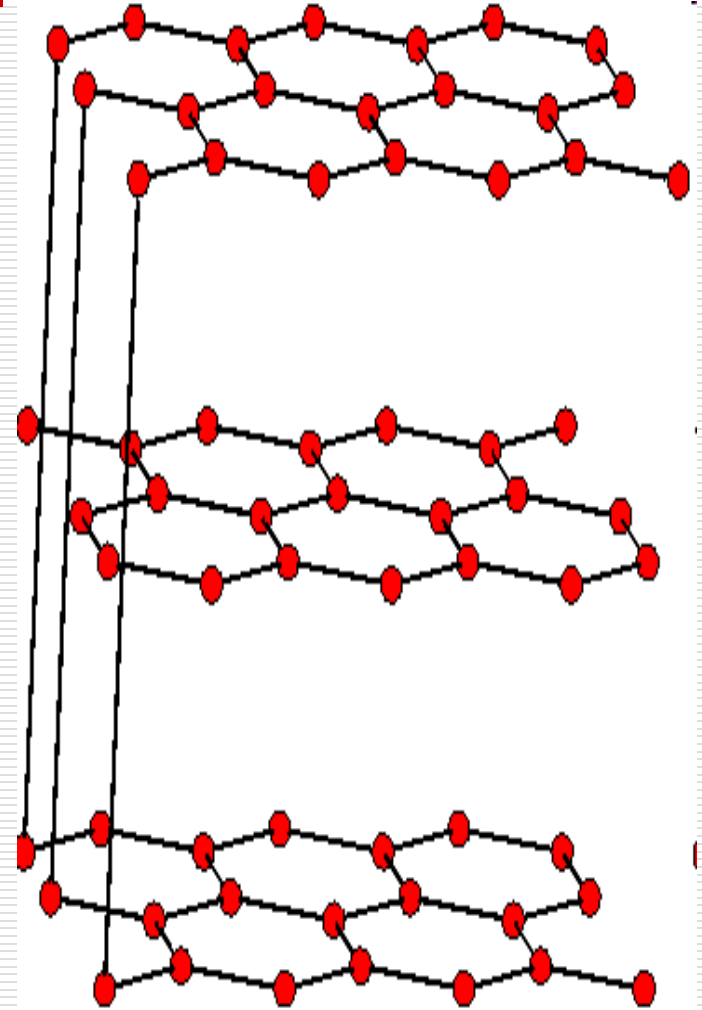


# Karanlık Bulut



Yıldızlar arası ortamda saçılma kesiti  $\lambda^{-1}$  ile orantılıdır. Bu ise saçan parçacıkların boyutu ile ilgilidir. Rayleigh saçılmasında ise  $\lambda^{-4}$  ile orantılıdır.

# Grafit



# Gaz ve Toz Bulutları

---

Sadece grafit değil silikat zerrecikleri de bulundu, bunlara grain deniliyor. Ayrıca daha farklı bir çok molekül bulundu. Fakat bu konularda henüz fikir birliğine varılmış değil yani bu zerreciklerin yapısı ve boyutları hakkında. Bir olasılık YAODA bulunan toz hem grafit hem de silikat zerreciklerinden oluşuyor ve boyutları 0.25 mm'den başlayıp bir kaç angstroma kadar değişiyor.

---

# Gaz ve Toz Bulutları

---

Işığın tozlar tarafından azaltılması bir yana YAO'da bulunan en bol gaz (%70) hidrojen olup farklı şekillerde bulunur. Nötral (HI), iyonize (HII) ve molekül hidrojen ( $H_2$ ) şeklinde. YAO'nun ikinci bol elementi He, karbon ve silikon gibi metaller %1-2'den fazla değildir. Yaygın HI bulutları 21 cm'de görmek olasıdır. Bu bulutların sıcaklıkları 30-80 K, sayısal yoğunlukları 100-800  $cm^{-3}$  ve kütleleri 1-100  $M_{\odot}$

---

# Dev Molekül Bulutları

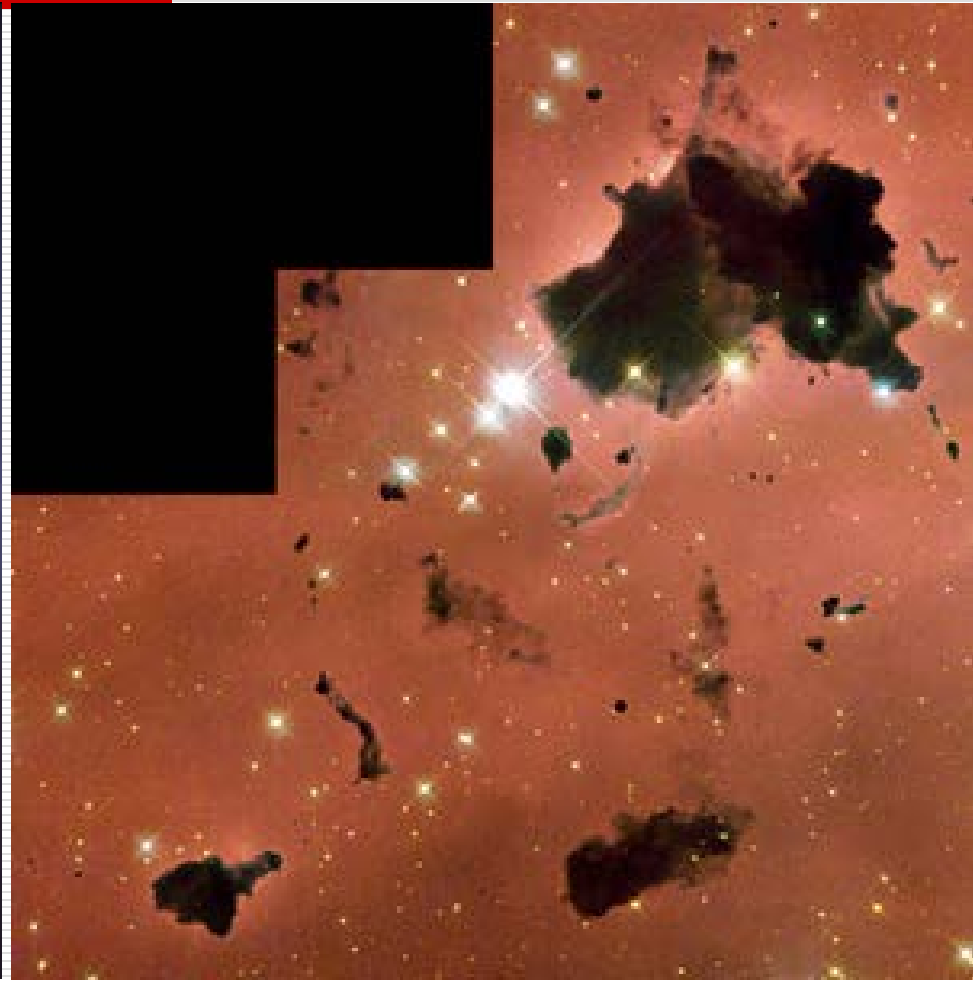
---

Samanyolunda binlerce dev molekül bulutları var. Bunların tipik sıcaklıkları 20K, sayısal yoğunlukları  $100-300\text{cm}^{-3}$ , kütleleri ise  $10^6 M_{\odot}$ 'e kadar olanlar var. Boyutları ise 50 pc yöresinde. Diğer taraftan küçük, yoğun, hemen hemen küresel bulutlar da var. Sıcaklıkları 10K,  $10^4\text{cm}^{-3}$ , 1-1000  $M_{\odot}$  yöresindedir ve yıldız oluşum bölgeleridir.

---



NCS 1999



IC 2944

# Yıldız Oluşumu

---

Yıldızların oluşum süreci çağdaş astrofiziğin temel sorunlarından biridir. Nasıl oluştuğu konusunda çeşitli problemler vardır. Yıldız evrimi sorunu ile karşılaştığımızda çok az anlaşılmiş bir konudur. Yıldız oluşumunu önceden kestiren bir kuram yok. Yani bir YAO bulutunun fiziksel parametrelerini ( $M$ ,  $T$ ,  $\rho$ ) bilmemize karşın o bulutun yıldız oluşum etkinliğini (gazın yüzde kaçının yıldız oluşturacağı) ve ilk kütle fonksiyonunu (oluşacak yıldızın kütlesini) kestiren bir kuram yok. Sadece gözleme dayanıyor.

# Yıldızların Oluşumu

---

Bu belirsizlik yıldız evrimi çalışmalarında da ortaya önemli bir problem çıkarmaktadır. Bir yıldızın nasıl oluştuğunu anlamadan onun evrimini anlamak zor olacaktır. Yıldız oluşup hidrostatik dengeye geldiği zaman onun yapısını dört temel denklem ile çözebiliyoruz, sadece ilk oluştuğu kimyasal bileşime bağlı. Bu nedenle oluşum sürecinin tüm belirsiz ayrıntıları nükleer tepkime başladıktan sonra silinip atılıyor. O nedenle yıldızların evrimi konusunda bu oluşum sürecine az değinelim.

---



# Bulutların Çökmesi

---

Yıldızlararası ortamda gaz ve toz bulutları vardır. Tüm yıldızlar bu bulutlardan oluşur. Yıldızlar aslında molekül bulutlarından oluşur. Bu MB'larının %99'u gaz, sadece %1'i tozdur.

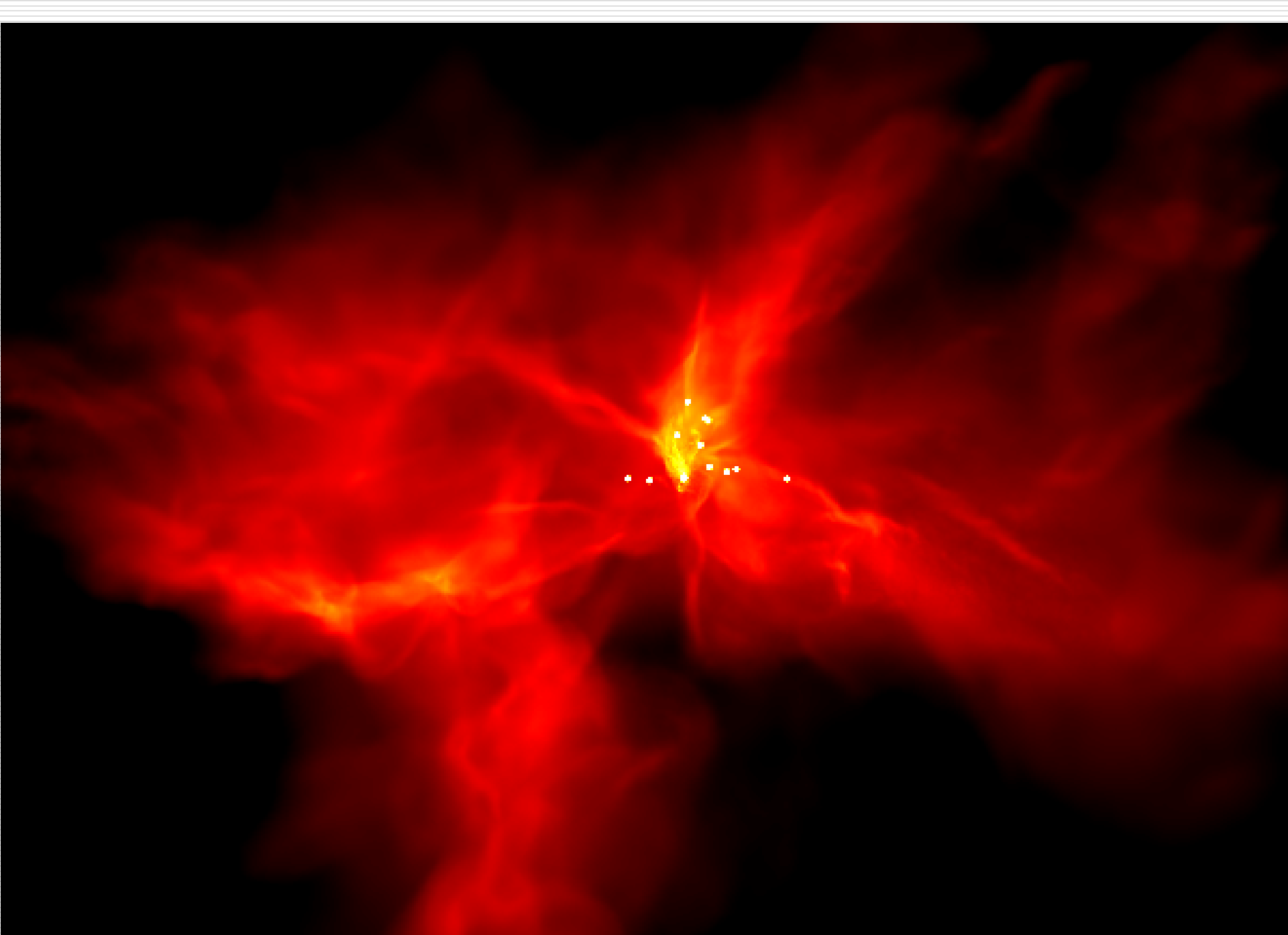


# Molekül Bulutları

---

Büyük kütleli yıldızların oluştuğu dev bulutların kütleleri  $10^5$ - $10^6 M_{\odot}$  yöresinde, küçük kütleli yıldızların oluştuğu bulutların kütleleri ise  $10^4$  veya daha azdır. Boyutları 30-40 Iy mertebesinde, sıcaklıkları 10-30 K yöresinde, yoğunlukları ise santimetreküpde  $10^2$ - $10^4$  molekül. Güneş sistemi yöresinde yoğunluğun 1 parçacık/cm<sup>3</sup> olduğu düşünülürse molekül bulutlarının yoğunluğu daha iyi anlaşılır. İşte bu yoğun ama soğuk bulutlar yıldız doğumevlerini oluştururlar.

---



# Moleköl Bulutları

---

Kuğu bulutsusu (M17).  
Yay TY bölgesinde  
bulunan bu bulutsuda  
büyük kütleli yıldızlar  
oluşmakta. Karanlık  
bölgelere dikkat.  
Buralarda yoğunlaşan  
moleküller arkada  
bulunan yıldızların ışığını  
geçirmez. Ancak KÖ  
bölgede görünürler.

---

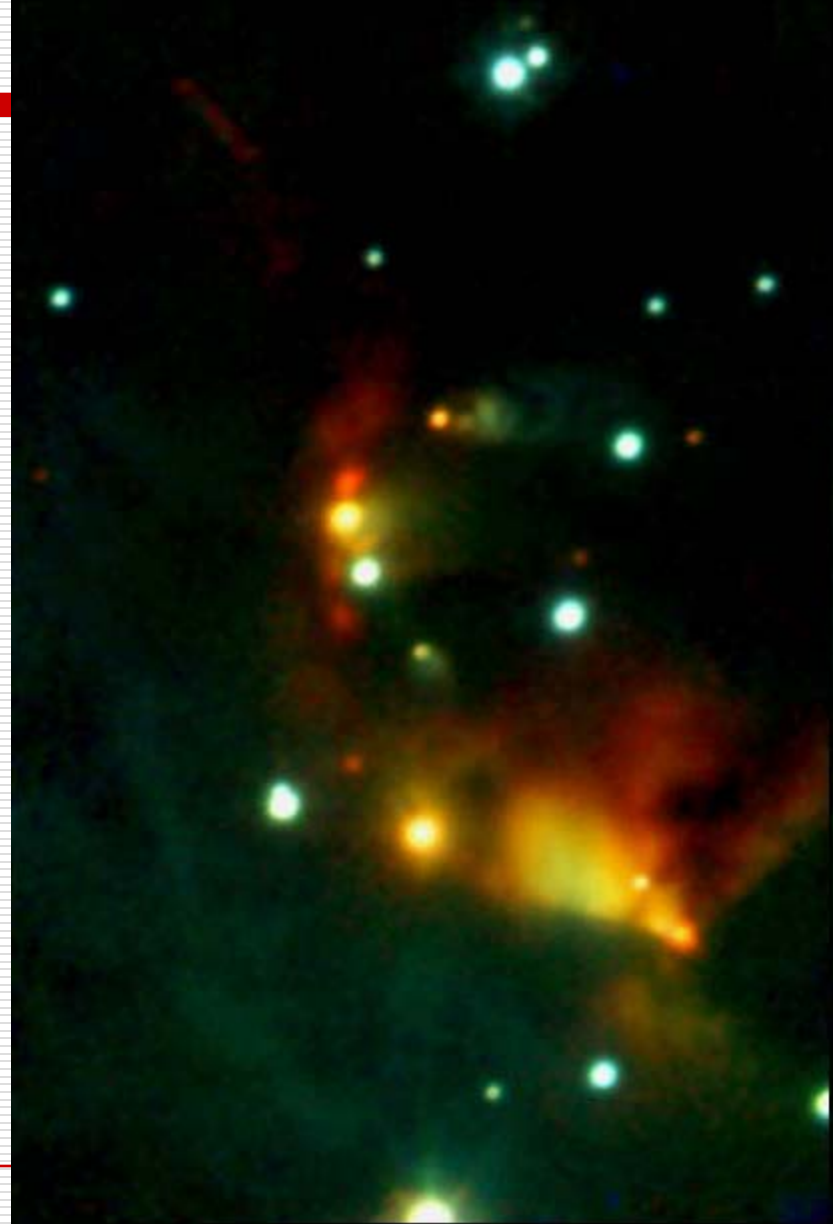


# Moleköl Bulutları

---

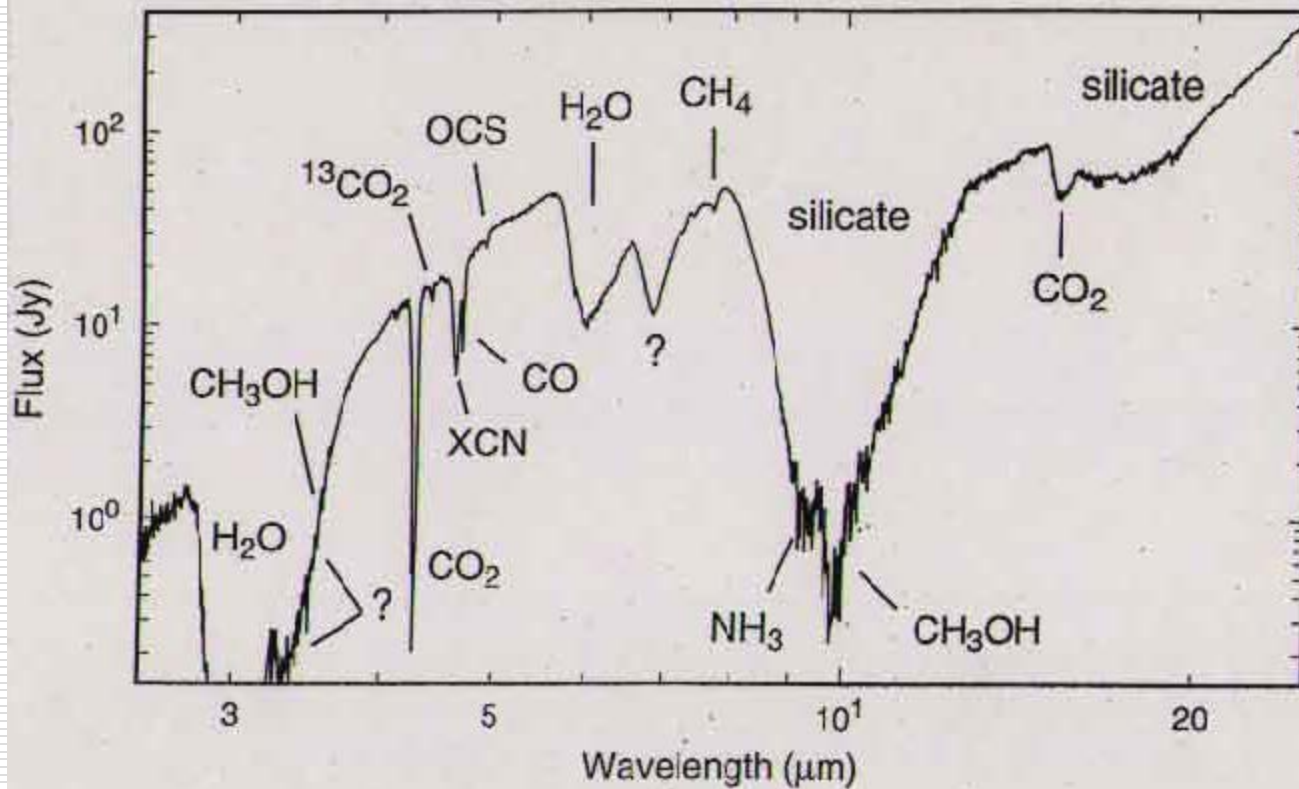
Orion TY yöresinde büyük moleköl bulutları vardır. Fakat o bölgenin içinde bulunan OMC2 bölgesi daha izole küçük kütleli yıldızların oluştuğu bir bölgedir. Burada oluşun yıldızları ancak IR teleskoplarla gözlemek olasıdır.

---



# Molekül Bulutu Tayfı

2.4-25  $\mu\text{m}$  Spectrum of Dust Embedded YSO W33A  
ISO Short Wavelength Spectrometer; Gibb et al. (2000)



# Molekül Bulutları



Molekül bulutları soğuk, karanlık toz ve molekül gazın yoğunlaşması ile dev yıldız doğumevleridir.

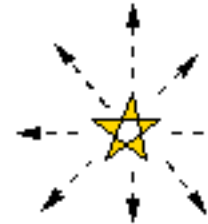
Tüm yıldızlar bizim güneşimiz de dahil molekül bulutları içinde doğarlar. Bu bulutlar bizim de yapı taşlarımızdır.

Yapılarında toz olduğundan görsel ışık molekül bulutuna giremez soğurulur. Bu nedenle yıldız oluşum süreçlerini görmek için kırmızıötesi ve milimetre dalgaboylarında gözlem yapmak gerekir.

Molekül bulutu



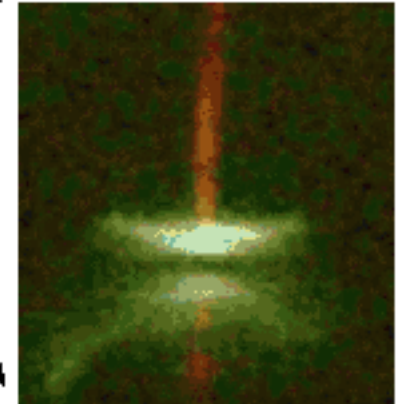
Bulut çekirdeği



Yakın yıldızdan gelen ve bulutu iyonlaştıran ışınım

Yoğunlaşmış parçalar çekim altında büzülür. Bunlar düşen materyali biriktirir ve yıldız çevresinde bir disk oluşturur. Kutup bölgelerinde oluşan jetler ile maddeyi fırlatır.

Yeni doğan bir yıldız gözükmez, sadece diskini aydınlatır ve o görünür. Bir de kutup bölgesindeki jetler.



# Molekül Bulutları

---

Görüldüğü gibi buluttan yıldız oluşurken bulut kütlesinin ancak %1'i yıldızı oluşturur.

Bakalım Güneş nasıl bir buluttan oluştu?

Sözkonusu bulut  $100 M_{\odot}$  kütlesinde yani  $10^{35}$  gr olması gerekir. Yoğunluk  $10^{-18}$  gr/cm<sup>3</sup>.

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \Rightarrow R = \left( \frac{3 M}{4 \pi \rho} \right)^{1/3} \Rightarrow R \cong \left( \frac{1 M}{4 \rho} \right)^{1/3} \cong 10^{18} \text{ cm}$$

Bir gök birimi = 150 milyon km =  $1.5 * 10^{13}$  cm  
R = 150000 GB. 1 Iy =  $9.5 * 10^{17}$  cm olduğunu kabul edersek 1 Iy'ndan daha büyük bir bulut Güneşi oluşturmuştur diyebiliriz.

---



# Yıldız Oluşumu

---

MB içinde yoğunluk homojen olmadığından dolayı bir takım bulut çekirdekleri oluşur. Bu biraz daha yoğun olan bölgeler yıldız oluşumu için ideal konumdadır. Şimdi buraya etkiyen kuvvetleri göz önüne alalım. Eğer çekim kuvveti egemen ise büzülme başlar ve dinamik zaman ölçeği içinde yıldız oluşur.

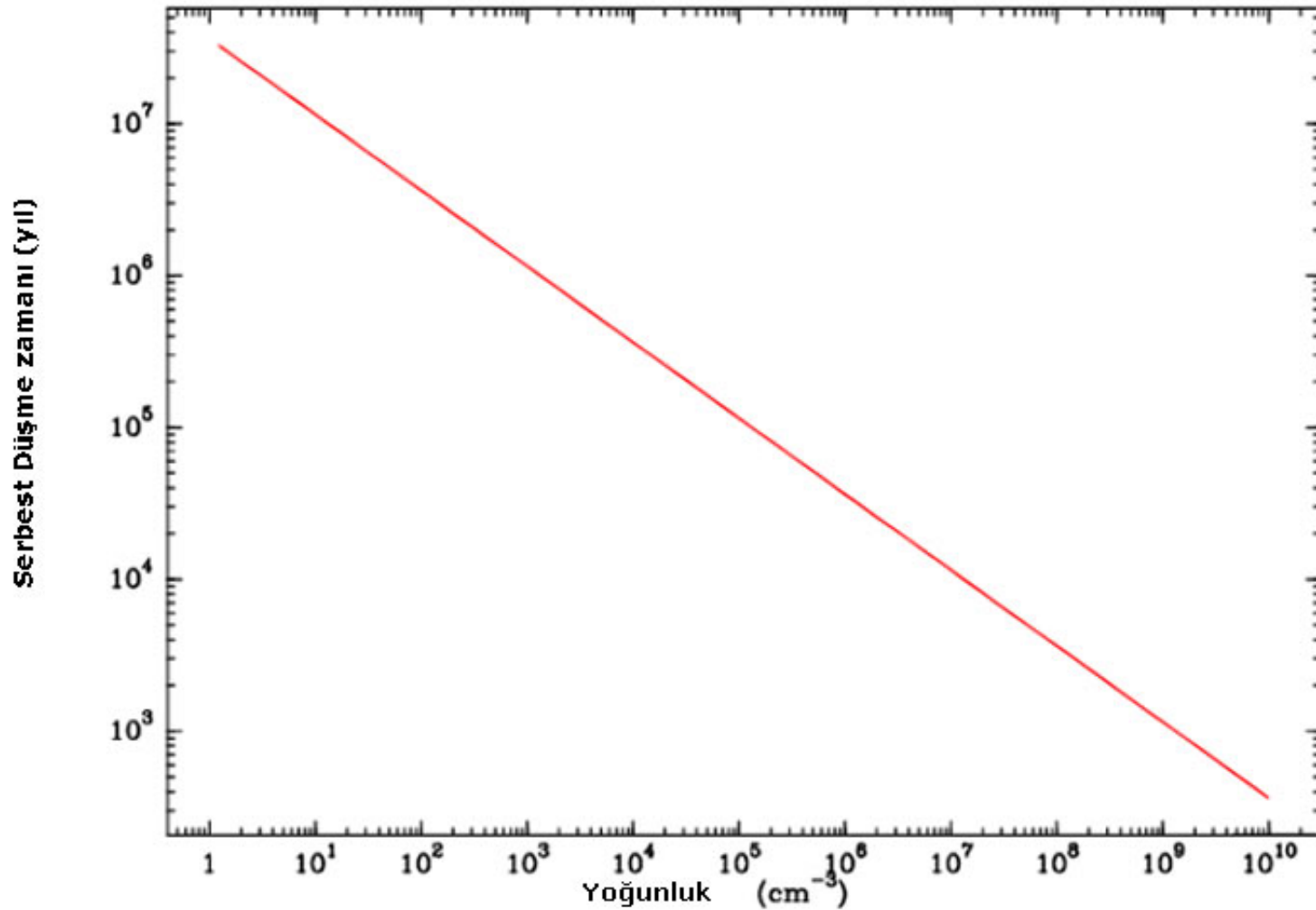
$$t_{DT} = \left( \frac{3\pi}{32} \frac{1}{G\rho} \right)^{1/2} \approx \sqrt{\frac{1}{G\rho}}$$

Burada  $\rho$  bulut çekirdeğinin yoğunluğudur.

---

# Serbest Düşme Zamanı

---



# Jeans Kütlesi

---

Eğer basınç daha kuvvetli ise zamanla bulut soğuyacak ve genişleyecektir.

Şimdi de sınır değerini düşünelim yani bulut çekirdeği hidrostatik dengede ise

$$\frac{dP_g}{dR} = -\rho \frac{GM}{R^2} \Rightarrow \frac{-P}{R} = -\rho \frac{GM}{R^2} \quad P = \frac{GM}{R} \rho$$

---

# Jeans Kütlesi

---

Diğer taraftan ideal gaz yasasını biliyoruz, basıncı yerine koyup kütleyi çekersek,

$$P_g = \frac{\rho k T}{\mu m_H} \quad \frac{k}{\mu m_H} \rho T = \frac{GM}{R} \rho \quad M = \frac{k}{\mu m_H} \frac{TR}{G}$$

R yerine yoğunluğu tercih edersek

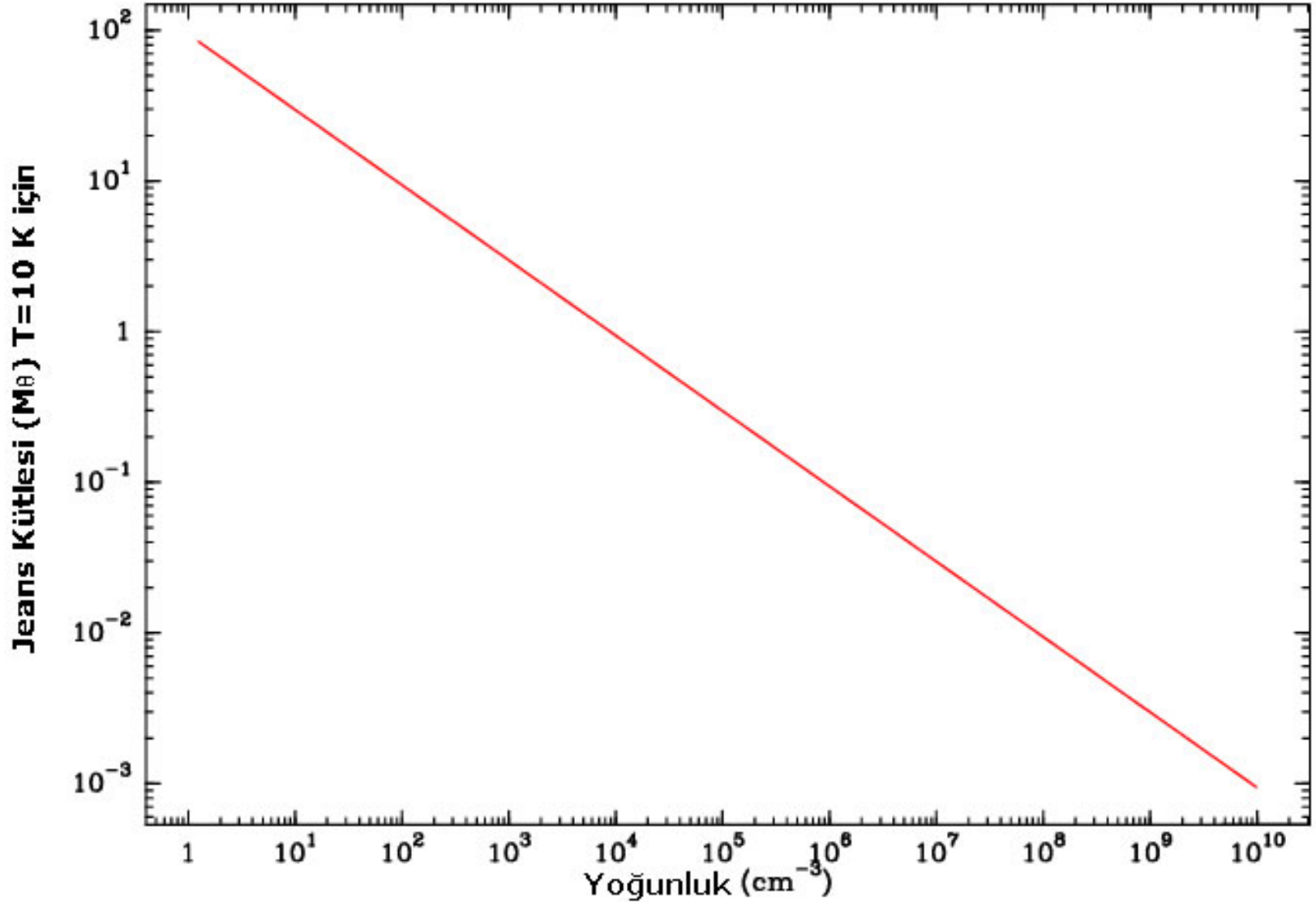
$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho \Rightarrow R = \left( \frac{3}{4\pi} \right)^{1/3} M^{1/3} \rho^{-1/3}$$

Yukarıdaki ifadeye yerine koyarsak

$$M = \frac{k}{\mu m_H G} T \left( \frac{3}{4\pi} \right)^{1/3} M^{1/3} \rho^{-1/3}$$

$$M_J = \left( \frac{k}{\mu m_H G} \right)^{3/2} \left( \frac{3}{4\pi} \right)^{1/2} T^{3/2} \rho^{-1/2}$$

# Jeans Kütlesi



# Jeans Kütlesi

---

Bu ifadeye Jeans kütlesi denir ve yıldız oluşumu için temel formüldür. Buradaki sabit sayıların pek bir anlamı yoktur. Unutmayalım  $\Omega M$ 'nin değeri MHB için 2'dir. Jeans kütlesinin ne önemi var?  $M$ ,  $T$  ve  $\rho$  değerlerine sahip ve hidrostatik dengede olan bir bulut düşünelim. Bu bulut tedirginliğe uğrasın. Süpernova patlaması sonucu ortaya çıkan şok dalgaları, yakınında bulunan erken tür bir yıldızın ışınım basıncı veya başka bir bulutla çarpışması bu tedirginliği meydana getirir.

---

# Jeans Kütlesi

---

Eğer bulutun kütlesi bu kritik Jeans kütlesinden küçük ise tedirginliğe dayanır yani hidrostatik dengede kalır veya yöresinde salınım yapar. Eğer büyük ise büzülme başlar. Bu büzülme isotermdir yani eşisilıdır. Isı sabit, yoğunluk arttığından dolayı çekim kuvveti basıncı yener.

Aynı şekilde Jeans uzunluğundan da söz edilir. Bu kez  $R'$ 'yi değil  $M'$ 'yi yok ederiz.  $M$  yerine  $R'$ 'li ifadesini yazdığımızda elde ettiğimiz denklem,

---

# Jeans Uzunluđu

---

$$R_J = \left( \frac{k}{\mu m_H G} \right)^{1/2} \left( \frac{3}{4\pi} \right)^{1/2} T^{1/2} \rho^{-1/2}$$

Burada da bulutun boyutu Jeans uzunluğundan küçük ise hidrostatik denge korunur, büyük ise büzölme başlar. Jeans kriterini Virial teoremi kullanarak da çıkarabilirsiniz ( $2K < |U|$ ). Büzölme ilk evrelerinde eşisilıdır. Tedirginlik dolayısıyla yoğunluk artınca Jeans kütlesi küçölür, o zaman da büzölme sürecinde bulut içinde bulut çekirdeklerinin sayısı artar.

---



# Büzülme

---

Büzülme başladığında olay dinamik olduğundan dinamik zaman ölçeğinde gerçekleşir. Yoğunlukla ters orantılı olduğu için MB'nda da yoğunluk düşük olduğu için bu zaman eşeli milyon yıl mertebesindedir. Büzülmenin ilk evrelerinde gaz ince olduğu için KÖ bölgede ışınımaya devam eder. Bu nedenle büzülme eşisilidir diyoruz. Yoğunluk arttıkça Jeans kütlesi küçüldüğünden yine dengesizlik başlar çünkü bulutun kütlesi Jeans kütlesine yaklaşır. İşte bu nedenle bulut çekirdeklerinin sayısı artar.

---

# Büzülme

~~Her bulut çekirdeği büzülmeye devam eder.~~

**Yoğunluk arttıkça artık ortam özellikle tozdan dolayı donuklaşır ve KÖ fotonları soğurmaya başlar, dolayısıyla gazın ısısı artar ve bunun sonucunda da basınç artar. Artık büzülme eşısılı değil adyabatiktir.**

$$T = K^n \rho^{\gamma-1}$$

Bu ifadeyi Jeans kütlesi ifadesinde yerine koyduğumuzda

$$M_J \propto \rho^{(3\lambda-4)/2}$$

---

# Büzülme

---

Atomik hidrojen için  $\gamma = 5/3$  olduğunu bildiğimize göre  $M_J \propto \rho^{1/2}$ . Yoğunluk arttıkça Jeans kütlesi artar. Büzülmenin merkezinde hidrostatik dengeye yaklaşılr, bunun sonucunda büzülme iyice yavaşlar. İşte bu evrede protostar'dan sözederiz yani önyıldız. Çevrede hala çok madde var ve bu madde bir disk oluşturur, açısal momentumun korunması nedeniyle.

---

# Büzülme

---

Gazın önyıldız düşmesi Virial teoreminde de gördüğümüz gibi önyıldızda ısıyı artıracaktır. Isının artması sonucu artık moleküler yapı yavaş yavaş ortadan kalkacak ve ideal gaz özelliklerini göstermeye başlayacaktır. Bu durum 2000K yöresinde gerçekleşir,  $H_2$  bu sıcaklıkta ayrışır. Çekimsel enerjinin ortaya çıkardığı ısı  $H_2$  için kullanıldığından hidrostatik denge tekrar bozular ve büzülme devam eder.  $10^4K$ 'de H ve He iyonlaşmaya başlar ve önyıldızda iyonlaşma bittiğinde (R küçülmüş) tekrar hidrostatik denge kurulur.

# Büzülme

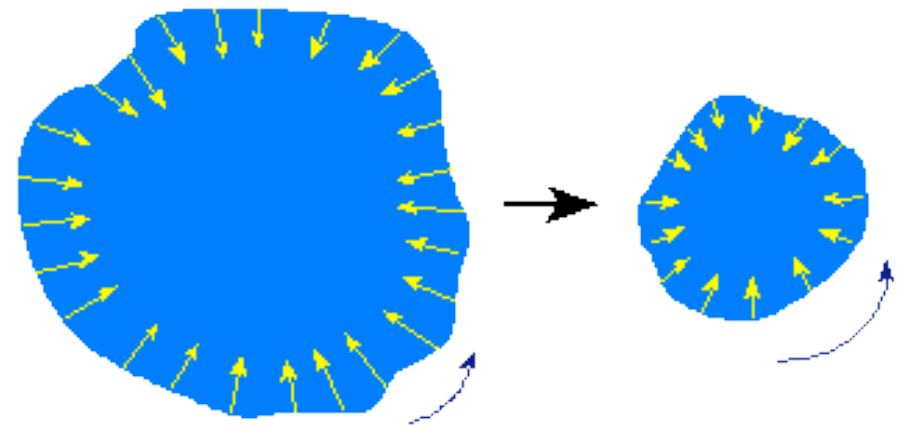
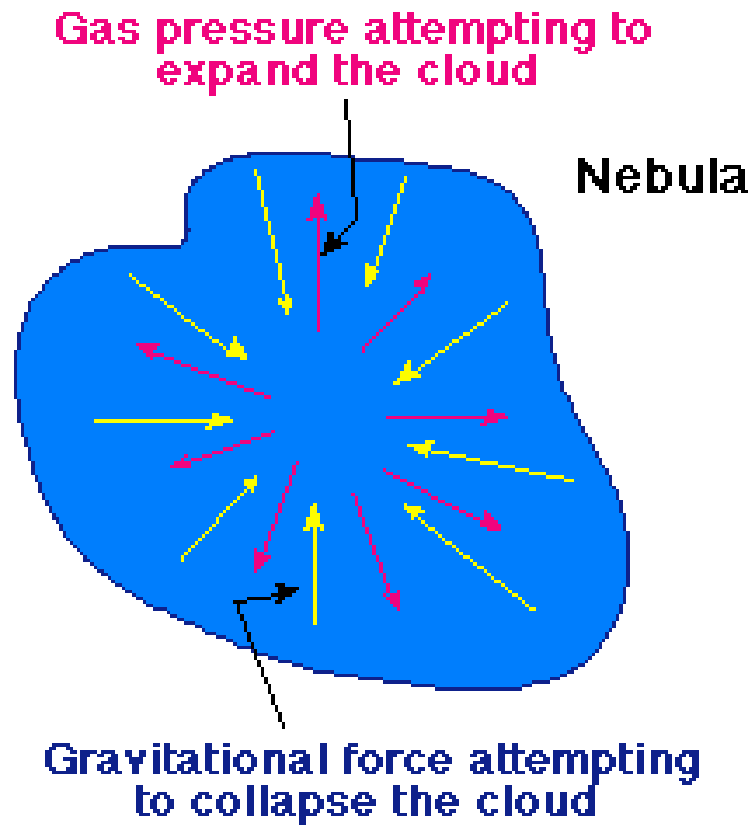
---

Süreç devam eder, önyıldızı saran gaz ve toz bulutlarından dolayı onu göremeyiz. Nihayet merkezdeki sıcaklık 10 milyon K'e ulaşır ve hidrojen yanmaya başlar, ortaya büyük bir enerji çıkar. Hidrostatik denge bu kez tersine bozulmuştur ve basınç artar. Çevresindeki tozu ışınım basıncı ile dağıtır ve hidrostatik dengeyi tekrar kurar. İşte bu anda ZAMS'a gelmiştir. Hidrojeni yakmaya başladığı andan itibaren artık YSO değildir ve gözlenmeye başlar. YSO nedir? Önyıldız ve PMS yıldız.

---

# Bulutun Büzülmesi

---



The cloud spins more rapidly as it collapses because of conservation of angular momentum

---

# Bulutun Büzülmesi

---

## Enerji Dönüşümü

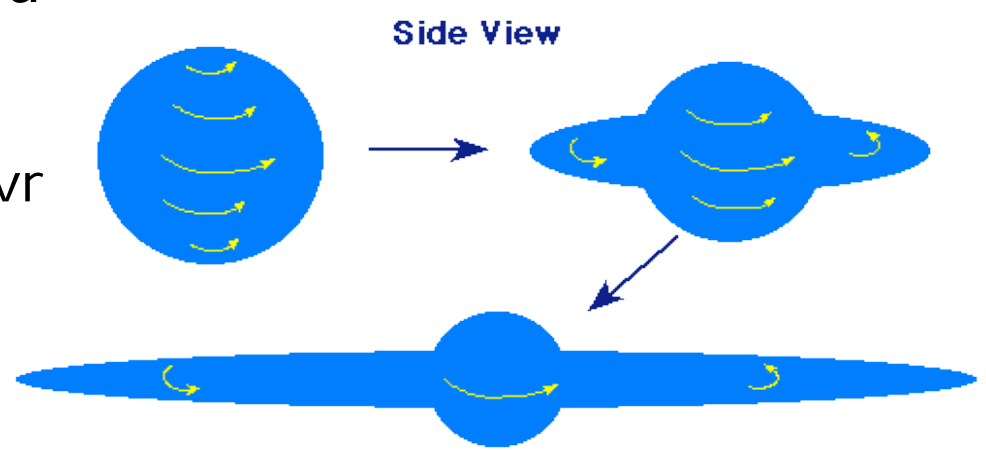
- Bulut ısınır
- $PE \rightarrow KE = 1/2mv^2 \sim T$

## Açısal Momenrum Korunumu

- Bulutun daha hızlı dönmesine neden olur
- Açısal Momentum =  $mvr$

## Bulut Yassılaşıır

- Rastgele hareketler ile başlar
- Ortalama hıza sahip parçacıklar birleşmeye başlar



# Orion Bulutundaki Embriyolar





# Çekirdek Çevresindeki Diskler

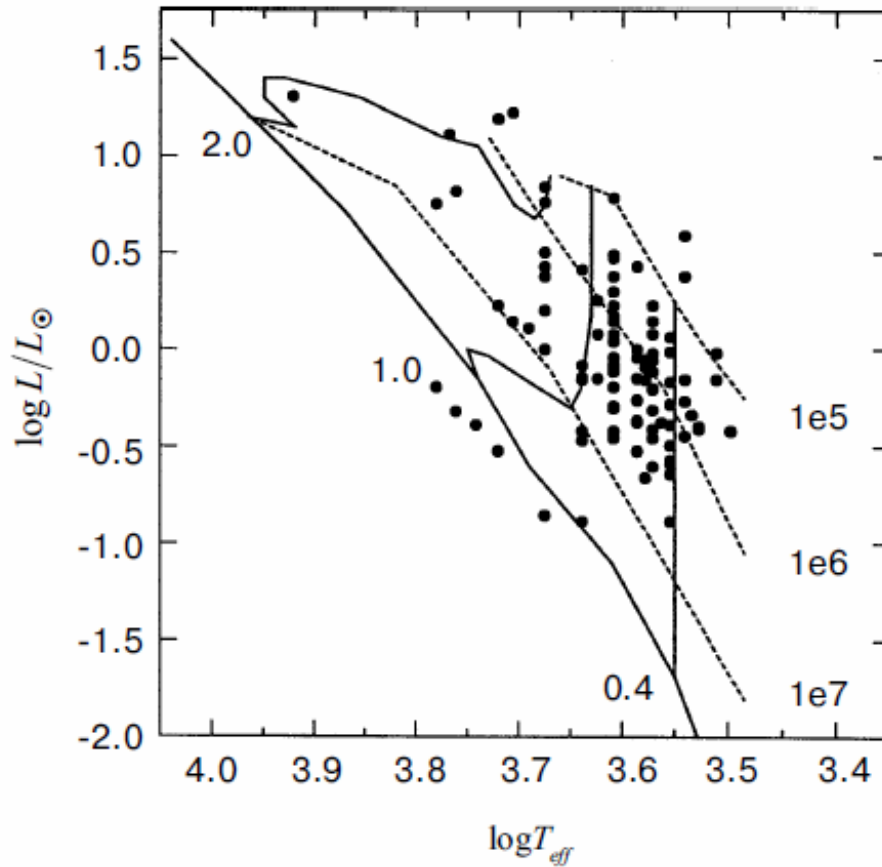


Orion bulutundaki çekirdeklerin hemen hemen hepsinde gezegen oluşumunu gösteren disk yapılar Hubble tarafından gözlemlendi.

**Protoplanetary Disks in the Orion Nebula** HST • WFPC2

NASA, J. Bally (University of Colorado), H. Throop (SWRI),  
and C.R. O'Dell (Vanderbilt University) • STScI-PRC01-13

# Evrim Yolları

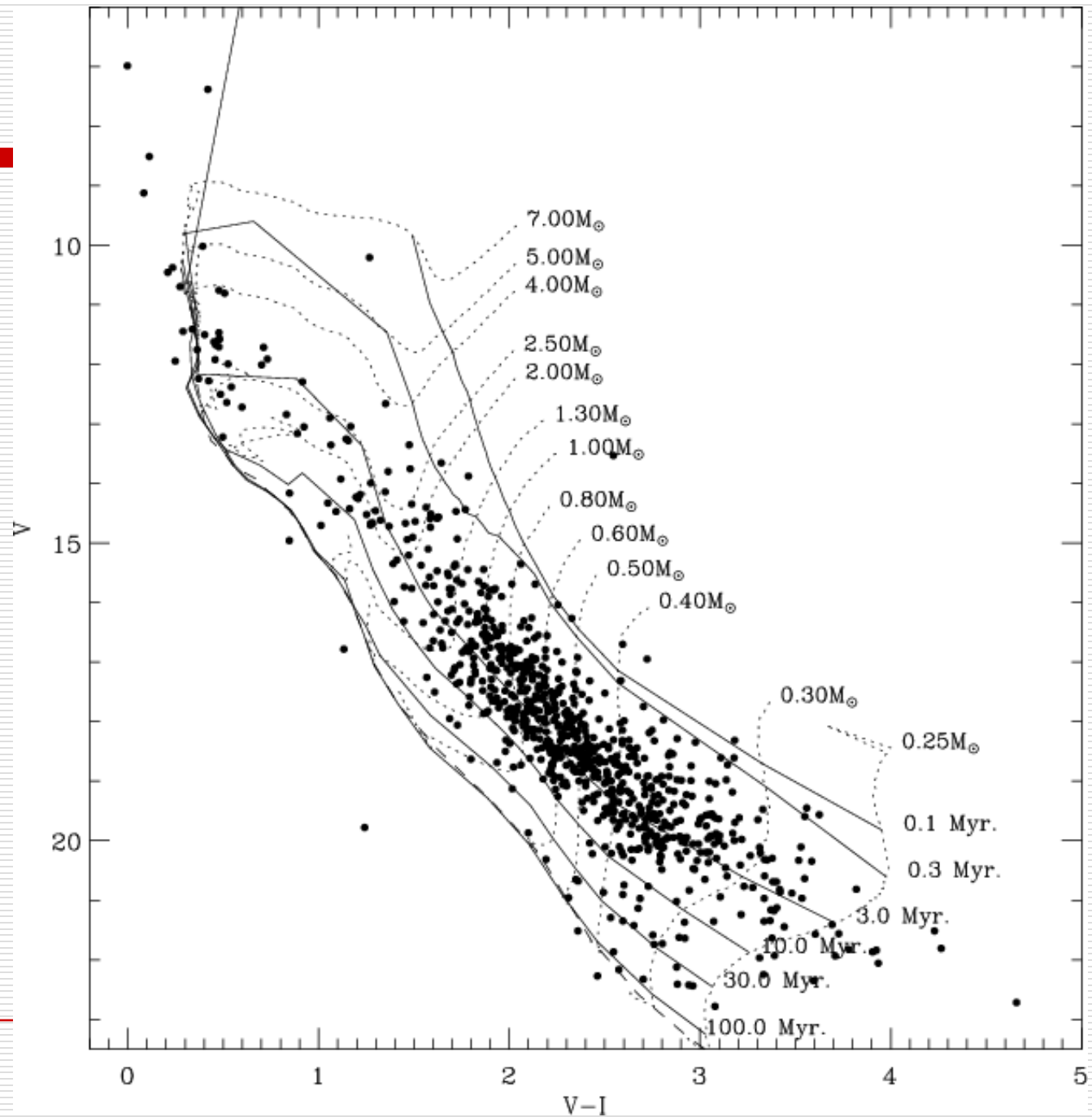


Üç farklı kütlede yıldızın üç yaş çizgisi ile birlikte evrim yolları görülmekte..

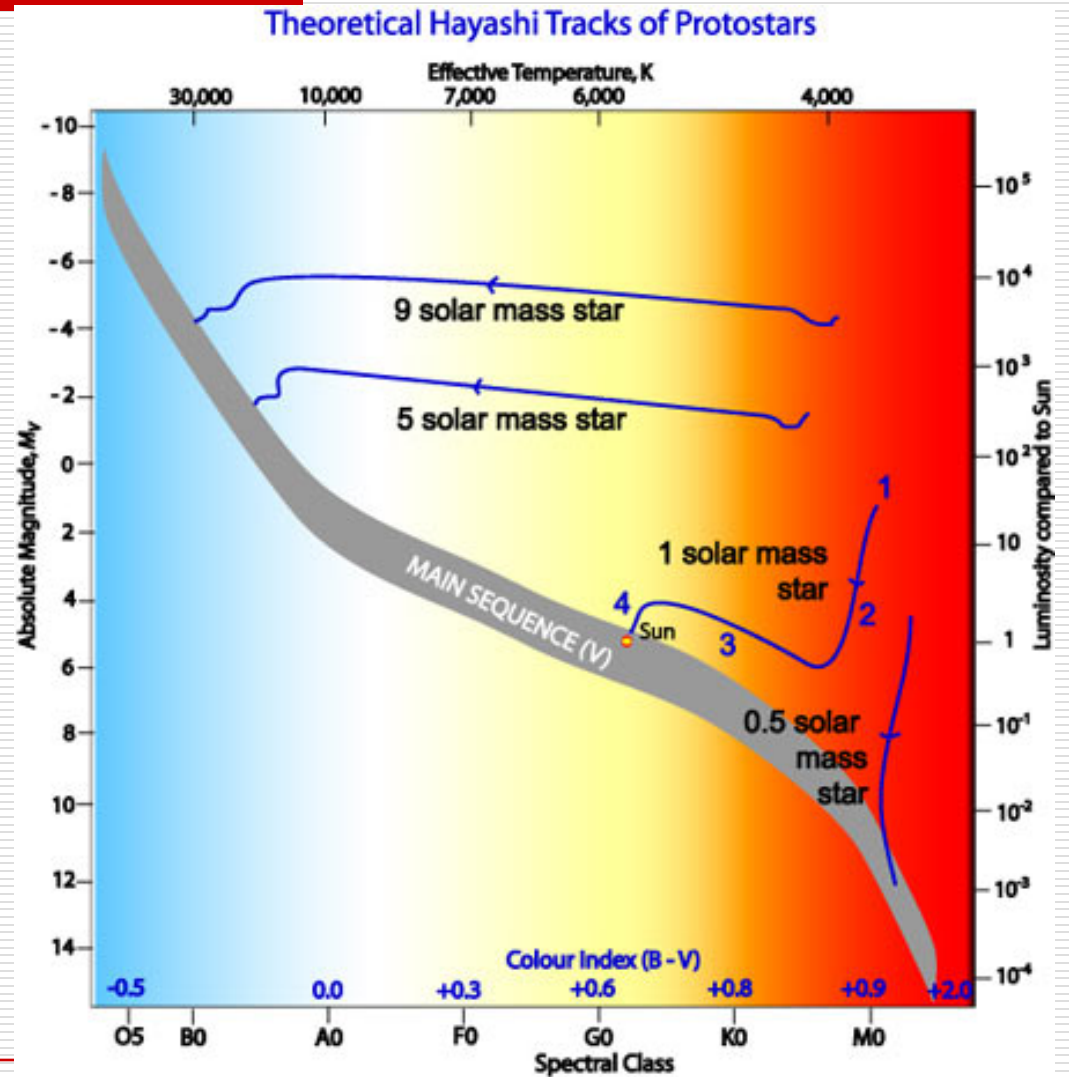
---

# Evrim Yolları

---



# Evrim Yolları



# Önyıldızın Evrimsel Yolu

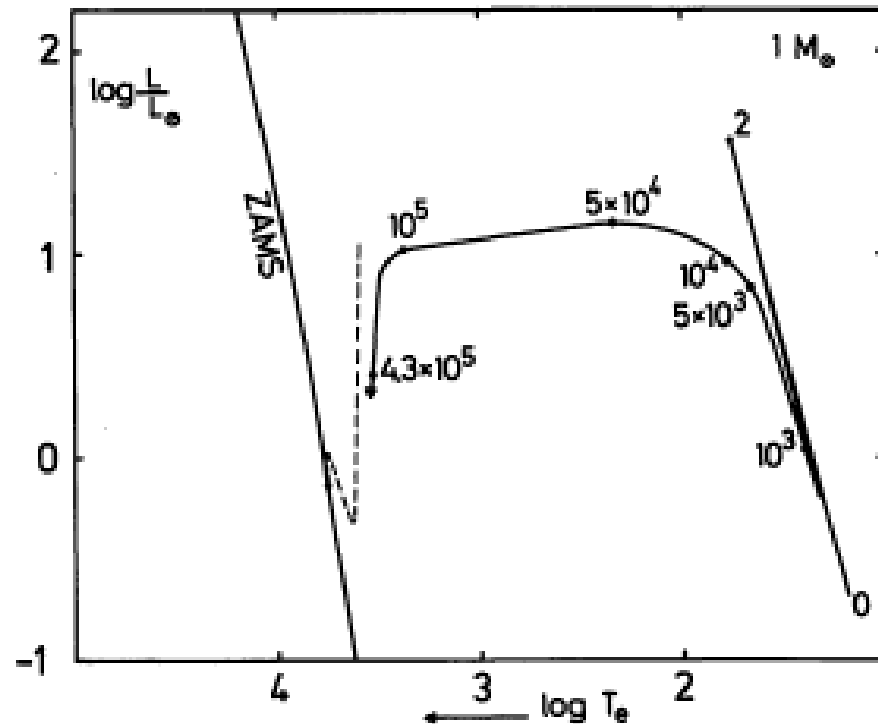
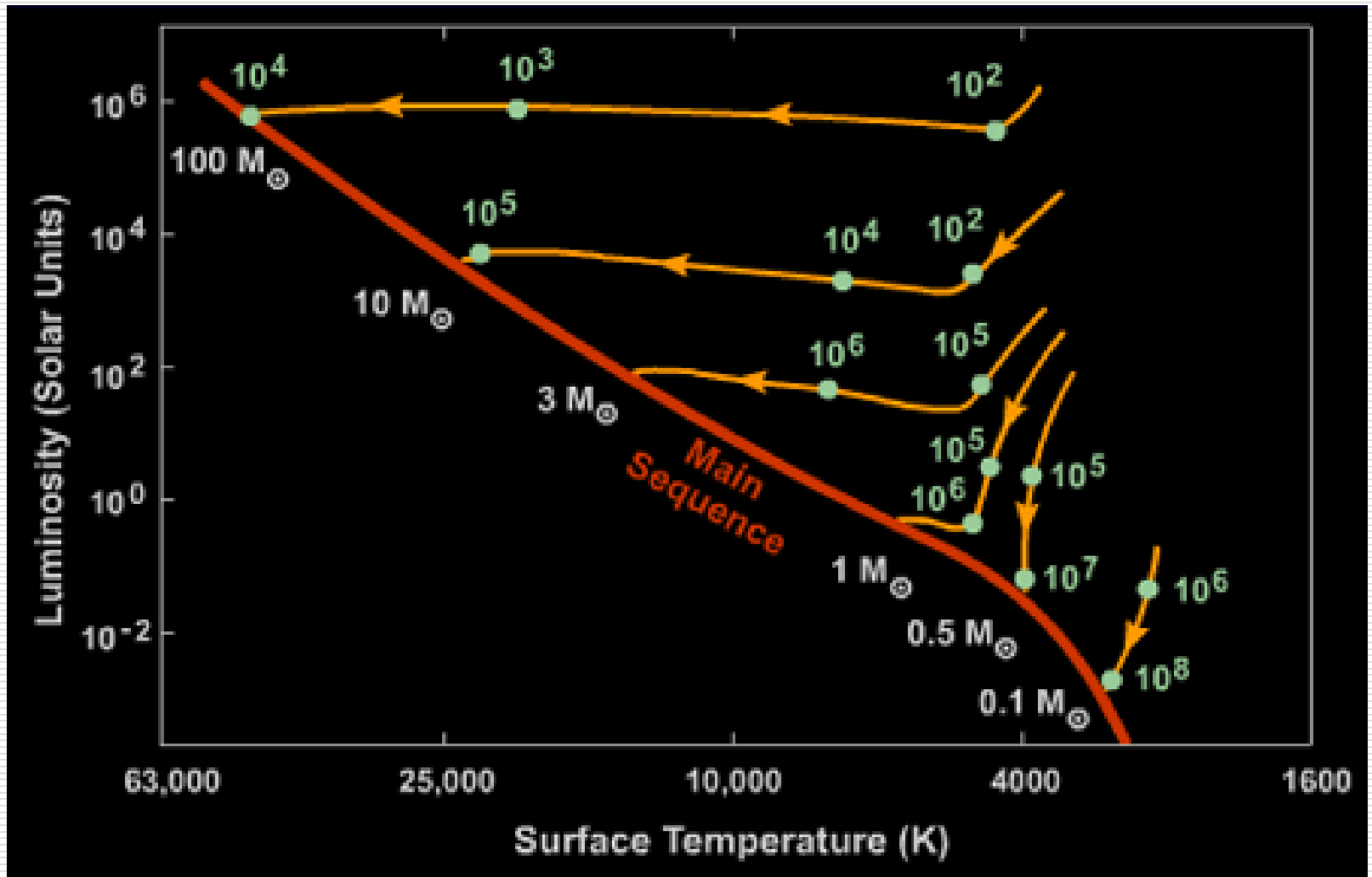


Fig. 1. Evolutionary path of a  $1 M_{\odot}$  protostar in an infrared HR diagram (solid line). The numbers indicate the time (in years) since the formation of the (final) hydrostatic core. For comparison, the evolutionary path of a conventional fully hydrostatic  $1 M_{\odot}$  pre-main sequence star is also included (broken line)

# Evrim Yolları



# T Tauri Tayfı

