

# Bölüm 1

## Yıldızlararası Ortam (ISM)

1.1 Genel Özellikler

1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlenme ve Kızarma

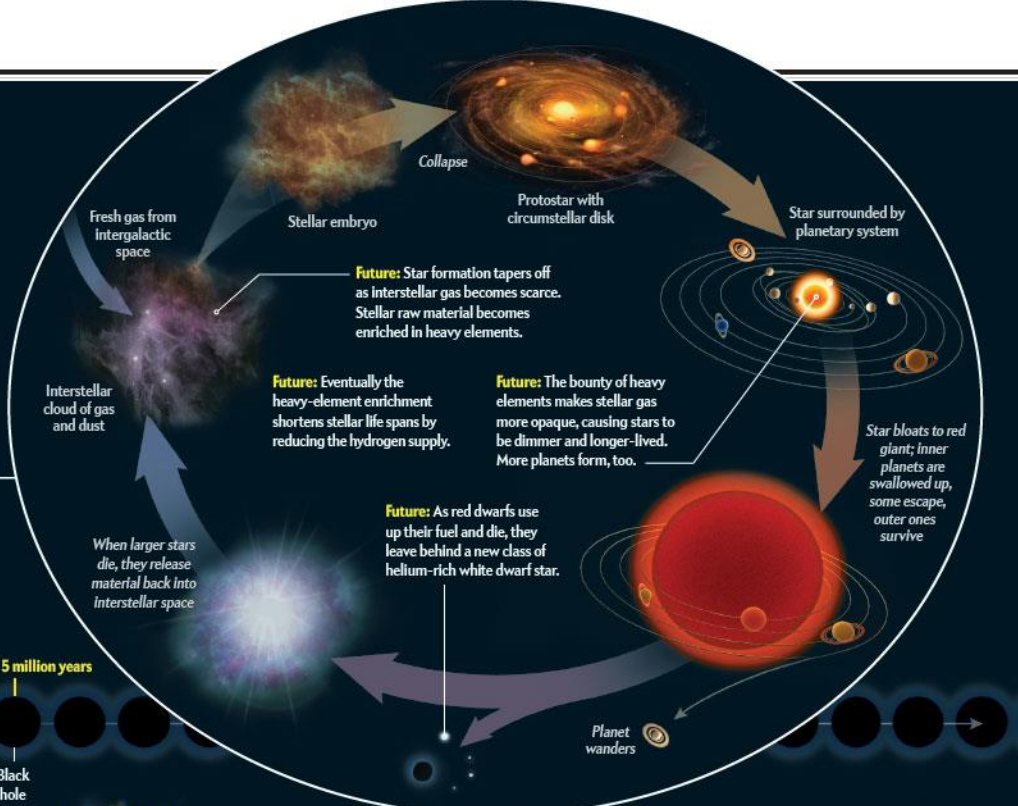
1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

# The Meek Shall Inherit the Universe

In terms of raw brilliance, the glory days of the cosmos are already behind it. In subtler ways, though, it will remain vibrant for trillions of years to come. Red dwarfs, by far the most common type of star even today, have hardly even begun their life cycles and will eventually develop into novel stellar types. New generations of stars will incorporate the heavy elements forged by their predecessors, changing their appearance and life spans. Planets will, if anything, become even more abundant. Over the vastness of time, rare processes such as direct stellar collisions will become commonplace.

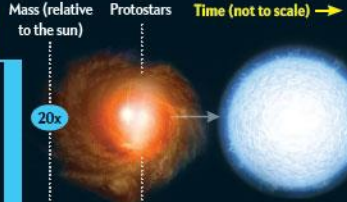
## Slow but Steady Wins the Cosmic Race

The life cycle of stars follows a simple rule: the bigger they come, the harder they fall. Massive stars have more fuel but consume it at a disproportionate rate and go out with a bang. Because they live for but a cosmic eyeblink, they rule the galaxy only as long as new ones are continually being born. The future belongs to lesser, longer-lasting stars.



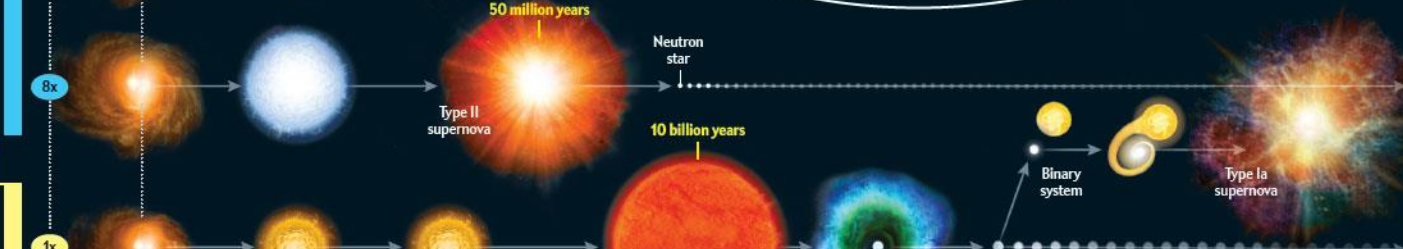
### SUPERGIANTS

When the mightiest stars cease to generate enough power to hold up their own weight, they collapse abruptly—which can trigger a supernova explosion or gamma-ray burst—and leave behind a neutron star or black hole.



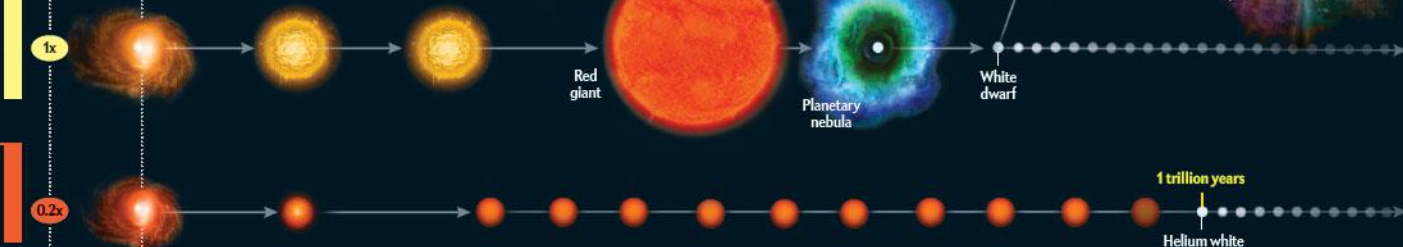
### SUNLIKE STARS

Sunlike stars die by ejecting their outer layers as a colorful nebula, while their core collapses to a white dwarf star. The dwarf usually fades away like a burnt-out cinder but can blow up by merging with another white dwarf or cannibalizing a companion star.



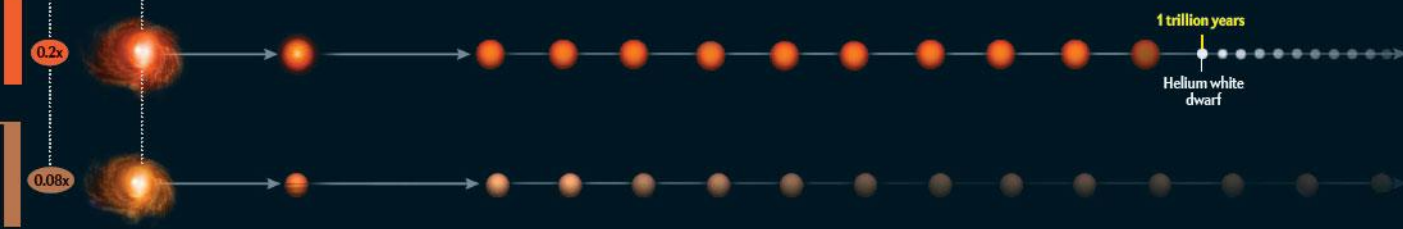
### RED DWARFS

Red dwarfs, the most common type of star, keep on shining until they have converted every last drop of their hydrogen to helium. They turn into a special type of white dwarf.



### BROWN DWARFS

Stars below a certain mass threshold never get hot enough to ignite proton-proton fusion. They just cool off and fade away.



# 1.1 Genel Özellikler

ISM (yıldızlararası ortam) nedir?

- Yıldızlararasıda bulunan gaz ve toza ISM adı verilir.
- Yıldızların doğduğu ve öldüğü yerdir.
- Homojen değildir-- bazı bölgeler daha yoğun, yıldızlararası bulutsular adını alır.

Ana bileşimi nedir?

- Hidrojen: nötr (HI), iyonize (HII) veya moleküler
- Diğer moleküller (CO vb.),
- Toz (%1)

# 1.1 Genel Özellikler

Sıcaklığı ve yoğunluğu nasıldır?

- Bir kaç kelvin ile bir kaç yüz kelvin arasında,
- Gaz yoğunluğu  $\rightarrow 1 \text{ atom /cm}^3$  ve
- Toz yoğunluğu  $\rightarrow 1 \text{ parçacık /}10^{12}\text{cm}^3$

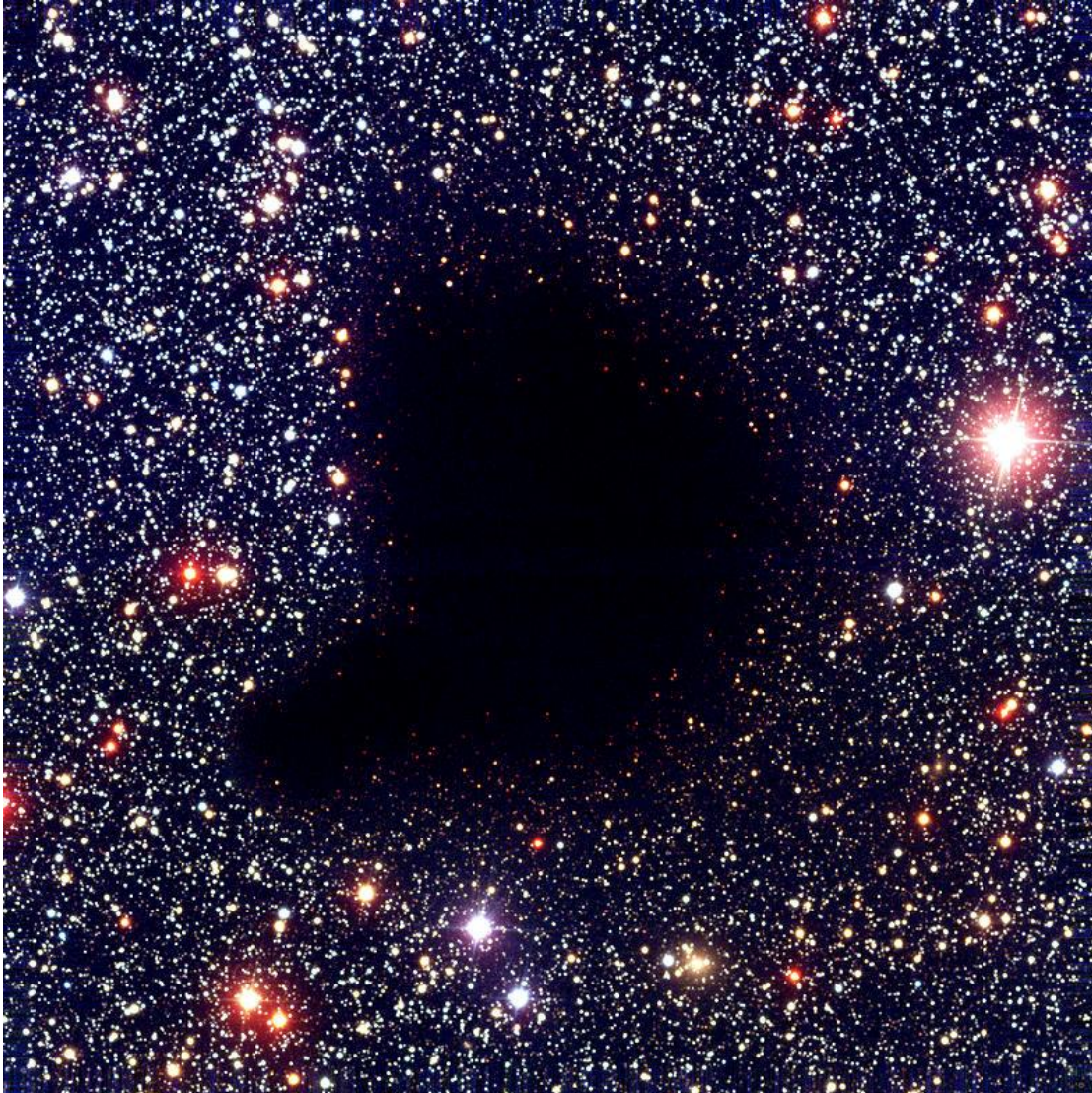
Kütle?

- Yoğunluk düşük olsa bile, yıldızlararası bölgedeki toplam kütle miktarı, yıldızlarda bulunan kütle miktarına yakındır.

# Ek notlar:

- Bir yıldızlararası ortamın sıcaklığı komşuluğundaki yıldızların ona ne kadar yakın olduğu ile yakından ilişkilidir.
- Karşılaştırma amacı ile:
  - Yer atmosferinin yoğunluğu:  $2.7 \times 10^{19}$  atom/cm<sup>3</sup>
  - Laboratuvarda elde edilen en vakum ortam: 10000 atom/cm<sup>3</sup>

## 1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlleme ve Kızarma



Barnard 68

# 1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlleme ve Kızarma

- ❑ Gece gökyüzünde, Samanyolu'nda görülen karanlık bölgeler, o bölgelerde yıldız olmamasından değil, toz bulutlarının yıldız ışığını örtmesinden kaynaklanır.
- ❑ Bu kizarma (yıldızlararası sönümlleme olarak da adlandırılır) yıldız ışığının soğurulması ve saçılmasından kaynaklanan toplam etkidir.
- ❑ Sönümlleme yıldızın görünen parlaklığını etkiler,

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

d; pc cinsinden uzaklık,

$A_{\lambda} > 0$  bakış doğrultusu boyunca yıldızlararası sönümlleme.

$A_{\lambda}$  yeterince büyükse yıldız görülemez.

Bu da Samanyolu'nda bulunan karanlık bölgelerin varlığını açıklar.

# 1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlleme ve Kızarma

O halde,  $A_\lambda$  maddenin optik derinliğine bağlı olmalı;

$$I_\lambda / I_{\lambda,0} = e^{-\tau(\lambda)}$$

$I_{\lambda,0}$  ; sönümllemenin olmadığı durumdaki yeğinlik

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log (I_1 / I_2)$$
$$m_\lambda - m_{\lambda,0} = -2.5 \log e^{-\tau(\lambda)} = 1.086 \tau_\lambda$$

O halde, görünen parlaklıktaki değişim,  $A_\lambda$ ,

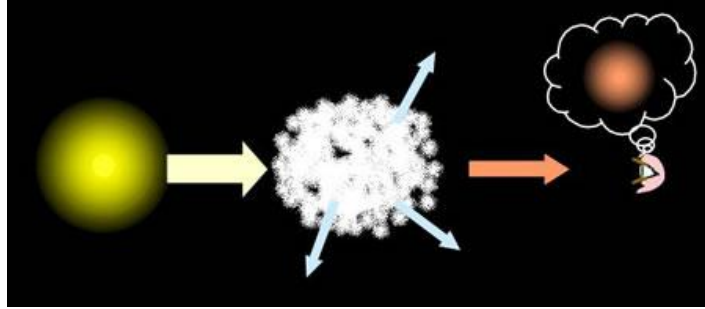
$$A_\lambda = 1.086 \tau_\lambda$$

*Sönümlmeden dolayı, görünen parlaklıkta meydana gelen değişim yaklaşık olarak bakış doğrultusu boyunca optik derinliğe bağlıdır.*



# 1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlenme ve Kızarma

$A_\lambda$  ile ölçülen sönümlenme miktarı dalgaboyuna bağlıdır. Uzun dalgaboylu kırmızı ışık, kısa dalgaboylu mavi ışık kadar şiddetli saçılmaz. Yıldızdan gelen ışık toz bulutunun içinden geçerken kızarır çünkü mavi ışık saçılarak ortamdaki atılır. Bu etki (yıldızlararası kızarma), yıldızın etkin sıcaklığının işaret ettiğinden daha kırmızı gözükmesine yol açar. Bu değişimi, yıldızın tayfında gözlenen salma ve soğurma çizgilerini dikkatlice analiz ederek belirlemek mümkündür.



$$E(B-V) = (B-V) - (B-V)_0$$

denklemleriyle kızarmanın derecesini ölçebiliriz. Burada,

$(B-V)$  gerçek renk indeksi,

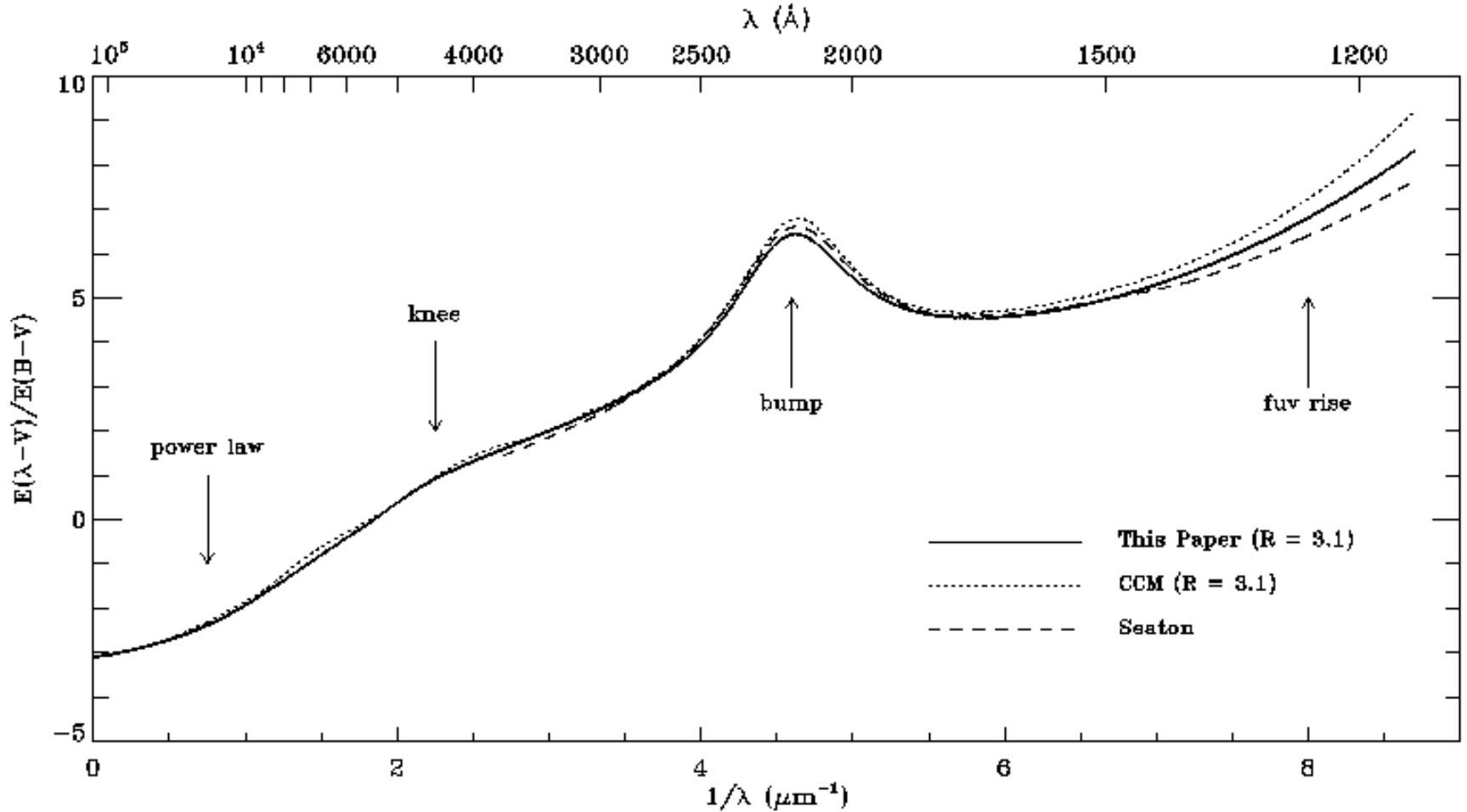
$(B-V)_0$  ise gözlenen renk indeksidir.  $\{E(B-V)$  ifadesine renk artığı da denir. $\}$

**Sönümlenme ile kızarma arasındaki ilişki;  $A_V = 3.2E(B-V)$**

$A_V$ , V bandında ölçülen sönümlenme

# 1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlenme ve Kızarma

Sönümlenme ve kızarma dalgaboyuna bağlıdır. Bu bağıllık sönümlenme eğrisi olarak bilinir.




<https://ned.ipac.caltech.edu/level5/Fitzpatrick/Figures/figure1.gif>

## Ek not:

- Önceki grafikte 2200 Å'da görülen tümsek yıldızlararası toz granüllerindeki silikatlardan ileri gelmektedir. Bu tümsek Samanyolu için mevcut olmasına rağmen her gökadamda olmak zorunda değildir. Örneğin Küçük Macellan Gökadası doğrultusunda yoktur.

## 1.2 Yıldızlararası toz: Sönümlleme ve Kızarma

$\lambda$	$E(\lambda - V)/E(B - V)$	$A_\lambda/A_V$
<i>U</i> .....	1.64 <sup>a</sup>	1.531
<i>B</i> .....	1.00 <sup>b</sup>	1.324
<i>V</i> .....	0.0 <sup>b</sup>	1.000
<i>R</i> .....	-0.78 <sup>b</sup>	0.748
<i>I</i> .....	-1.60 <sup>b</sup>	0.482
<i>J</i> .....	-2.22 ± 0.02	0.282
<i>H</i> .....	-2.55 ± 0.03	0.175
<i>K</i> .....	-2.744 ± 0.024	0.112
<i>L</i> .....	-2.91 ± 0.03	0.058
<i>M</i> .....	-3.02 ± 0.03	0.023



## Ek not:

- Kızılötede sönümlenme önemli ölçüde azalıyor. Tozun içinde saklanan cisimleri görmek için kırmızı öte dalgaboylarında elde edilmiş görüntüleri kullanmamızın sebebi budur.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## ISM nin dominant bileşeni Hidrojen

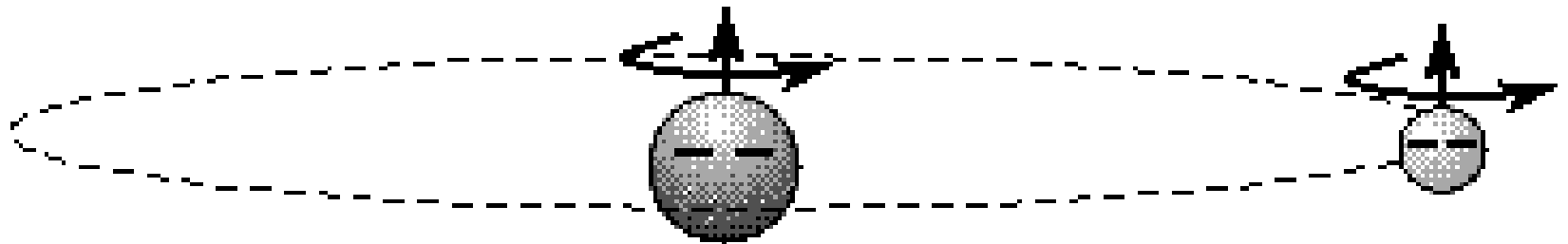
Yıldızların ışığının karartılması ISM de bulunan toz sebebiyle olmasına rağmen, ISM nin baskın bileşeni çeşitli formlarda bulunan hidrojen gazıdır (nötr hidrojen, HI, iyonize hidrojen HII, moleküler hidrojen, H<sub>2</sub>). Hidrojen ISM deki maddenin kütlesinin yaklaşık %70 ini, helyum kalan kütlenin çoğunu, karbon ve silikon gibi metaller toplam kütlenin çok çok az bir kısmını oluşturur.

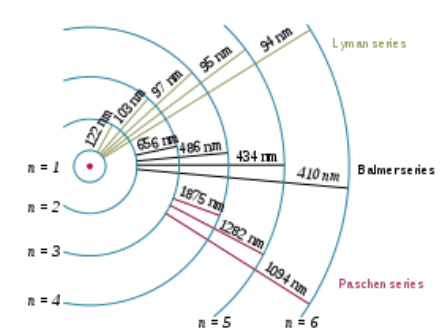
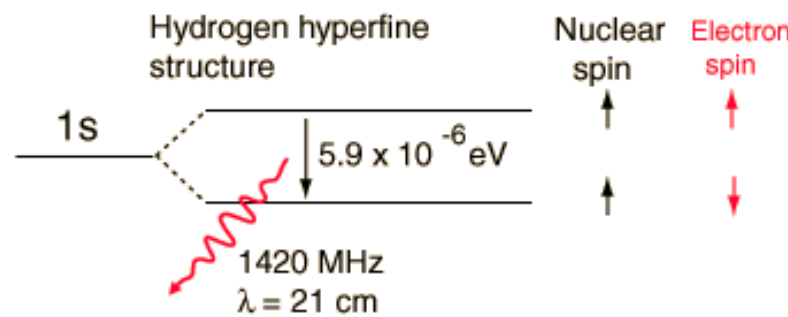
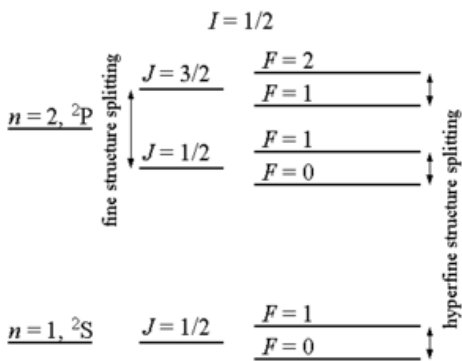
Yaygın yıldızlararası hidrojen bulutlarındaki hidrojenin çoğu nötr hidrojendir. HI, genellikle salma çizgisi üretmez. Dahası, HI i soğurmada da gözlemek zordur çünkü hidrojenin elektronunu temel seviyeden üst seviyelere çıkarmak için UV dalgaboylu fotonlar gereklidir.

**O halde nötr hidrojeni yıldızlararası ortamda nasıl belirleriz?**

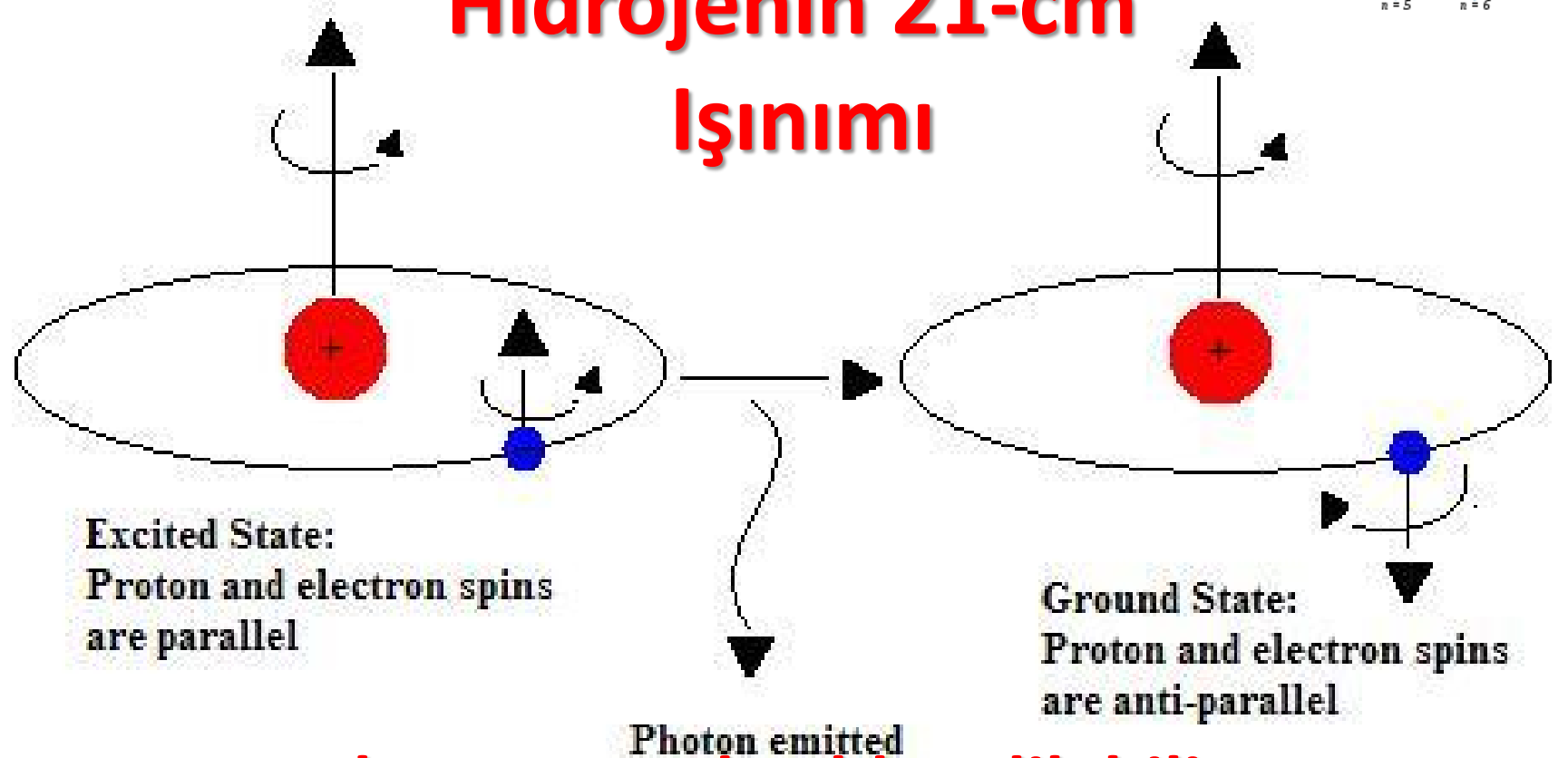
## 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

Neutral atomic Hydrogen creates 21 cm radiation





# Hidrojenin 21-cm Işınımı



**Yalnızca uzayda elde edilebiliyor.**  
**10 milyon yılda bir gerçekleşir.**



## Ek not:

- Paralelden antiparalele gecince en düşük enerji durumunda oluyor. Çizginin doğal genişliği çok küçük genişleme doppler kaymasından kaynaklanıyor (gözlemciye göre salma bölgelerinin hareketinden).

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## 21-cm Işınımının Kullanım Alanları

- HI yoğunluğunun yerini haritalamada,
- Doppler kaymasıyla radyal hızların ölçülmesinde,
- Zeeman yarılmasını kullanarak manyetik alanların ölçülmesinde,
- Galaksilerin kinematiği ve dinamiğini belirlemede,
- Galaksileri haritalamada,
- Kozmolojide, yeniden-birleşimden (ing. recombination) yeniden-iyonlaşmaya (ing. reionization) karanlık çağı incelemede

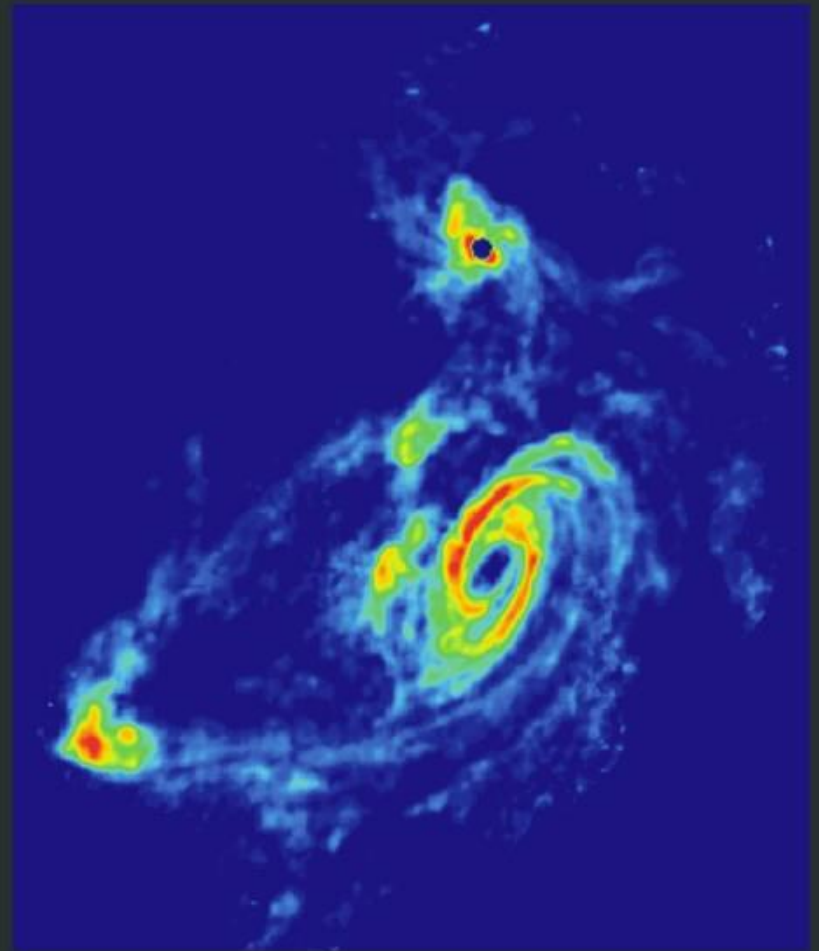
kullanılır.

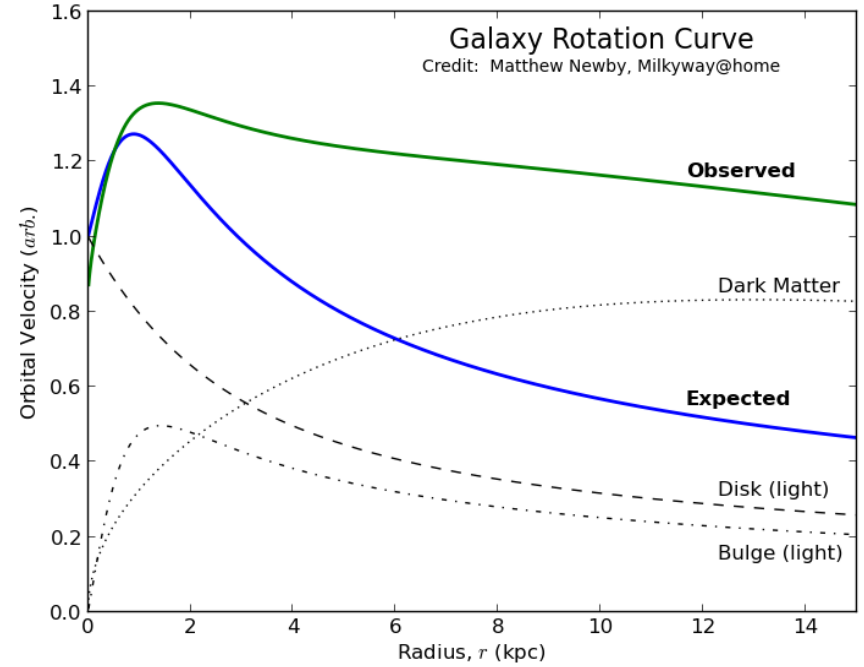
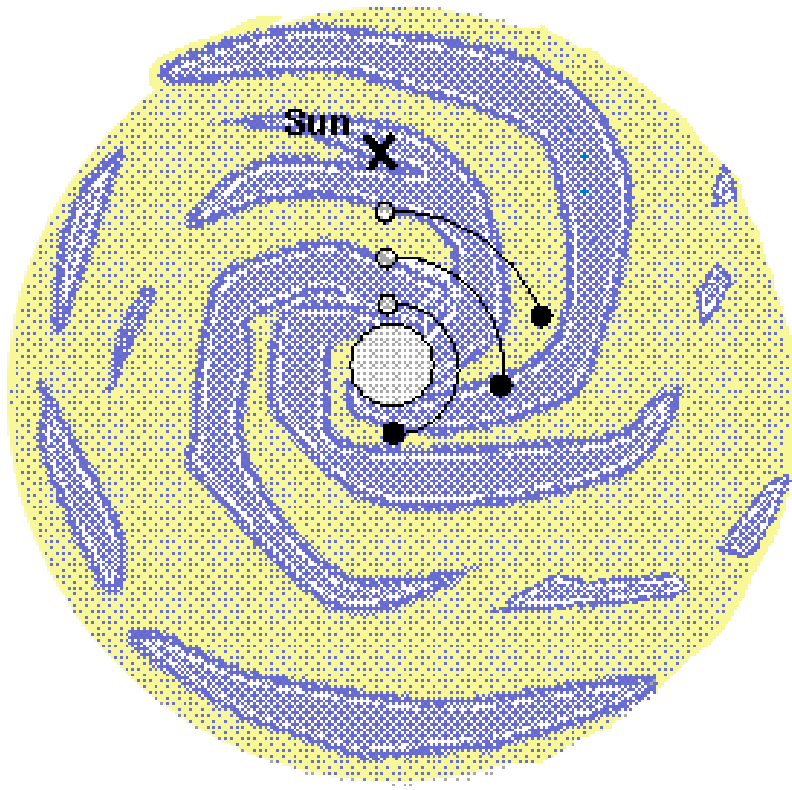
# TIDAL INTERACTIONS IN M81 GROUP

Stellar Light Distribution



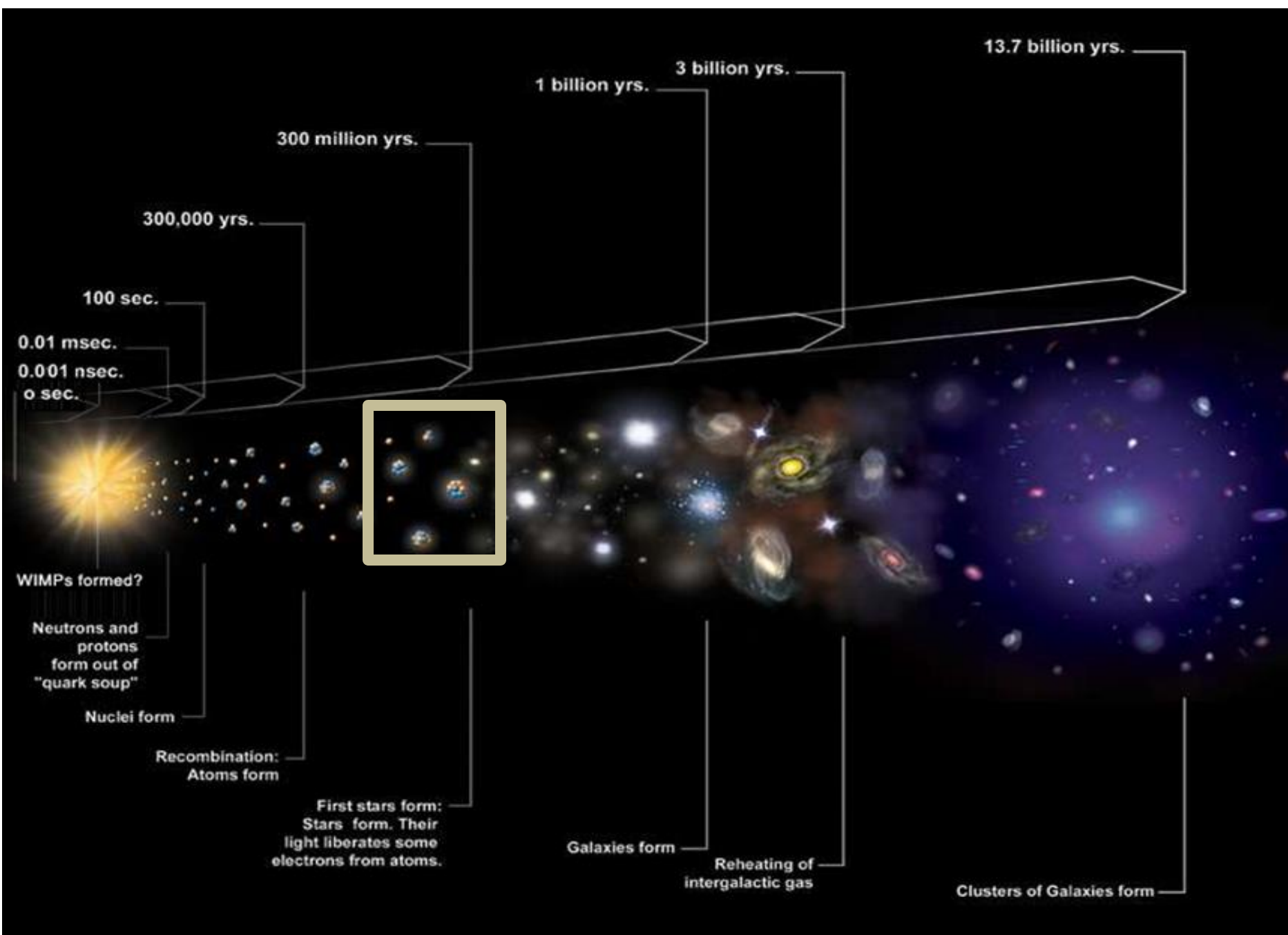
21 cm HI Distribution





*Differential rotation:* greater angular speeds closer to the galactic center.

Dönme eğrisi (ing. rotation curve) galaktik merkez çevresindeki bulutların yörünge hızlarının onların galaktik merkeze göre uzaklıklarına karşı grafiğidir. Gaz bulutlarının disk düzleminde hemen hemen dairesel yörüngelerde hareket ettiği farzedilir. Galaktik merkeze yakın yıldızlar yörünge hareketlerini galaktik merkeze uzak yıldızlara kıyasla daha hızlı tamamlar. Galaktik diskin farklı kısımlarının açısal hızlarındaki bu farklılığa diferansiyel dönme adı verilir!



# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Bulutsuların sınıflandırılması

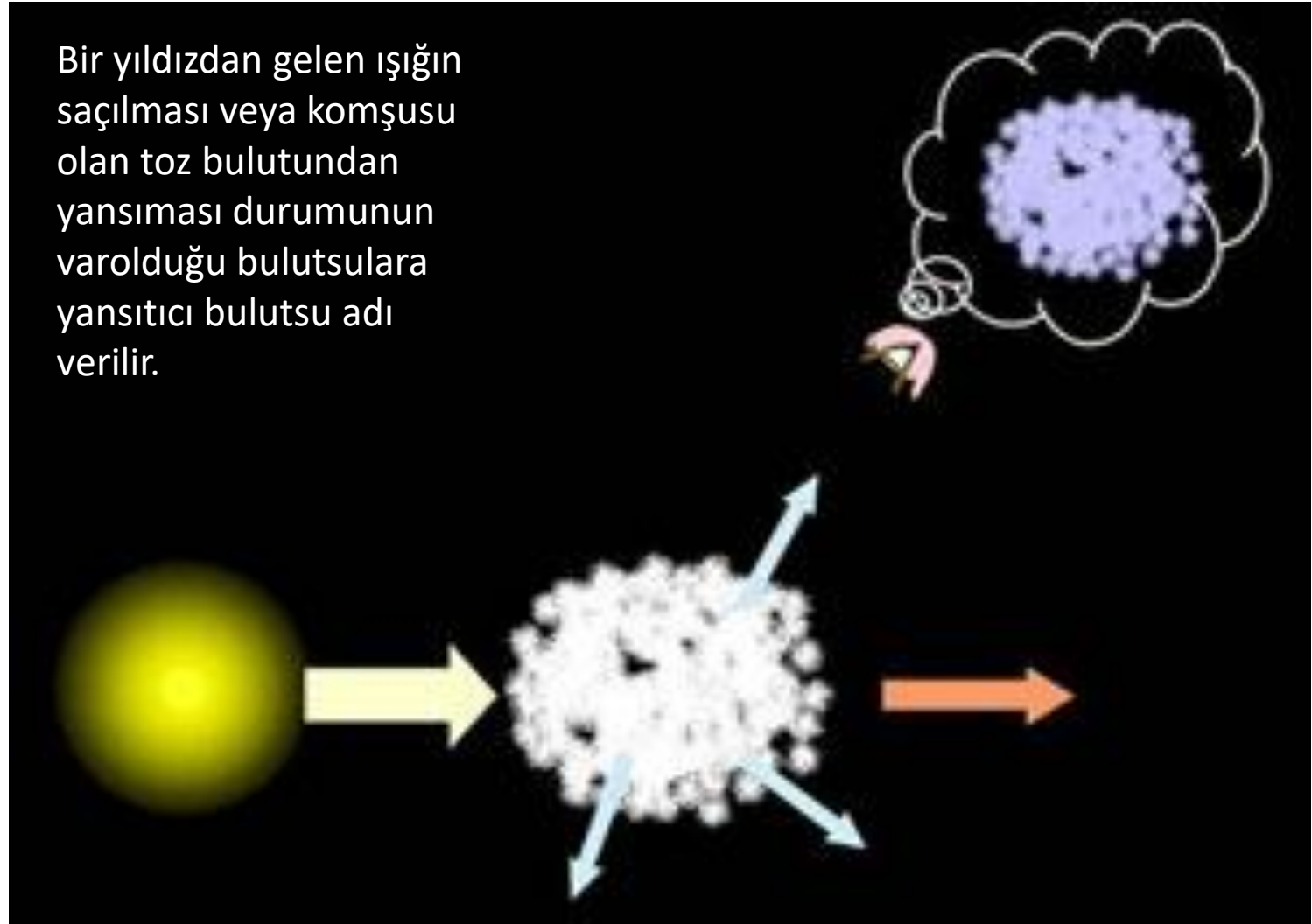
Bulutsuların iki farklı orjini vardır. İlki, evrenin doğumundan hemen sonra oluştu yani bir yıldızda üretilen gaz ve tozdan meydana gelmedi. Diğer, süpernova patlamalarıyla üretildi. Onlardan atılan materyal Crab ve Veil bulutsuları gibi bulutsuları üretti. Ancak, işlerin bu kadar basit olmadığını aklımızda tutmalıyız. Çünkü bir bulutsu, yıldızlardan atılan materyalin yanı sıra başlangıca ait materyalde barındırabilir!

- Yansıtıcı (ing. reflection) bulutsular,
- Salma (ing. emission) bulutsuları,
  - HII bölgeleri,
  - Gezegensimsi bulutsular,
- Karanlık (ing. dark) bulutsular (soğurma bulutsuları),
  - Moleküler bulutlar,
  - Bok küreleri
- Süpernova kalıntıları

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Yansıtıcı Bulutsular

Bir yıldızdan gelen ışığın saçılması veya komşusu olan toz bulutundan yansması durumunun varolduğu bulutsulara yansıtıcı bulutsu adı verilir.



# Ek notlar:

- Bu tür bir bulutsunun tayfı aydınlatıcı yıldızın tayfına benzer ancak daha mavidir. Renkteki bu kayma, buluttaki toz zerreciklerinin tipik büyüklüklerinin mavi ışığın dalga boyu ile kıyaslanabilir düzeyde olmasından dolayı artar. Yani, bu bulutsulara karakteristik rengini veren mavi ışık daha uzun dalga boyuna sahip kırmızı ışıktan daha fazla saçılır.
- Yansıtıcı bulutsular, genellikle karanlık bulutsulardan daha az yoğunurlar ve aydınlatıcı kaynak tarafından belirlenen büyüklüklere sahiptirler. Genişlikleri toz bulutun büyüklüğü ile tanımlanmaz. Pleiades açık yıldız kümesinde bulunan yıldızları çevreleyen bulutumsu yapı, en iyi bilinen yansıtıcı bulutsu örneklerinden biridir.
- Yansıtıcı bulutsular, genellikle yıldız oluşum siteleridir. Onlar genellikle mavidirler çünkü saçılma mavi ışık için daha etkindir. Yansıtıcı ve salma bulutsuları sık sık bir arada görülürler ve her ikisi birden yaygın bulutsular diye adlandırılırlar.



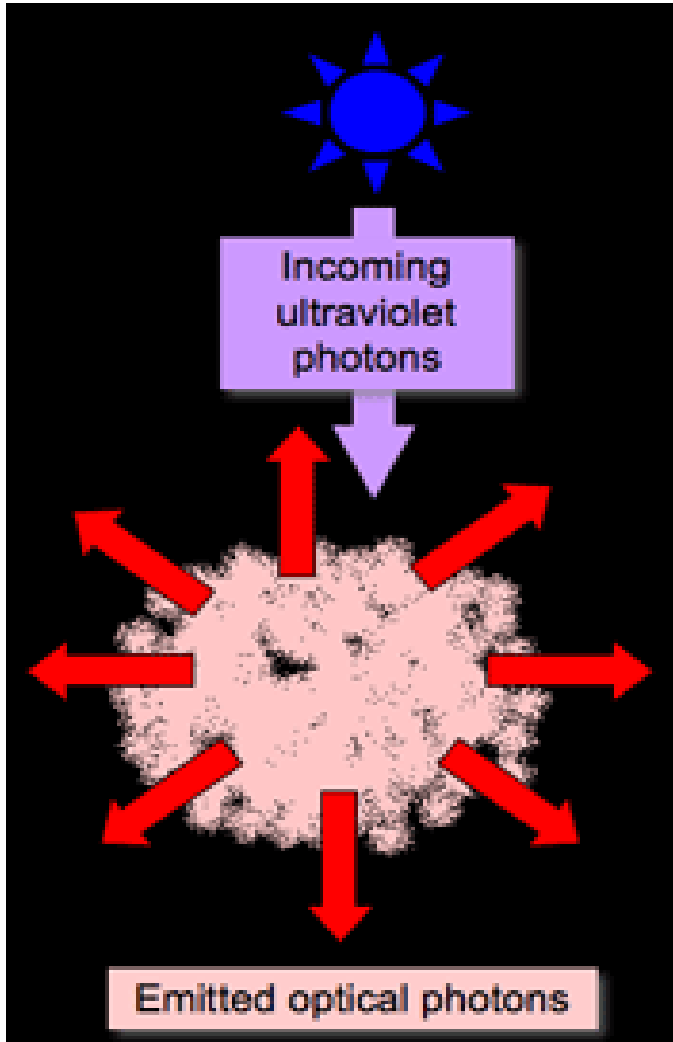
# Pleiades neden mavi gözükür?



Gelen mavi ışığın büyük bir kısmı asıl yolundan saçılarak bulutu tamamen farklı bir doğrultuda terkeder. Bunun sonucunda buluta bakış doğrultusundan farklı bir doğrultuda bakıldığında mavi renkli yansıtıcı bulutsu görülmektedir. Bu süreç, gökyüzünün mavi görünmesine yol açan Rayleigh saçılmasına benzerdir.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Salma Bulutsuları



Salma bulutsuları iyonize gaz bulutlarıdır.

Kütleleri genellikle 100 ile 10000  $M_{\odot}$  arasında değişir.

Tipik olarak, binlerce atom/cm<sup>3</sup> mertebesinde bir yoğunluğa sahiptirler.

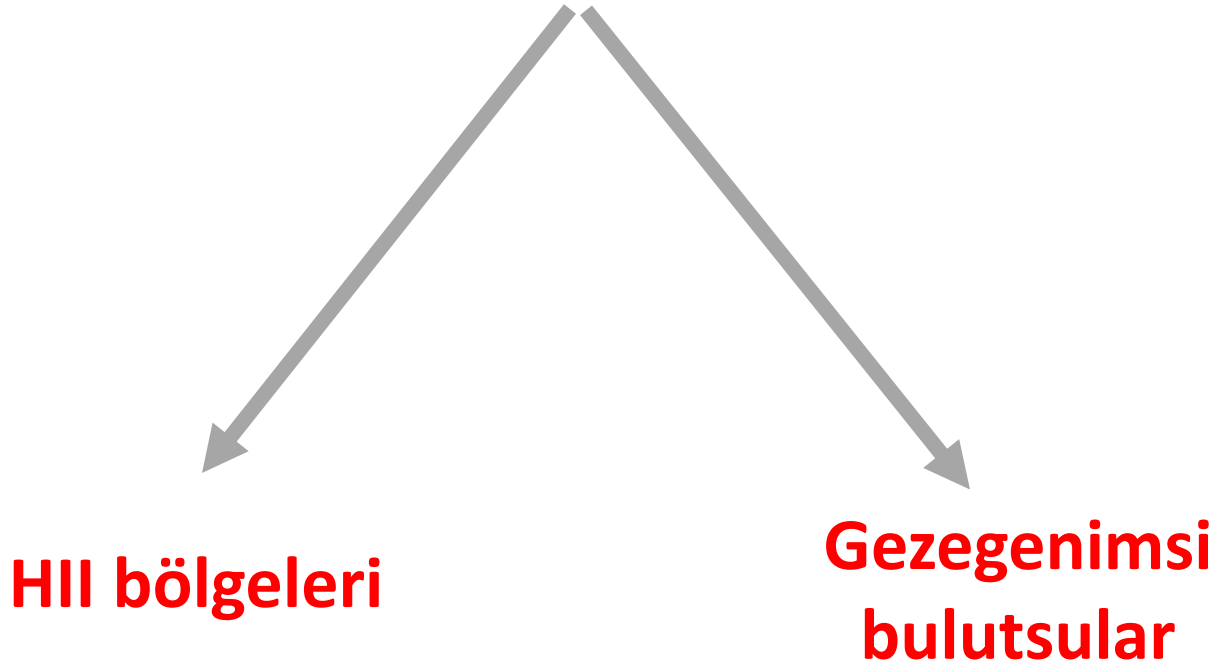
Ortalama sıcaklıkları yaklaşık 10000 K civarındadır.

# Ek notlar:

- Kendi ışıklarını optik dalgaboylarında salarlar. İyonizasyonun en genel kaynağı buluta yakın sıcak bir yıldızdan gelen yüksek enerjili fotonlardır.
- Bu kütle 1 ışık yılı uzaklıktan daha az bir uzaklığa sığabilecek bir hacimden 100 lerce ışık yılı uzaklığa sığabilecek bir hacime dağılıbilir.
- Bu sebeple, bulutsunun sıklığına bağlı olarak, yoğunlukları (milyonlarca atom)/cm<sup>3</sup> ten (bir kaç atom)/cm<sup>3</sup> e olmak üzere hayli farklılık gösterir.
- Tipik olarak, binlerce atom/cm<sup>3</sup> mertebesinde bir yoğunluğa sahiptirler. Ortalama sıcaklıkları yaklaşık 10000 K civarındadır.
- Salma bulutsuları, genel olarak yeni oluşmuş ve oluşmakta olan yıldız siteleri'dir.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Salma Bulutsuları



# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular Salma Bulutsuları: HII Bölgeleri

Orion  
Bulutsusu



# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Salma Bulutsuları:

### HII Bölgeleri



Orion Bulutsusu (M42)

Bulutsunun kalbinde bulunan büyük kütleli yıldızlar, gazı moröte fotonlarla bombalayarak onun kırmızımsı (**656.3 nm dalgaboyuna sahip  $H_{\alpha}$  çizgisinden dolayı**) gözükmesine yol açar.

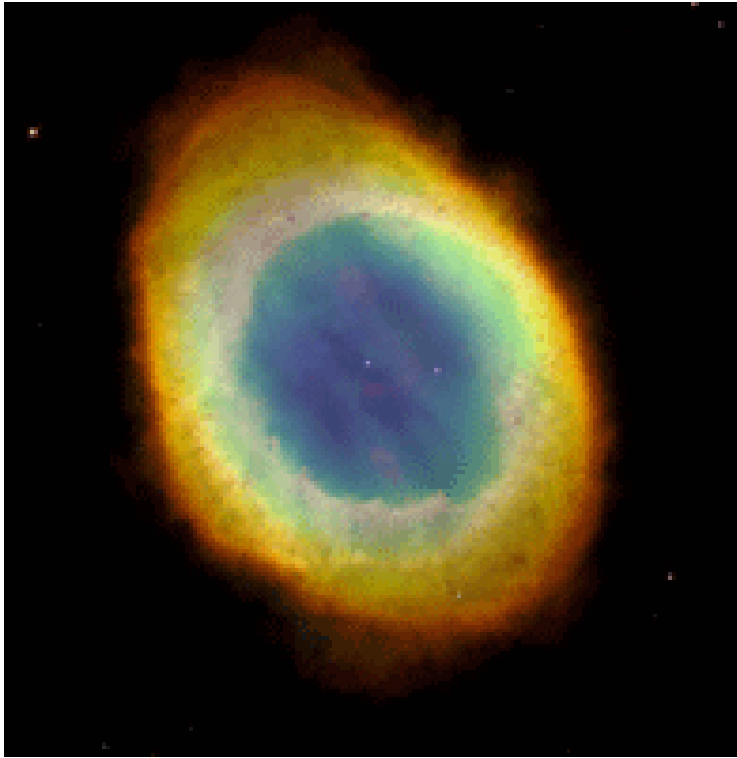
# Ek notlar:

- Salma bulutsusunun en genel tiplerinden biri, nötr hidrojen atomları bakımından hayli zengin bir yıldızlararası gaz bulutunun, buluta yakın O ve B türünden yıldızlar tarafından iyonize edilmesiyle oluşur.
- Son derece sıcak ve parlak bu yıldızlardan gelen yüksek enerjili moröte fotonlar buluttaki nötr hidrojen atomlarını iyonize hale getirirler. İyonize olan hidrojen atomları yeniden birleşirler ancak bu birleşme uyarılmış bir seviyede olur. Uyarılmış durumda elektronu bulunan nötr hidrojen atomunun elektronu en düşük enerji düzeyine geçerken, hidrojen atomunun izinli enerji düzeyleri arasındaki enerji farkına eşit dalgaboyuna sahip fotonlar salar. Optik dalgaboylarında, bu geçişlerden en önemlisi tayfın kırmızı bölgesindeki 656.3 nm dalgaboyuna sahip  $H_{\alpha}$  çizgisidir. Bu, salma bulutsusuna kırmızı rengini veren geçiştir. Salma bulutsusunun bu türü, HII bölgesi olarak anılır. Bu bulutsular, bulutta doğmuş gibi gözükten ve şimdi ışınım yapan O ve B yıldızlarından dolayı gerçekleşen yıldız oluşumunun güçlü işaretçileridir.
- En bilinen salma bulutsularından biri, Orion bulutsusudur ve Orion'un kılıçında bulunan iki yıldızın ortasındadır.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Salma Bulutsuları:

### Gezenimsi Bulutsular



Bu cisimler, bir yıldızın beyaz cüce fazına evrimleşerek serbest bıraktığı **gaz bulutu** ve o bulut tarafından çevrelenen **merkezi bir beyaz cüce yıldızdan** oluşur.

#### Yüzük Bulutsusu

İyonize azot (kırmızı), oksijen (yeşil), ve helyum (mavi), merkezi yıldız bir beyaz cüce (Yeşil renk yasaklı [OIII] çizgisinden geliyor, laboratuvarında üretilmiyor).



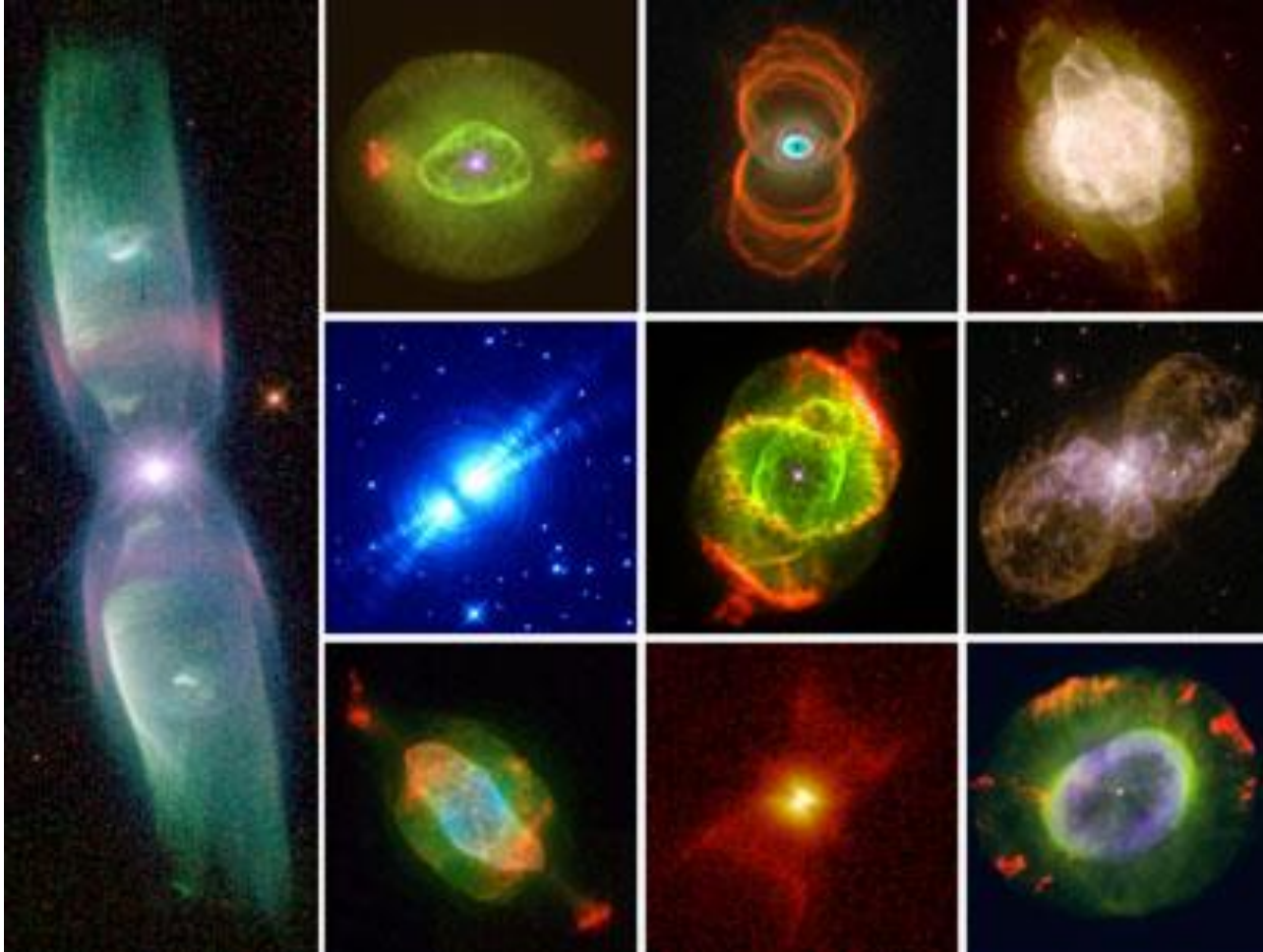
# Ek notlar:

- Salma bulutsuların bir diğ er genel tipi gezegenimsi bulutsulardır.
- Bu cisimler, bir yıldıızın beyaz cüce fazına evrimleşerek serbest bıraktığı gaz bulutu ve o bulut tarafından çevrelenen merkezi bir beyaz cüce yıldızdan oluşur.
- Bu durumda, uyarılmış gazın HII ile zenginleştirilmesi gerekli olmamasıyla birlikte önemli miktarda bir kere iyonize olmuş helyum (mavi emisyon) ve iki kere iyonize olmuş O (yeşil emisyon) içerebilir.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Salma Bulutsuları:

### Gezenimsi Bulutsular



Helyumun iyonize olması hidrojenin iyonize olmasından çok daha fazla enerji gerektirdiğinden, gezegenimsi bulutsuların **en mavi alanları en sıcaktır** ve **en yüksek eksitasyon bölgelerini işaret eder.**

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Karanlık Bulutsular

Atbaşı  
Bulutsusu

© Anglo-Australian Observatory

Barnard 68

Bir karanlık bulutsunun iç bölgelerindeki ortalama sıcaklık **10 ile 100 K** arasında değişir. Bu sıcaklık, hidrojen moleküllerini oluşturmak ve yıldız oluşumunun yer alması için elverişlidir.

Birkaç  $M_{\odot}$  den **1 000 000  $M_{\odot}$**  i geçen materyal ve **60 ile 600 ışık yılı arasında** çapa sahip olabilen çok büyük karanlık bulutsular **DEV MOLEKÜLER BULUTLAR** olarak bilinirler. 10-100 milyon yıl yaşayabilirler.

En küçük olanlarına, **BOK KÜRELERİ** adı verilir, genelde bir ucundan diğer ucuna olan uzaklıkları **3 ışık yılından azdır** ve **2000  $M_{\odot}$  den az kütle** içermektedir.

# Ek notlar:

- Karanlık bulutsular, konsantrasyonu yoğun toz bulutları içeren yıldızlararası bulutsulardır. Bu sebeple onlar, gelen optik ışığı, görsel dalgaboylarda tamamen soğurup saçabilirler. Karanlık bulutsuların en belirgin oldukları durum, parlak salma bulutsularının önünde (örn: Atbaşı bulutsusu) veya yıldız sayısının çok fazla olduğu bir bölgede buldukları (örn:Barnard 68) durumudur.
- Hidrojen molekülleri formundaki gaz ve toz, yıldızlararası ortamdaki en yoğun ve en soğuk bulutların başlıca bileşenleridir.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Karanlık Bulutsular: Moleküler Bulutlar

Yıldız oluşumu, özellikle, moleküler bulutlarda meydana gelir ve gözlemler onların **spiral galaksilerin disklerinde ve düzensiz galaksilerin aktif bölgelerinde** bulduklarını göstermektedir.

Moleküler bulutlar soğuk ve karanlık olduklarından, görünür ışıpta onları doğrudan gözleyemeyiz. Daha yakın olanları, parlak bulutsuları veya ardaalan yıldızlarını gölgeleyebilirler fakat, büyük çoğunluğu belirlenemez, çünkü görünür olmalarına karşın uzak ve parlak ardaalan cisimlerinin ışığı yıldızlararası sönmleme etkisiyle azaltılır.

Uzun mm dalgaboylarında ışınım salarlar. Bu ışınım ISM den etkilenmeden geçebilir.

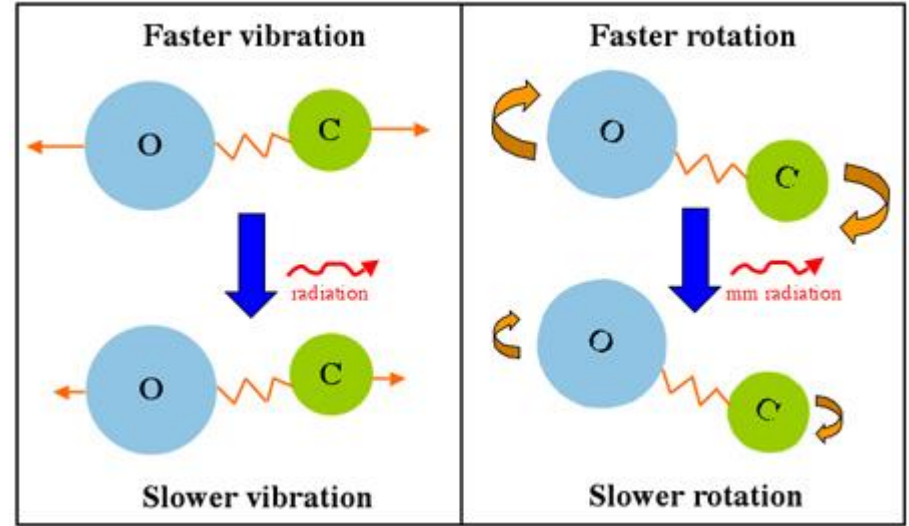
Bir atomdaki elektronlar yalnızca belirli enerji seviyelerinde olabileceğinden ve bir enerji seviyesinden diğerine geçerken enerjiyi soğurabileceğinden veya salabileceğinden, moleküller yalnızca belli oranlarda dönebilir ve titreşebilir. Özel olarak, bir molekülün mm dalgaboylarına göre küçük enerji farkına sahip olan dönme seviyesi değiştiğinde, enerji soğurulmalı veya salınmalıdır.

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Karanlık Bulutsular: Moleküler Bulutlar

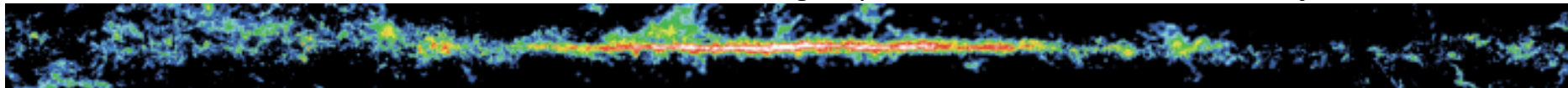


En bilinen moleküler bulutsu  
**Kartal bulutsusu**



Moleküller, ya dönme yada titreşim durumlarını değiştirerek ışınım salarlar ( $H_2$  için 500 K lik enerji gerekir).  $H_2$  molekülü mükemmel simetrik bir molekül olduğundan tayf çizgileri çok zayıftır.

Simetrik yapıda olmayan ve gözlenmesi çok daha kolay olan CO (10000  $H_2$  molekülüne karşın 1 CO molekülü bulunur) molekülünün titreşim durumundaki bir değişim mm dalgaboylarında bir foton salınımı ile sonuçlanır.



Samanyolunun CO haritası  
(moleküler bulutlar başlıca galaktik diskte yerleşmişlerdir.)

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Karanlık Bulutsular: Bok Küreleri



IC2944 bulutsusu

Görelî olarak küçük, çok soğuk gaz ve tozdan oluşan bulutsulardır. Moleküler hidrojen, karbon oksitler, helyum ve silikat (kütlesinin %1 i miktarında) içerirler.

Yıldız oluşum siteleridir. En yakın dev moleküler bulutlardan 4 kat daha yakınlar.

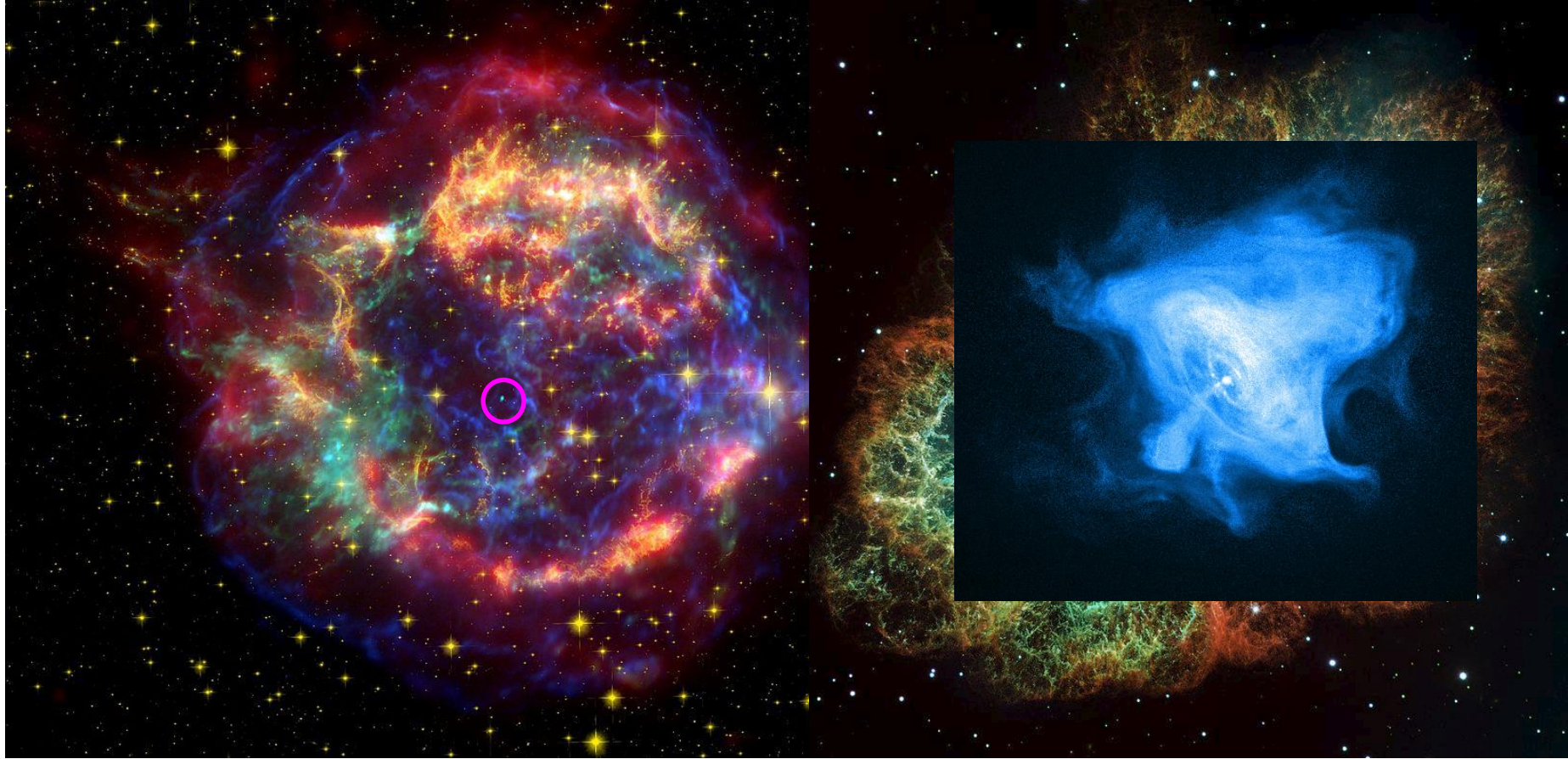
# Ek notlar:

- Moleküler bulutların çekirdekleridirler.
- Bölgede yeni oluşmuş çok sıcak yıldızların uv fotonlarıyla materyalin süpürülmesiyle oluşurlar.
- Çift veya çoklu sistemlerinin oluşumları için uygun ortamlardır.



# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Süpernova Kalıntıları

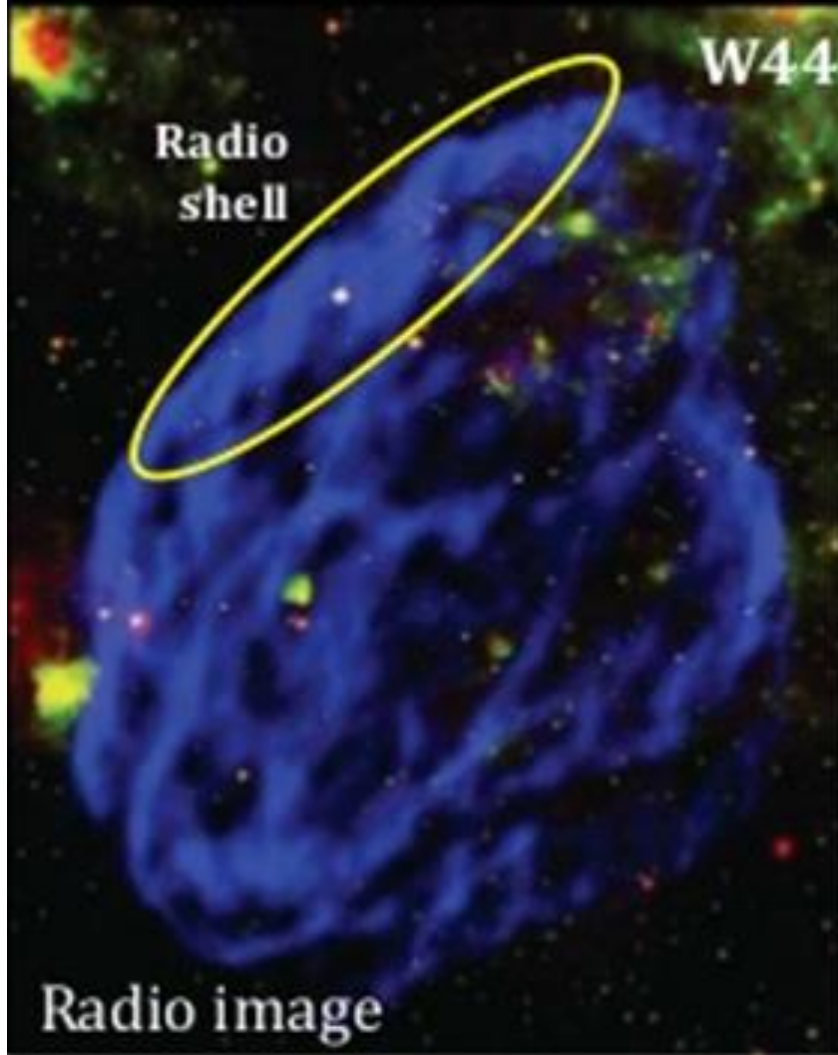


1) Cassiopeia A (kabuk benzeri süpernova kalıntısı; merkezde bir nötron yıldızı)

2) Yengeç bulutsusu (Crab benzeri süpernova kalıntısı, pulsar rüzgarlı bulutsu)

# 1.3 Yıldızlararası Gaz ve Bulutsular

## Süpernova Kalıntıları



3) Kompozit süpernova kalıntıları: Diğer iki türün kesişimi, hem kabuk benzeri hem crab benzeri, yada her ikisi gibi birden gözükebilirler (em spektrumun hangi bölgesinde bakıldığına bağlı olarak).

Örneğin termal kompozit süpernova kalıntıları radyo dalgaboylarında kabuk benzeri, x ışın dalgaboylarında crab benzeri gibi gözükür.

# Ek Konu: Önyıldızların (ing. protostars) Oluşumu ve Anakol öncesi Evrim

Önyıldız (protostar) ne demek?

Yıldızlararası gaz ve toz Virial  
dengesinde:

**Çekim ve iç hareketler dengede**



## 2K+U=0 Virial teoremi

$$2K > |U|$$

bulut genişler

$$2K < |U|$$

bulut çöker

$$U \sim -\frac{3}{5} \frac{GM_c^2}{R_c}$$

Potansiyel enerji ( $M_c$  ve  $R_c$ , bulutun kütlesi ve yarıçapı)

$$K = \frac{3}{2} NkT$$

Kinetik enerji ( $N$  parçacık sayısı,  $N = \frac{M_c}{\mu m_H}$ ,  $\mu$  ort. molekül ağırlığı)

O halde bulutun çökmesi için,

$$3 \frac{M_c}{\mu m_H} kT < \frac{3}{5} \frac{GM_c^2}{R_c}$$

$$R_c = \left( \frac{3M_c}{4\pi\rho_0} \right)^{1/3}$$

Bulutun çökmesi için gerekli minimum kütle Jeans kriteri olarak bilinir.

$$M_c > M_J$$

$$M_J \cong \left( \frac{5kT}{G\mu m_H} \right)^{3/2} \left( \frac{3}{4\pi\rho_0} \right)^{1/2}$$

bu terime **Jeans kütlesi** denir.

**Bulutun kütlesi Jeans kütlesinden büyük olursa bulut çöker! Yani?**

**Tipik bir yıldız oluşum bölgesi için;  $N=10^6 \text{ cm}^{-3}$ ,  $T=100 \text{ K} \rightarrow M_J=30000 M_\odot$**

Bir bulutun çökebilmesi için minimum yarıçap Jeans uzunluğu olarak bilinir.

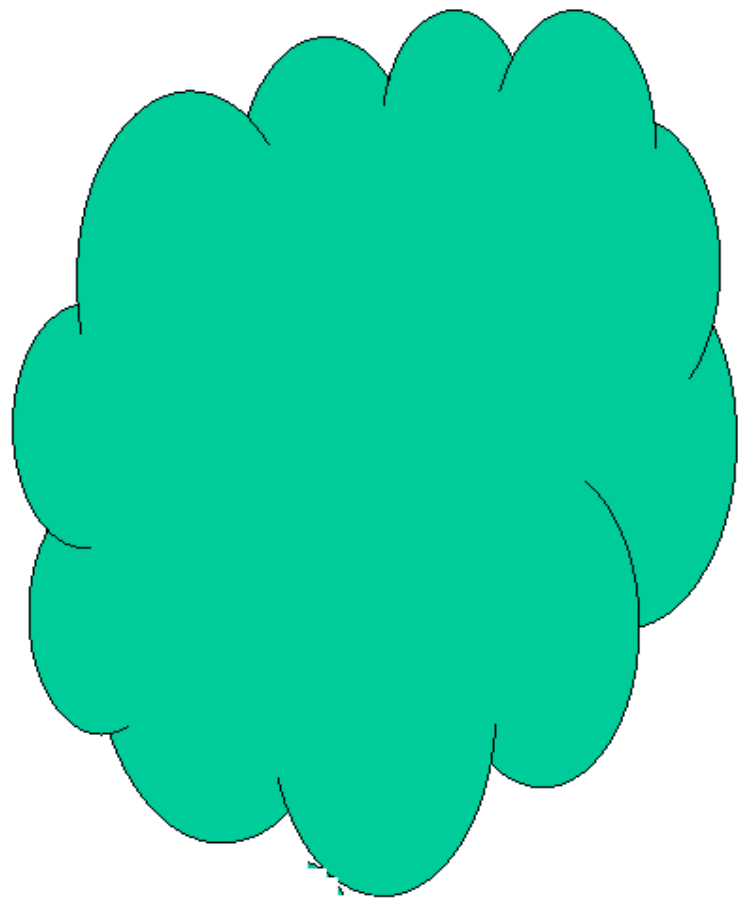
$$R_c > R_J$$
$$R_J \cong \left( \frac{15kT}{4\pi G \mu m_H \rho_0} \right)^{1/2}$$

Bulutun büzülmesi için, serbest düşme zaman ölçeği;

$$t_{ff} = \left( \frac{3\pi}{32} \frac{1}{G \rho_0} \right)^{1/2}$$

Anakol öncesi yaşam süresi ise Kelvin Helmholt zaman ölçeği;

$$t_{KH} = \frac{3}{5} \frac{GM^2}{RL}$$



1. Adım: Bulut yavaşça çökmeye başlar  
(T sabit, bulutun yoğunluğu artar)

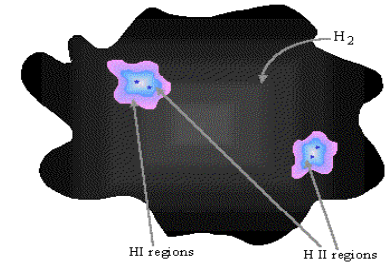
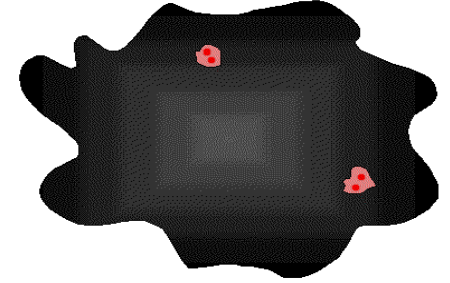
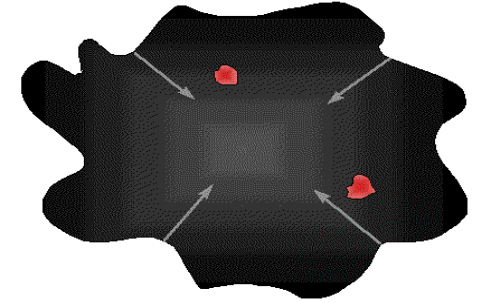
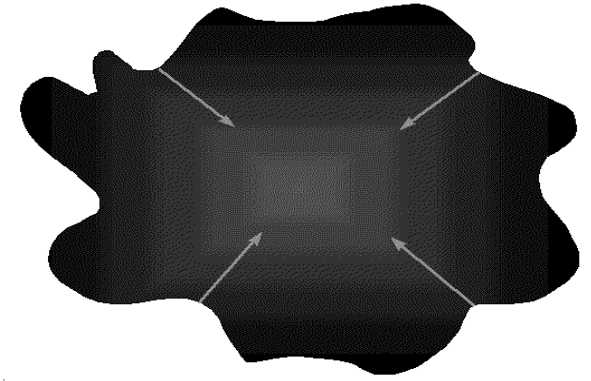
Çöküşten sonra, Jeans kütlesinin azalması  
parçalanmaya neden olur!

2. Adım: Bulut top top olmaya başlar yoğunluğu daha fazla olan bölgelerin daha hızlı çökmesiyle ve bulutun geri kalanının parçalanmasıyla

3. Adım: Çöküş gerçekleştiğinde önyıldızlar oldukça büyük, soğuk ve oldukça kırmızıdır. Bu önyıldızlar kırmızı öte kaynakları olarak görülürler. Gelen ışınım çekimsel büzülme kaynağıdır.

Kümenin yoğunluğu artar, artık ışınım kaçamaz, T artar, Jeans kütlesi artar, ayrılmalar durur ve önyıldız oluşur!

4. Adım: Çekirdek yeterince sıcak olunca nükleer reaksiyonlar başlar ( $H \rightarrow He$ )



# Kaynaklar

“An introduction to Modern Astrophysics”

Bradley W. Carroll & Dale A. Ostlie

“The formation of Stars”

Steven W. Stahler & Francesco Palla

“A507 Değişen Yıldızlar Ders Notları”

Selim O. Selam

<http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/>

<http://outreach.atnf.csiro.au/education/senior/astrophysics/stellarevolution/formation.html#sfreflection>

<http://www.star.le.ac.uk/edu/twn/types.html>

[http://burro.astr.cwru.edu/stu/stars\\_birth.html](http://burro.astr.cwru.edu/stu/stars_birth.html)

<http://en.wikipedia.org>

<http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci102/lectures/starform.htm>

[http://www.astro.cornell.edu/academics/courses/astro201/star\\_birth.htm](http://www.astro.cornell.edu/academics/courses/astro201/star_birth.htm)

<http://www.castlerock.wednet.edu/HS/stello/Astronomy/TEXT/CHAISSON/BG311/HTML/BG31103.htm>



**Bölüm sonu....**