

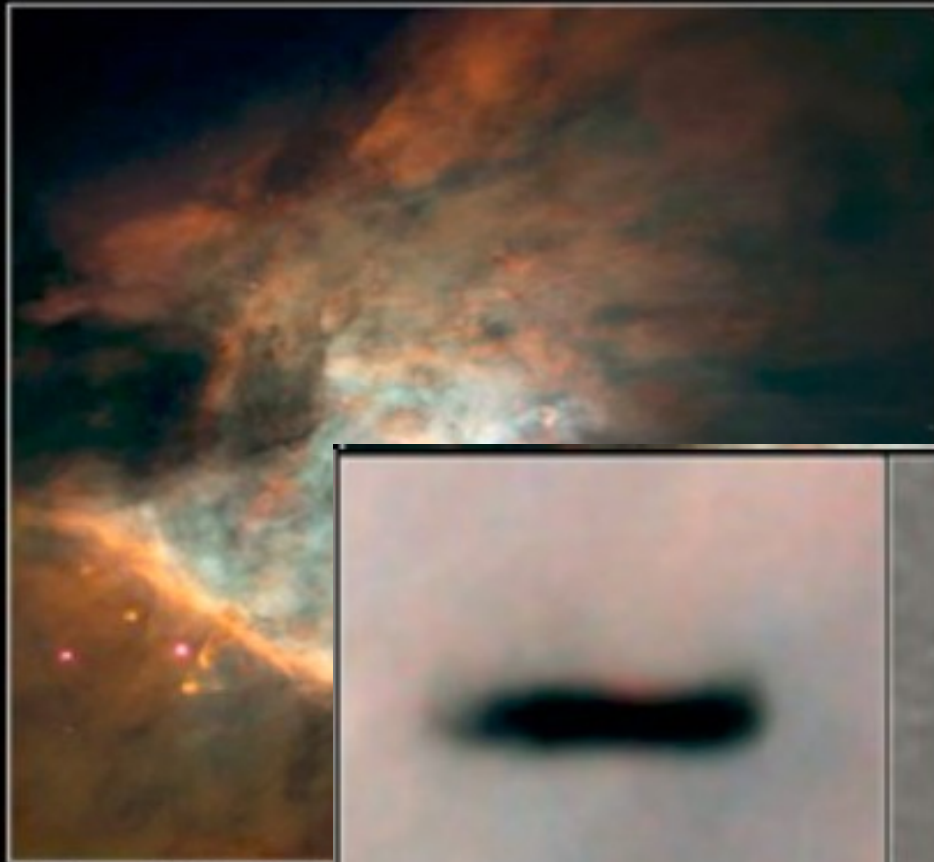
AST418  
Gezegen Sistemleri  
ve Oluřumu  
Ders 2b:  
Öngezegen Diskleri

A photograph of a protoplanetary disk (proplyd disk) around a young star. The disk is seen from an angle, showing concentric rings of dust and gas. The central star is a bright yellow-orange point source. The disk is illuminated from the side, creating a gradient of colors from dark brown to bright yellow. The background is a dark field of stars.

## 2. Öngezeggen Diskleri



# Öngezegen Diskleri (Protoplanetary Disks)



**Orion Nebula M42**  
PRC95-45a - ST ScI OPO -  
C. R. O'Dell and S. K. Wor



**HST · WFPC2**

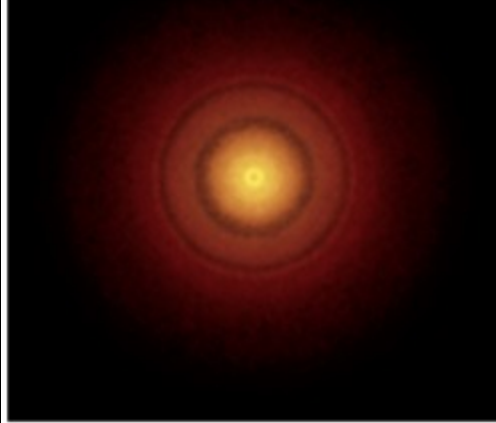
**Edge-On Protoplanetary Disk  
Orion Nebula**

**HST · WFPC2**

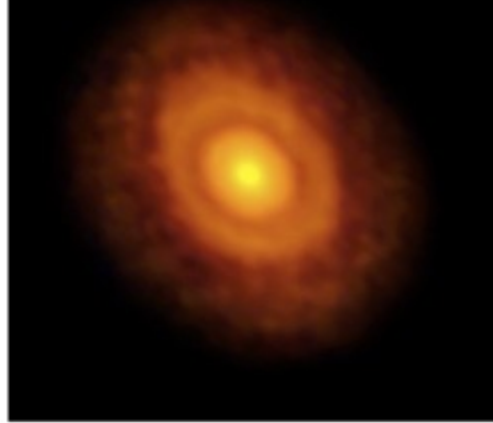
, 1995  
(Rice University), NASA

ESO ALMA radyo teleskopları tarafından gözlenen pek çok öngezegen diskinde gezegen oluşumuna işaret eden yapılar gözlemlendi.

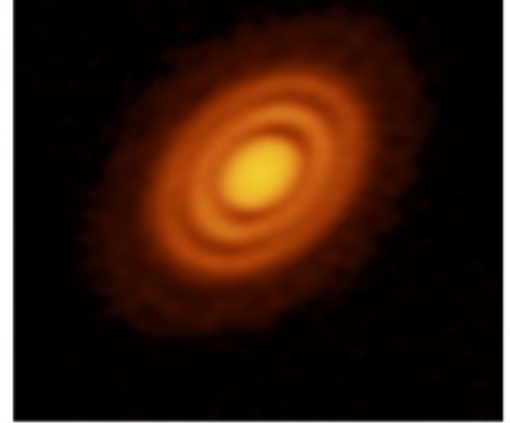
TW Hya (Andrews vd. 2016)



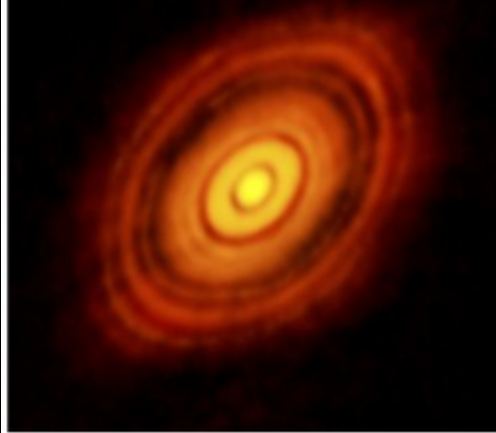
V883 Ori (Cieza vd. 2016)



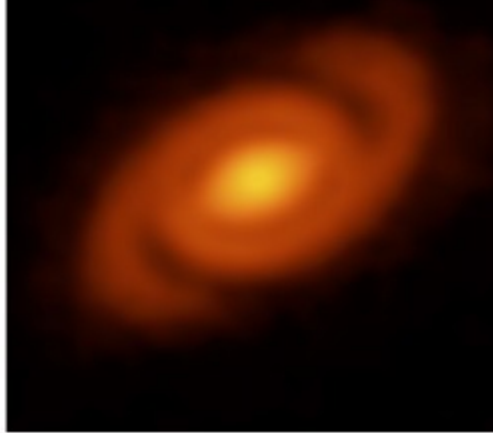
HD 163296 (Isella vd. 2016)



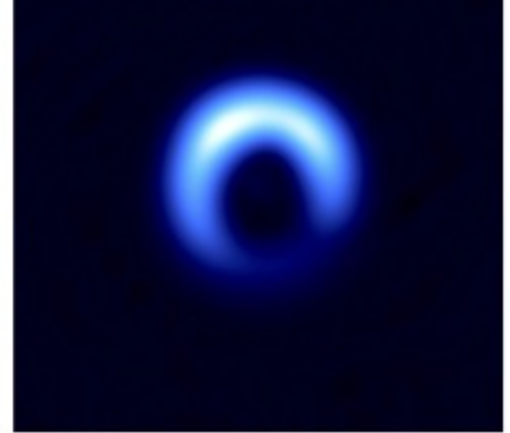
HL Tau (ALMA 2015)

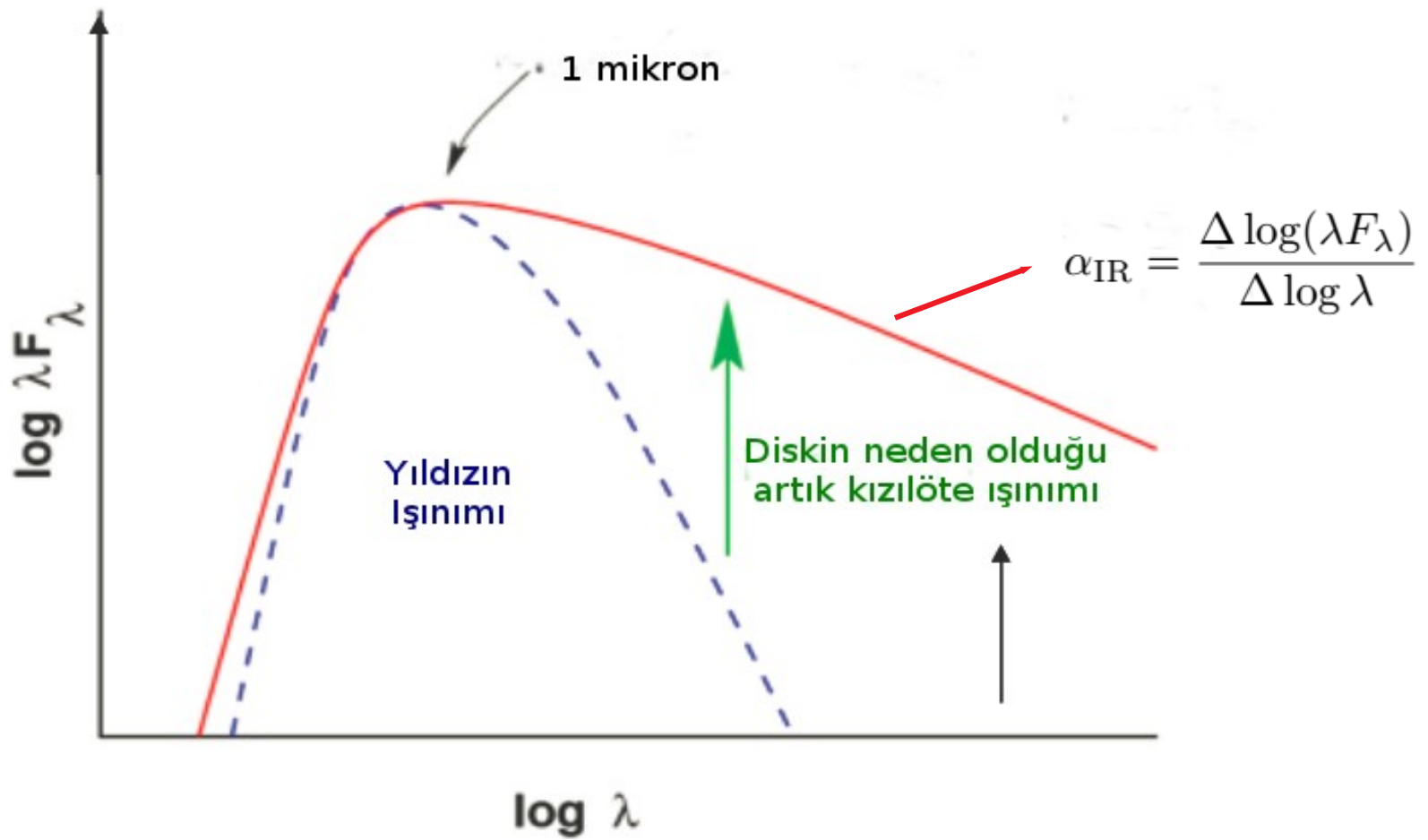


Elias 2-27 (Pérez vd. 2016)



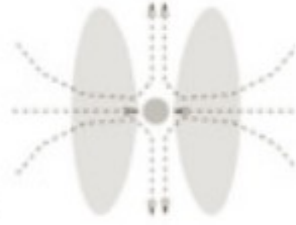
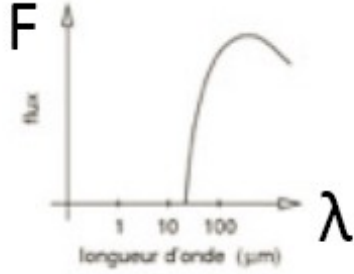
HD 142527 (Kataoka vd. 2016)





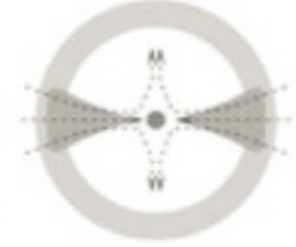
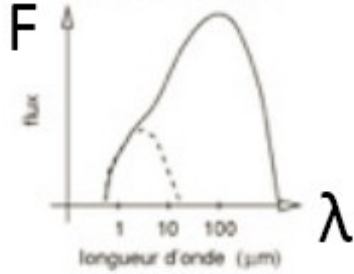
- ✓ Bir öngezegen diskinde sahip genç bir yıldızın Tayfsal Enerji Dağılımı (Spectral Energy Distribution, SED) 'nı gözlerseniz yıldızın ve diskin ortak enerji dağılımının elde edersiniz.
- ✓ Disk yıldıza göre daha soğuk olduğundan katkısı da uzun dalgaboylarında (kızılöte, IR) olacaktır.
- ✓ Bu şekilde gözlenen cismin tayfsal enerji dağılımının şeklinden etrafında bir diske sahip olup olmadığı kolaylıkla anlaşılabilir. IRAS (Infrared Astronomical Satellite) uydu teleskobunu (1983) kullanan bilim insanlarının yaptığı da budur.

# Yıldız Oluşumun Son İki Safhasına Disk Perspektifinden Bakış



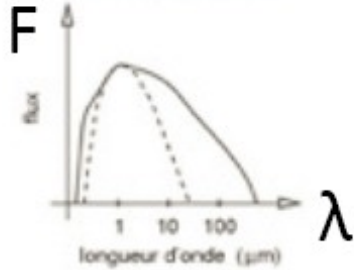
**Sınıf-0:**  $M_{\text{zarf}} > M_{\text{yıldız}} > M_{\text{disk}}$

İlk yığılma süreci:  $t < 10^4$  yıl  
Işınımın ana kaynağı serbest kalan gravitasyonel potansiyel enerjidir.



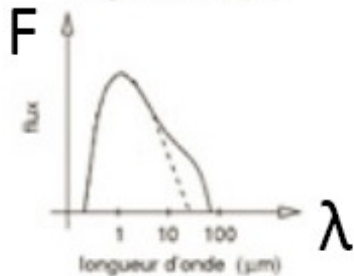
**Sınıf-I:**  $M_{\text{yıldız}} > M_{\text{zarf}} \sim M_{\text{disk}}$

Optik kalın bulut:  $t \sim 10^5$  yıl  
Diskte ısınan gazın orta-kızılöte bantlarda ışımaya başlaması  $\alpha_{\text{IR}} > 0$



**Sınıf-II:**  $M_{\text{disk}} / M_{\text{yıldız}} \sim \%1, M_{\text{zarf}} \sim 0$

Optik kalın bulut:  $t \sim 10^6$  yıl  
 $-1.5 < \alpha_{\text{IR}} < 0$



**Sınıf-III:**  $M_{\text{disk}} / M_{\text{yıldız}} \ll \%1,$   
 $M_{\text{zarf}} \sim 0$  Optik kalın bulut:  $t \sim$  birkaç  $10^6$  yıl

(Credit: P.André)

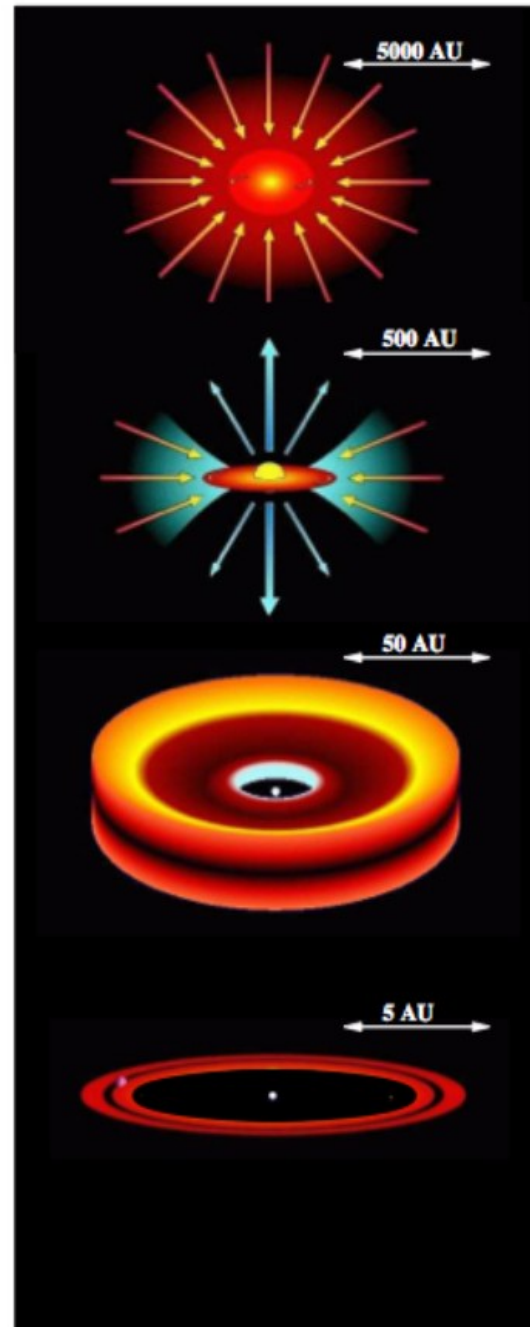
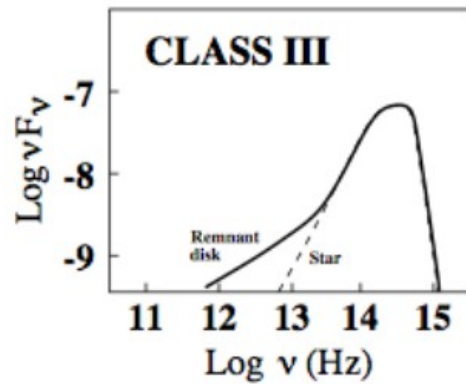
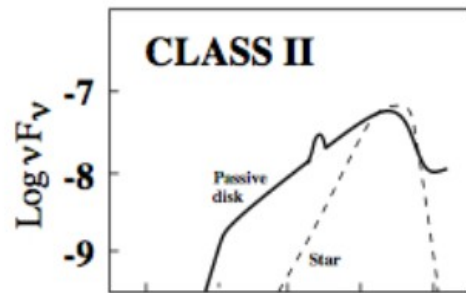
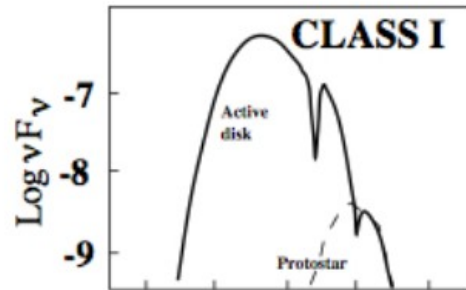
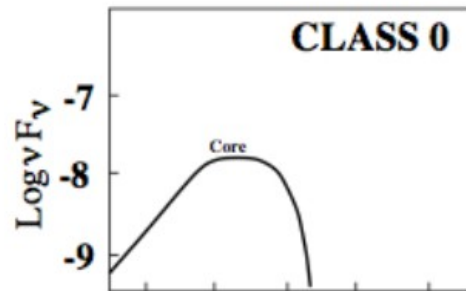
T Tauriler



Klasik Tauriler



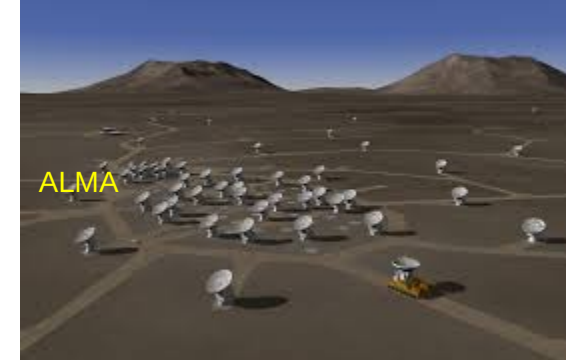
Zayıf çizgi  
WTT





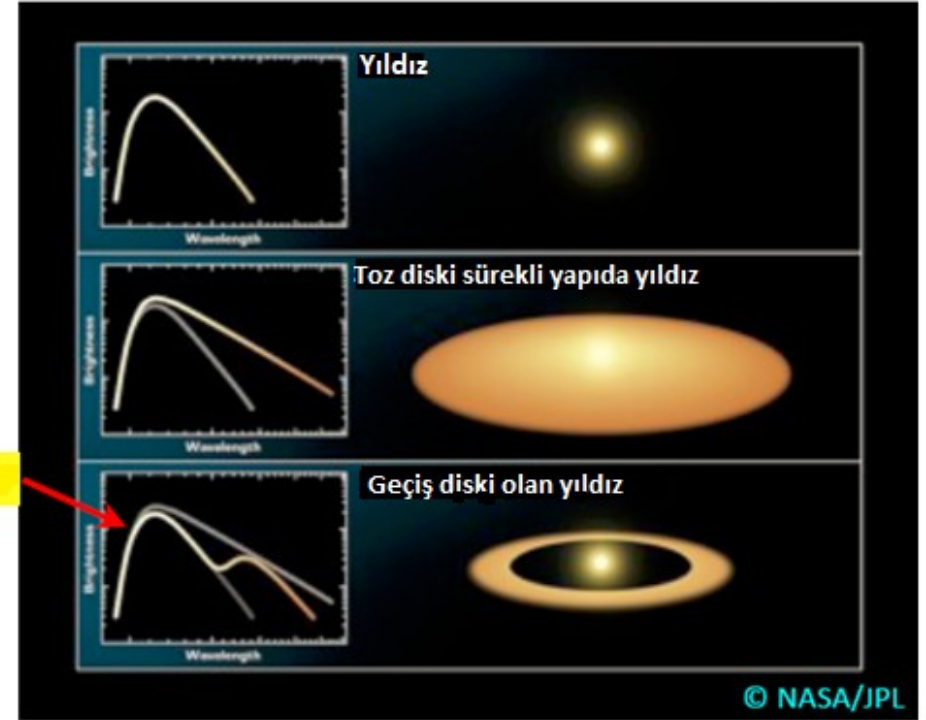
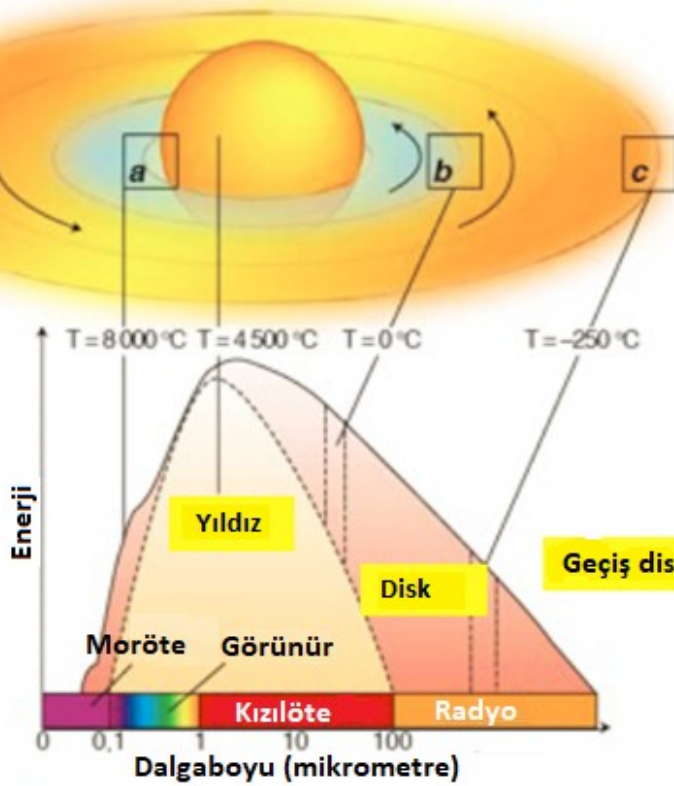
# Öngezegen Disklerinin Gözlemleri

- ✓ Diskin sıcaklığı yıldızın yakınından dışına doğru ciddi miktarda değişim gösterir.
- ✓ Bu değişim nedeniyle diskin ışınımı geniş bir dalgaboyu aralığını kapsar. İç kısmı kısa dalgaboylarında ışınım yaparken, dışta kalan soğuk kısmı daha uzun dalgaboyunda ışır.
- ✓ Bu nedenle öngezegen disklerinin gözlenebilmesi için geniş bir dalgaboyu aralığını kapsamak üzere yerden ve uzaydan gözlem yapan farklı teleskoplar kullanılır.
- ✓ IRAS (kızılöte), mm interferometrik teleskopları, yakın kızılöte adaptif optik görüntüleri (VLT), Hubble Uzay Teleskobu (HST), Yakın ve Orta Kızılöte (NIR ve MIR) uzay teleskopları (Spitzer ve Herschel)

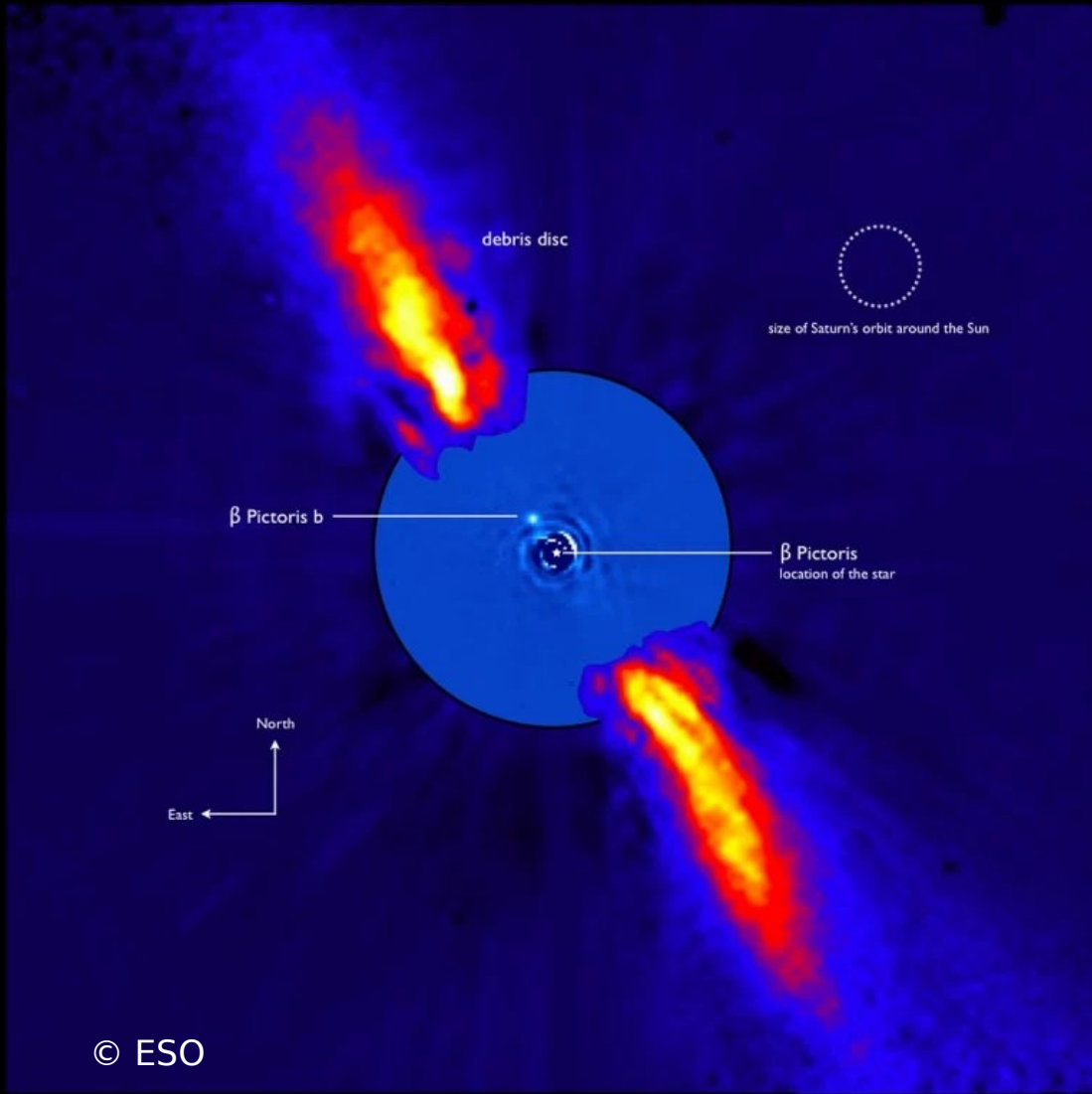




# Tayfsal Enerji Dağılımı (SED)



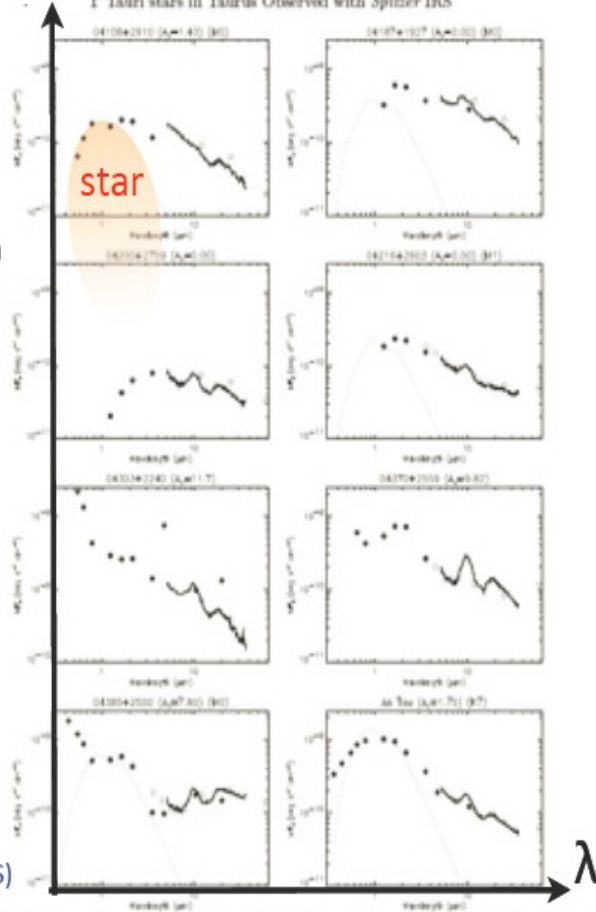
- ✓ Her bir dalgaboyu aralığında yapılan gözlemler, farklı sıcaklıklardaki bölgeler gözlemlendiği için, diskin farklı bölgeleri hakkında bilgi verir.
- ✓ Kısa dalgaboyundaki (Morötesi, ultraviole, UV) gözlemler yıldızı çevreleyen yoğunluğu düşük sıcak gaz; görünür bölge (visible, V) ve yakın kızılöte (near infrared, NIR) yıldız; orta, uzak kızılöte (mid & far infrared, MIR) mikrodalga ve radyo bölge gözlemleri içten dışa doğru disktaki gaz ve toz hakkında bilgi verir.
- ✓ Böylece eğer kızılötede ışınım almayı beklediğiniz bir bölgeden ışınım alamıyorsanız diskin evrimleştiği ve yıldızın kuvvetli ışınım basıncı ile o bölgeyi boşalttığı sonucu çıkarılabilir (geçiş diski ing. transitional disk).



**$\beta$  Pictoris sisteminin kompozit görüntüsü.** En dışta sarı-kırmızı renklere gördüğünüz ESO 3.6 m teleskobuna bağlı ADONIS ile gözlenen diskten yansıyan ışık, VLT'ye bağlı NACO ile  $3.6 \mu$ 'da gözlenen iç bölgede ise sisteme bağlı, yıldızından 1000 kat sönük gezegen görünüyor. Yıldız görüntüden görüntü işleme sırasında çıkarılmış durumda ve sağ üstte Satürn'ün Güneş etrafındaki yörüngesi de ölçek olarak verilmiş.

Akı

T Tauri stars in Taurus Observed with Spitzer IRS

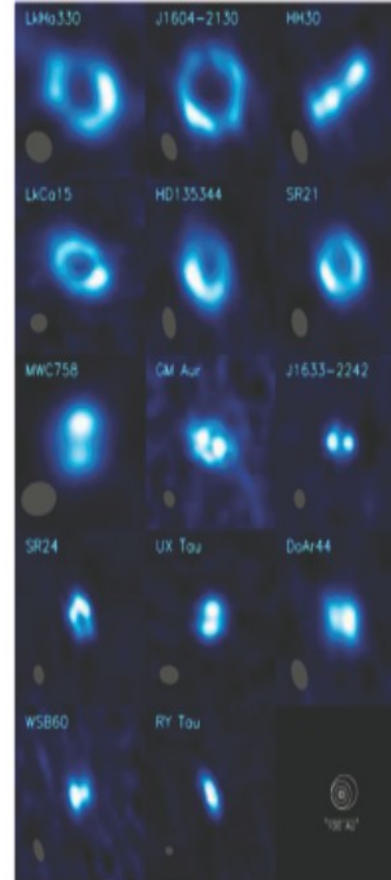


Taurus'taki bazı  
T Tauri Yıldızlarının  
Spitzer gözlemleri

IRS (5 - 36  $\mu\text{m}$ )

Kızılöte Artığı

(Furlan et al. 2006, ApJS)



Ortasında boşluk  
olan disklerin  
milimetre altı  
gözlemleri

SMA ve CARMA  
İnterferometreleri

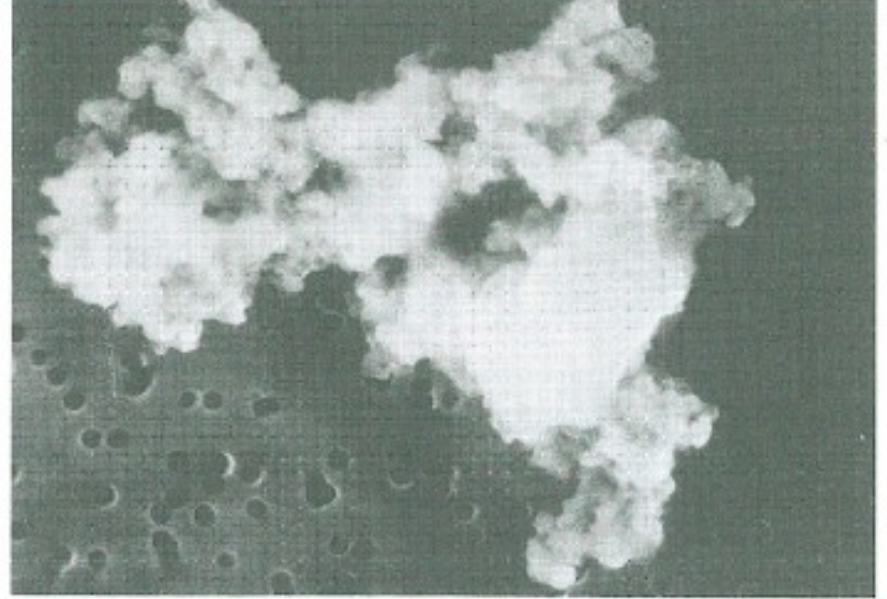
Görüntüleme

William & Cieza (2011, ArA&A)

# Disk Kompozisyonu:

## Toz

- ✓ Donukluğun (opasite) ana kaynağı tozdur.
- ✓ Gezegenlerin oluştuğu ham madde kaynağının önemli bir bölümü tozdur.
- ✓ Temelde silikatlar, grafit ve buz parçaları tozu oluřturur.
- ✓ Toz parçacıklarının cm büyüklüğüne ulaşabildiğine dair gözlemsel kanıtlar: tozun IR ışınımı (yüzeyde  $\mu\text{m}$  boyutunda parçacıklar), SED'in milimetre altı bölgedeki eğimi (dış bölgelerde mm-cm boyutunda parçacıklar) !
- ✓ Kütlenin sadece %1'idir!





# Disk Kompozisyonu:

## Gaz

- ✓ Toplam kütlenin %99'unu teşkil eder (%80 H, %20 He)
- ✓ Disk soğuk olduğu için gazın yapısı molekülerdir. Ancak  $H_2$  'yi tespit etmek oldukça güçtür.
- ✓ Diskteki CO'yu (kütlece  $< \%1$ ) tespit etmek mümkündür. Çünkü dönme kaynaklı (rotasyonel) geçişleri milimetre altında gözlenebilir!
- ✓ Ancak bu gözlemlerle ölçülen CO miktarı gerçektekinin ancak 1/100'i kadardır. Kalan CO biraz daha dışarıda tozun içerisinde donmuş haldedir ( $T < 20$  K).



İçten dışa: genç yıldız, gaz, toz ve buz parçacıkları

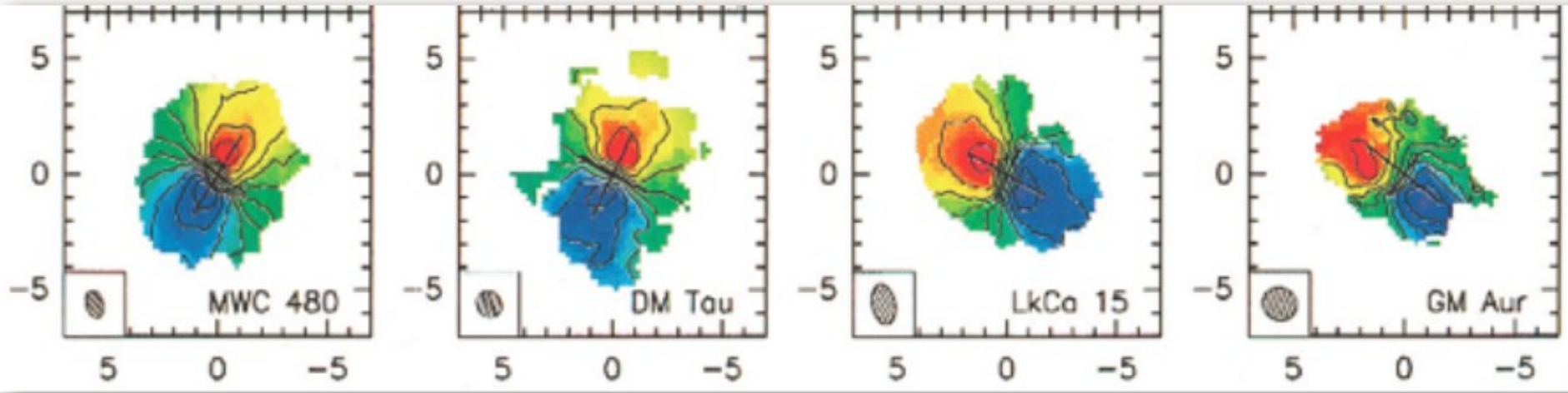
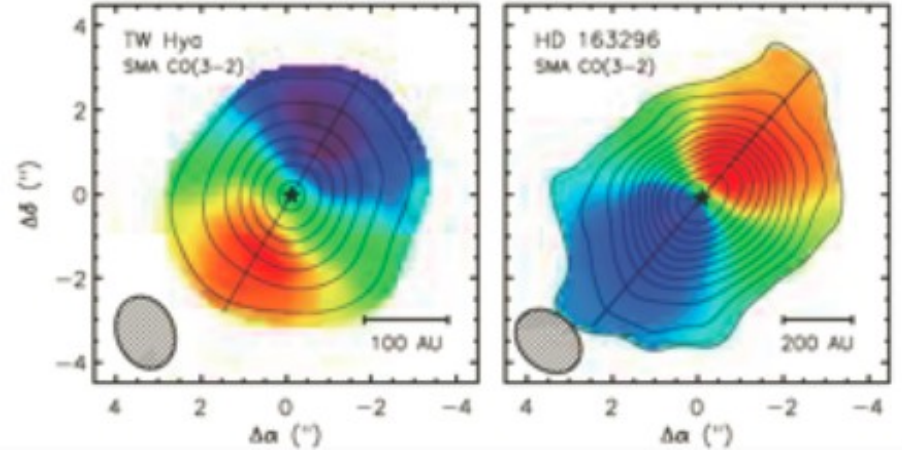
**Gaz, büyük ölçüde molekül formunda ve diskin yıldızın yakın sıcak bölgelerinde bulunur!**

# Disk Kinematığı

CO çizgilerinin Doppler kaymalarından ölçülen hızlar,

1. Disklerin Kepler yasalarına uygun bir şekilde döndüğünü göstermekte,
2. Bu durum, merkezdeki yıldızın kütesinin tahmin edilebilmesini sağlamaktadır.

(Williams & Cieza 2011, ARA&A)

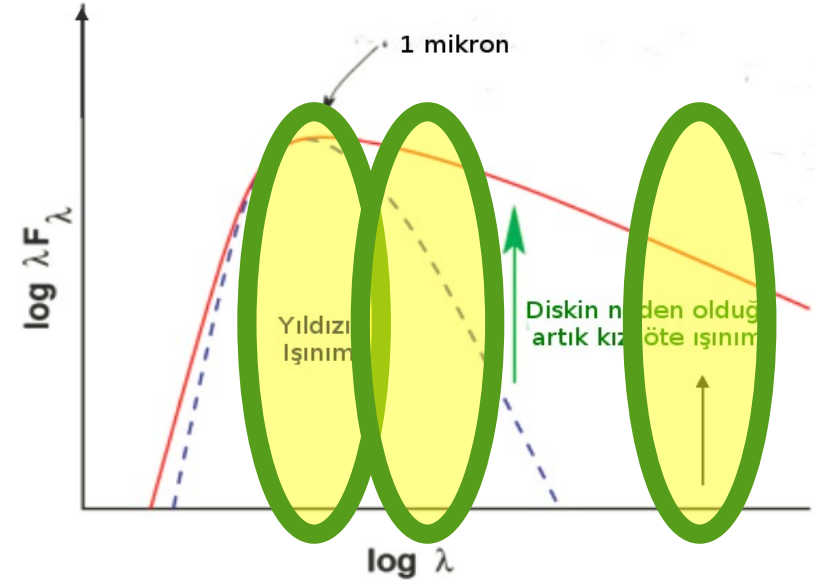


**Şekil.** Genç yıldızların etrafındaki gazın Doppler kayması ölçümleri. Kırmızı gözlemciden uzaklaşan, mavi yaklaşan gazı göstermektedir.

# Yıldızların Ne Kadarında Disk Gözleniyor?

✓ J, H, K, L ve M bantlarında (1-5  $\mu\text{m}$ ) IR artışı → **IRAS, Spitzer ve Yer tabanlı gözlemler.**

✓ Yıldızın da burada ışınımı olduğu için yıldızın katkısının ve yıldızlararası ortamdan gelen kızarmanın da gözlemlerden çıkarılması gerekir.

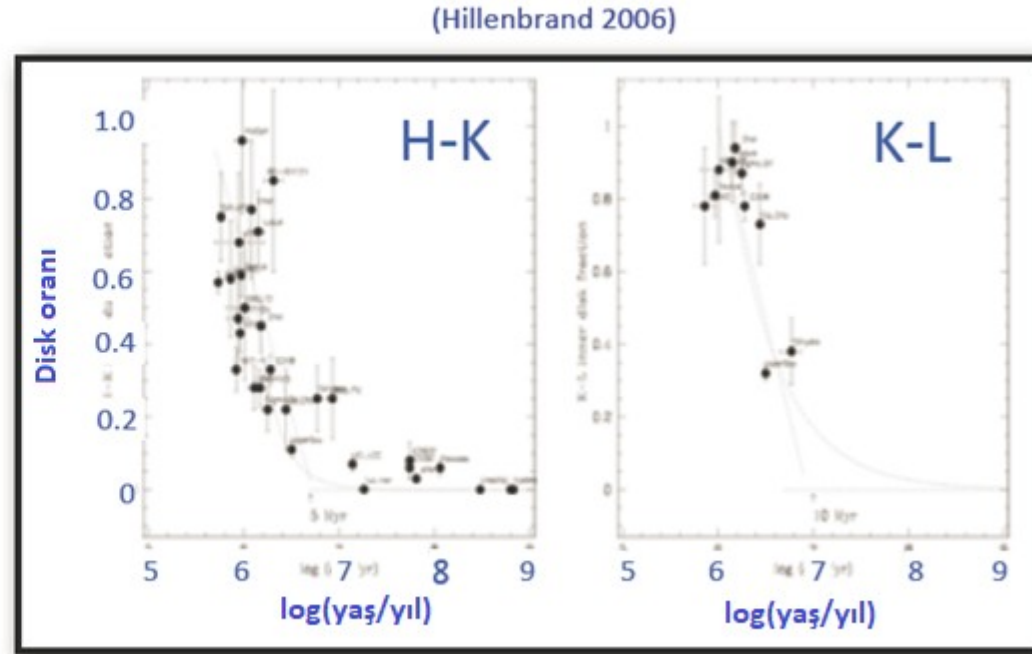
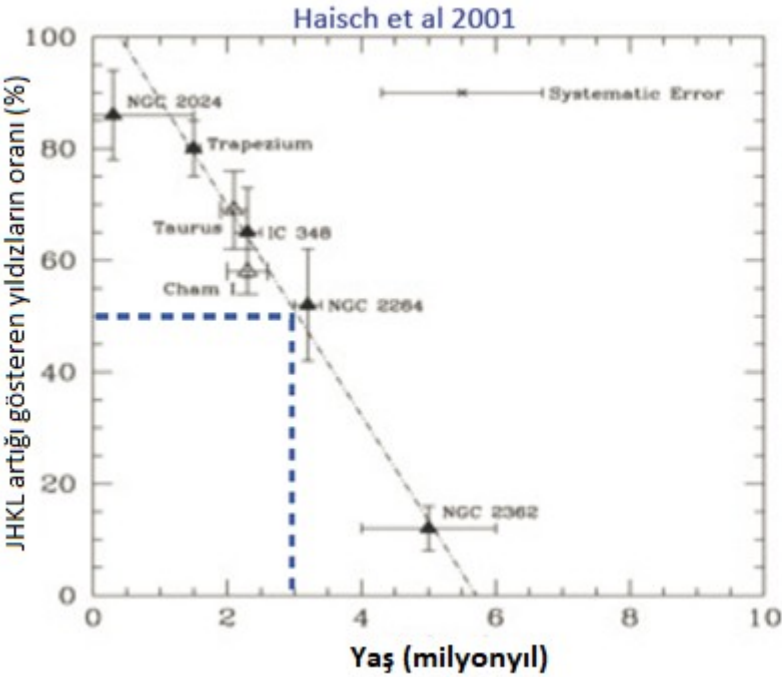


✓ Kırmızı ötenin orta bölgesinde (mid-IR) yapılan gözlemlerde yıldızdan daha uzak bir bölge (0.1 - 20 AB) çalışılır → **Spitzer ve Herschel**

✓ mm - altı sürekliliği (submm continuum) gözlemleri ise yıldızdan 50 - 100 AB uzakta bir bölgenin çalışılmasını sağlar → **mm-altı ve radyo gözlemleri (yer tabanlı gözlemler, ALMA)**

# Disk'in Yaşam Süresi

- ✓ Diskli yıldızların tüm yıldızlara oranını ve yaşam sürelerini saptamak için yıldız kümeleriyle çalışılır. Zira kümenin yaşı saptandıktan sonra, tüm yıldızların aşağı-yukarı aynı anda olduğu (aynı yaşta oldukları) varsayılabilir.
- ✓ Böyle iki çalışma ilk 10 milyon yılın sonunda diskli yıldızların tüm yıldızlara oranının %80'den %10'a düştüğünü gösteriyor.



Çeşitli yıldız kümeleri için (her bir nokta bir yıldız kümesidir) yaşa (log(age)) karşılık, JHKL artığı gösteren yıldızların yüzdesi

Çeşitli yıldız kümeleri için yaşa (log(age)) karşılık, diskli yıldız yüzdesi

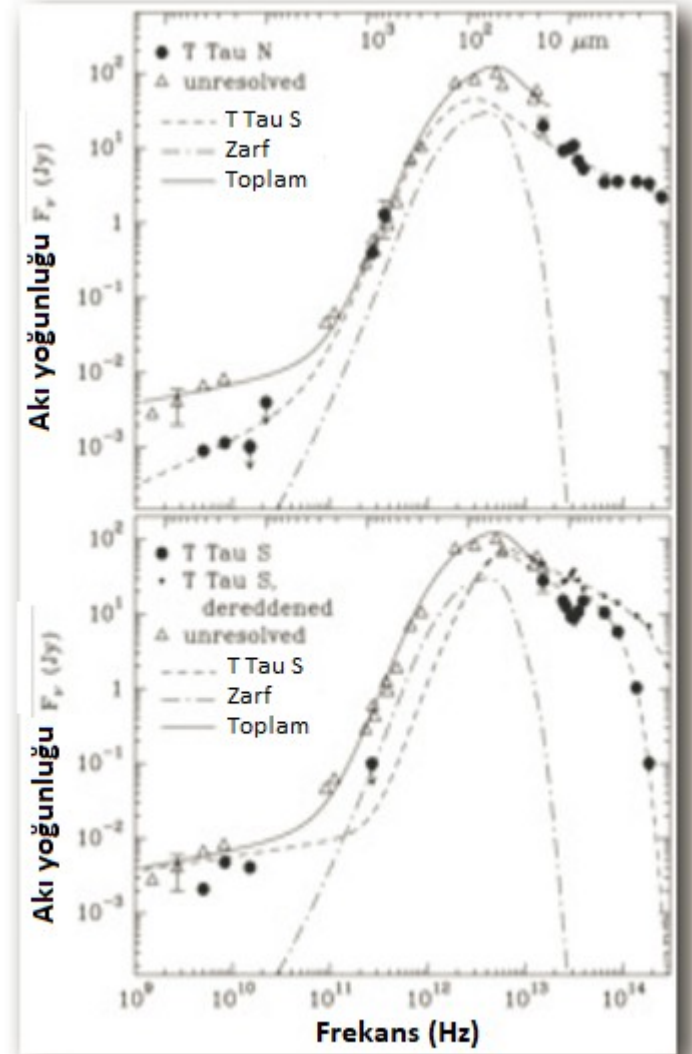


# Disk Yapısı

Disk'in yapısını çalışmak için öncelikle olası tüm yer ve uzay tabanlı teleskopları kullanarak mümkün olan en geniş dalgaboyu aralığında (yandaki şekilde frekans!) akı ölçümleri yapmak gerekir.

Yandaki grafiğin elde edilebilmesi için;

- ✓ Yer tabanlı optik ve kızılötesi teleskoplar (kızarmadan arındırılmış veri)
- ✓ Kızılöte uzay teleskopları (IRAS, ISO, Spitzer, Herschel)
- ✓ Milimetre altı teleskopları
- ✓ Radyo teleskoplardan gelen gözlemsel veriler kullanılmıştır.

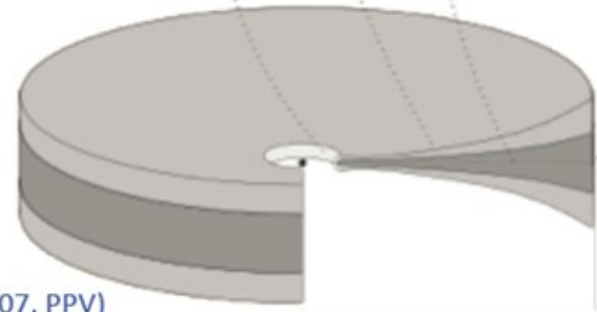
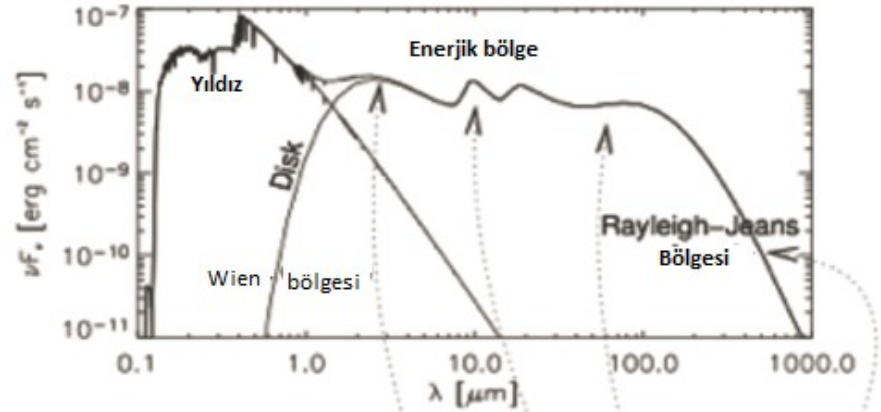
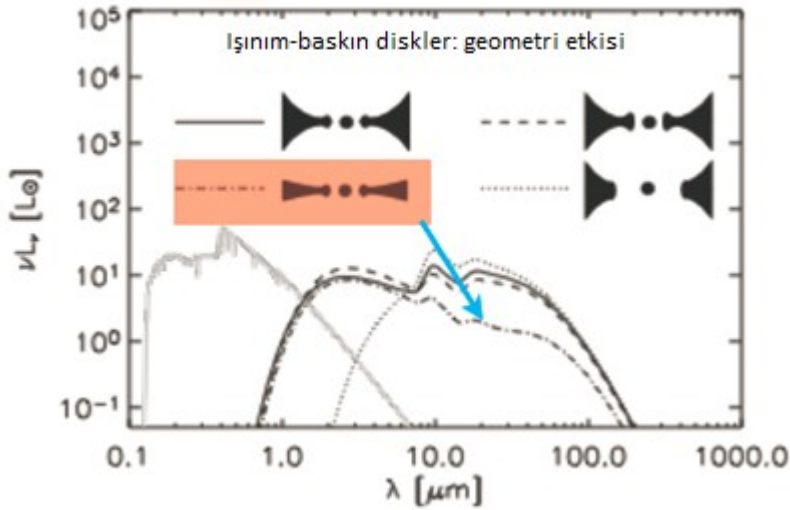


(Hogerheijde et al. 1997, APJ)

# Disk Yapısı

Daha sonra diskin 3D (3 boyutlu) tam bir modelini çıkarmak mümkün olur.

Aşağıdaki şekilde farklı geometrilerle elde edilen modellerin ne kadar farklı olduğu görülmektedir. Hangi modelin gözlemleri desteklediğine bakılıp, disk yapısı böylece belirlenebilmektedir.

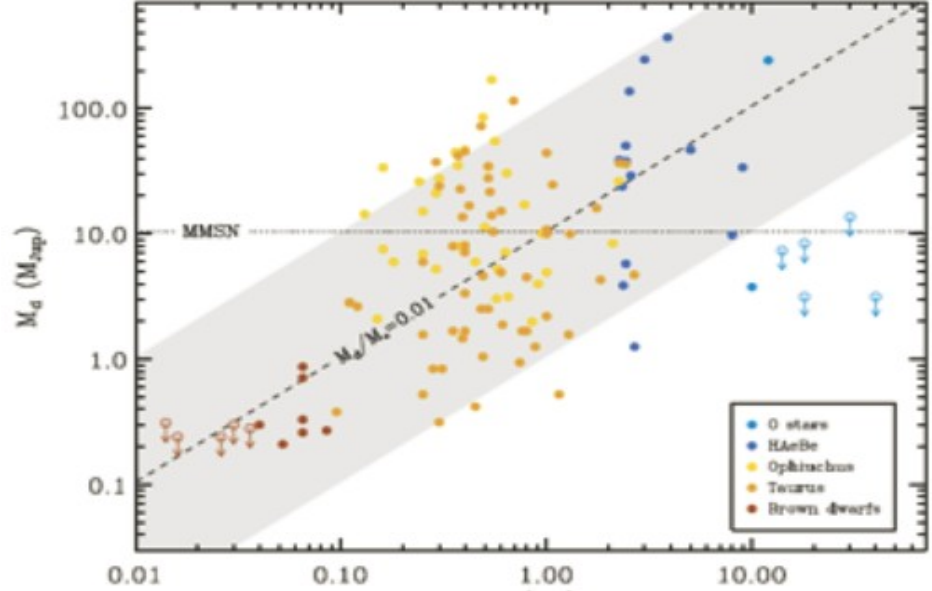
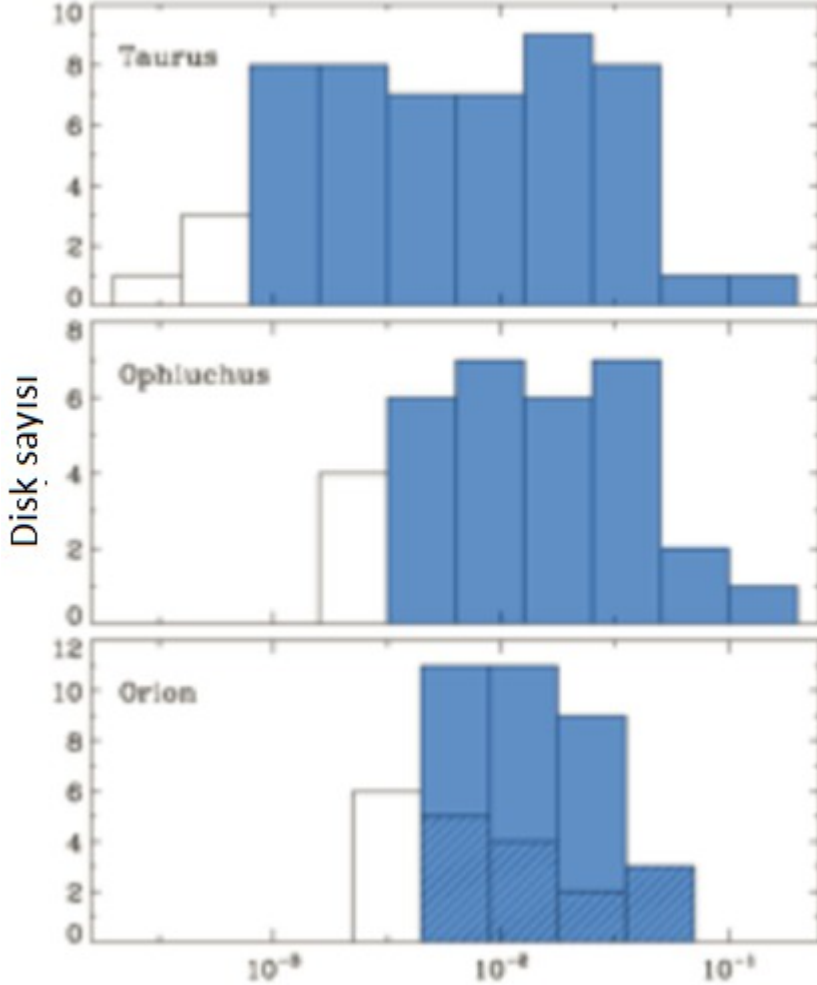


(Dullemond et al. 2007, PPV)

# Disk Kütlesi

Williams & Cieza (2011)

↓0.01M<sub>☉</sub>



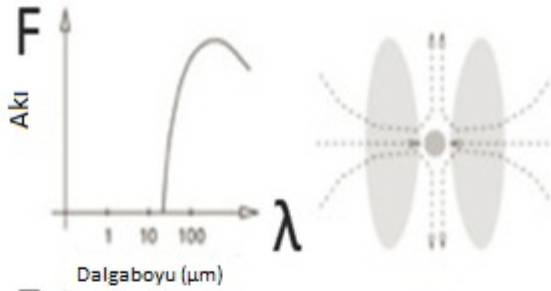
Merkezi yıldızın kütlesi (M<sub>\*</sub>) - Disk kütlesi (M<sub>d</sub>) grafiği

Açık ki merkezi cismin kütlesi ile disk kütlesi arasındaki ilişki kahverengi cüceler için disk içinde oluşmalarından dolayı en kuvvetliken, O tayf türünden yıldızlar için kuvvetli ışınım basınçları ve rüzgarlarıyla diski çabuk dağıttıklarından en zayıftır.

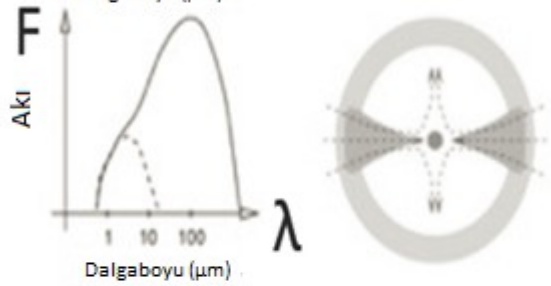
**Ancak genel olarak merkezi cismin kütlesi ne kadar büyükse etrafındaki diskin kütlesi de o kadar büyüktür!**

3 farklı yıldız oluşum bölgesi için  
100 M<sub>disk</sub> kütle cinsinden kütle dağılım histogramı  
Kütle aralığı 0.001 – 0.3 M<sub>güneş</sub>

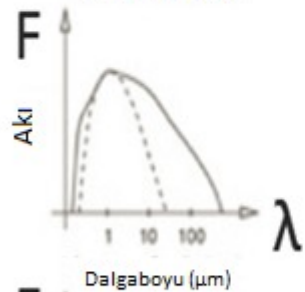
# Disk Kütlesinin Evrimi



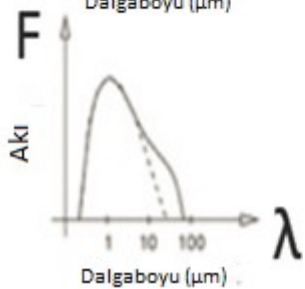
Sınıf-0



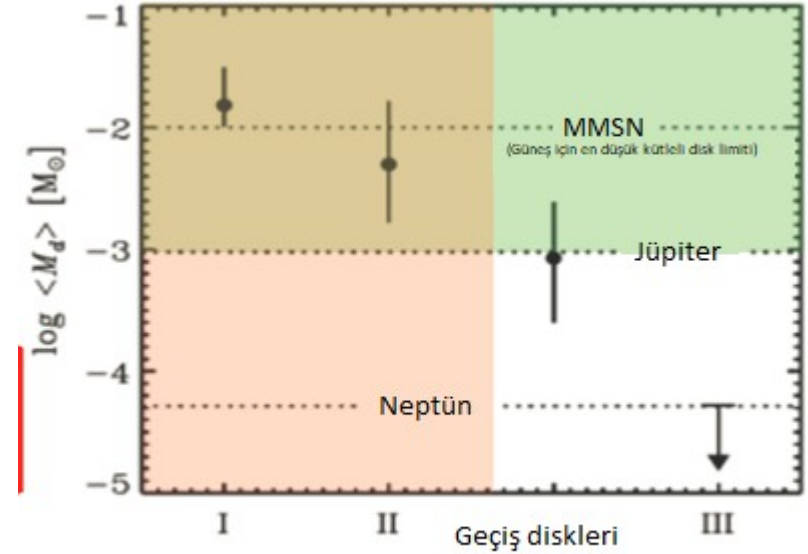
Sınıf-I



Sınıf-II



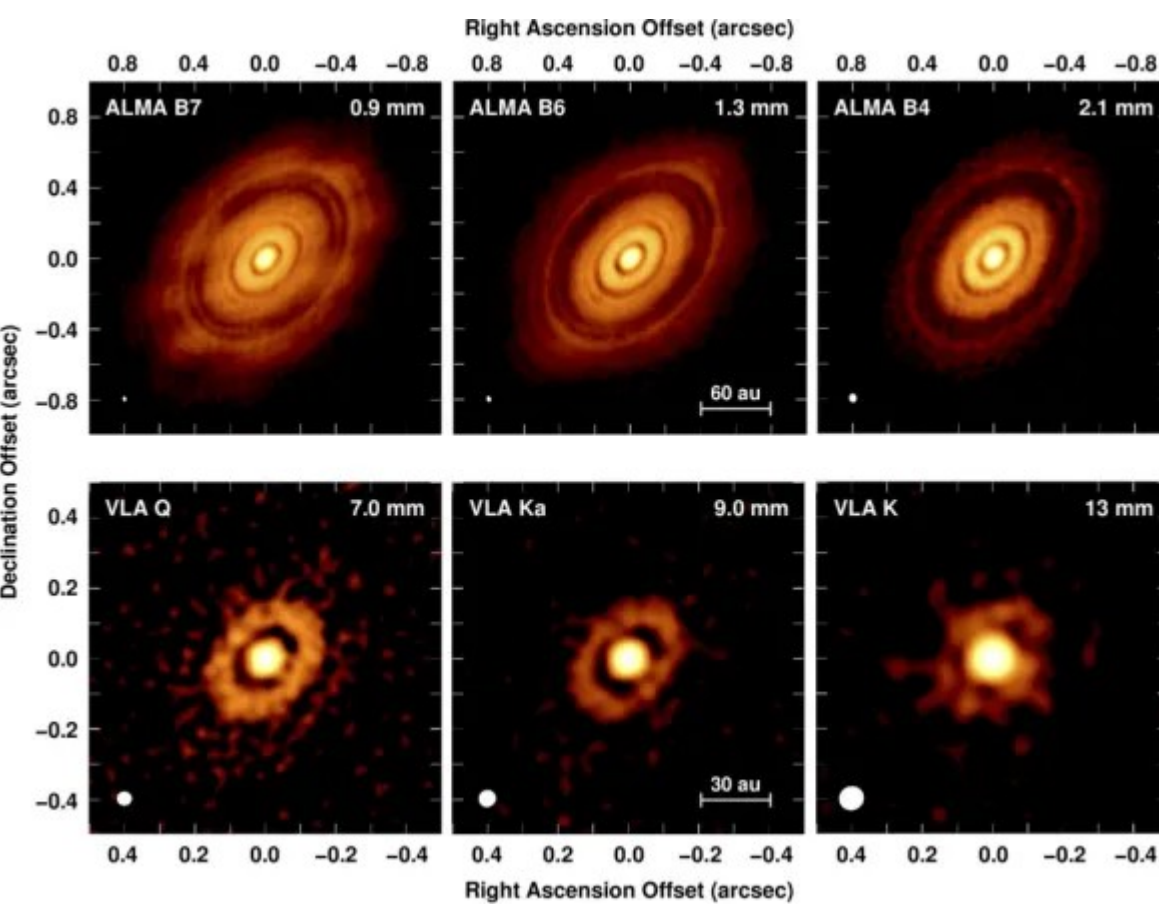
Sınıf-III



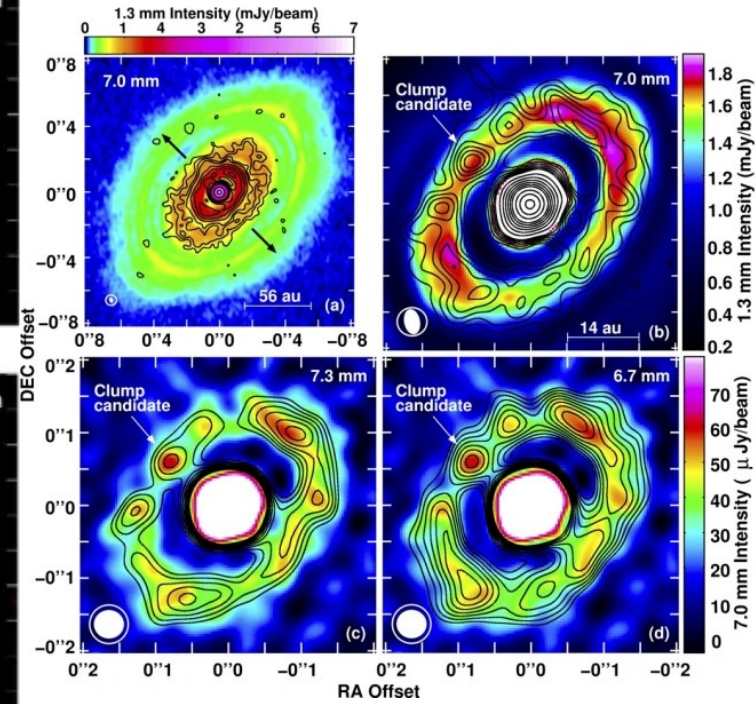
(Williams & Cieza 2011, ARA&A)

Jüpiter kütlelerinde bir gezegen ancak disk yeterince kütleye sahipken (içi boşaltılıp bir geçiş diskine (transition disk) dönüşmeden önce) oluşabilir. Burada şu soru akla gelebilir: Acaba diskin içini boşaltan burada oluşmuş olan bir gezegen olabilir mi? Diskin iç bölgesinin boşalması için geçen süre ile gaz gezegenlerin oluşum zaman ölçeklerinin benzer olması bu düşüncüyü destekler.



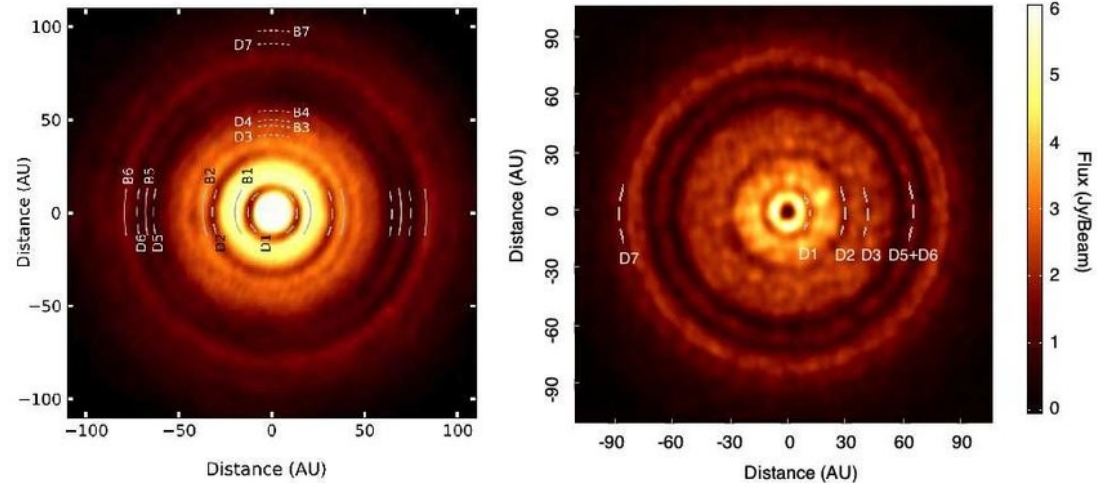


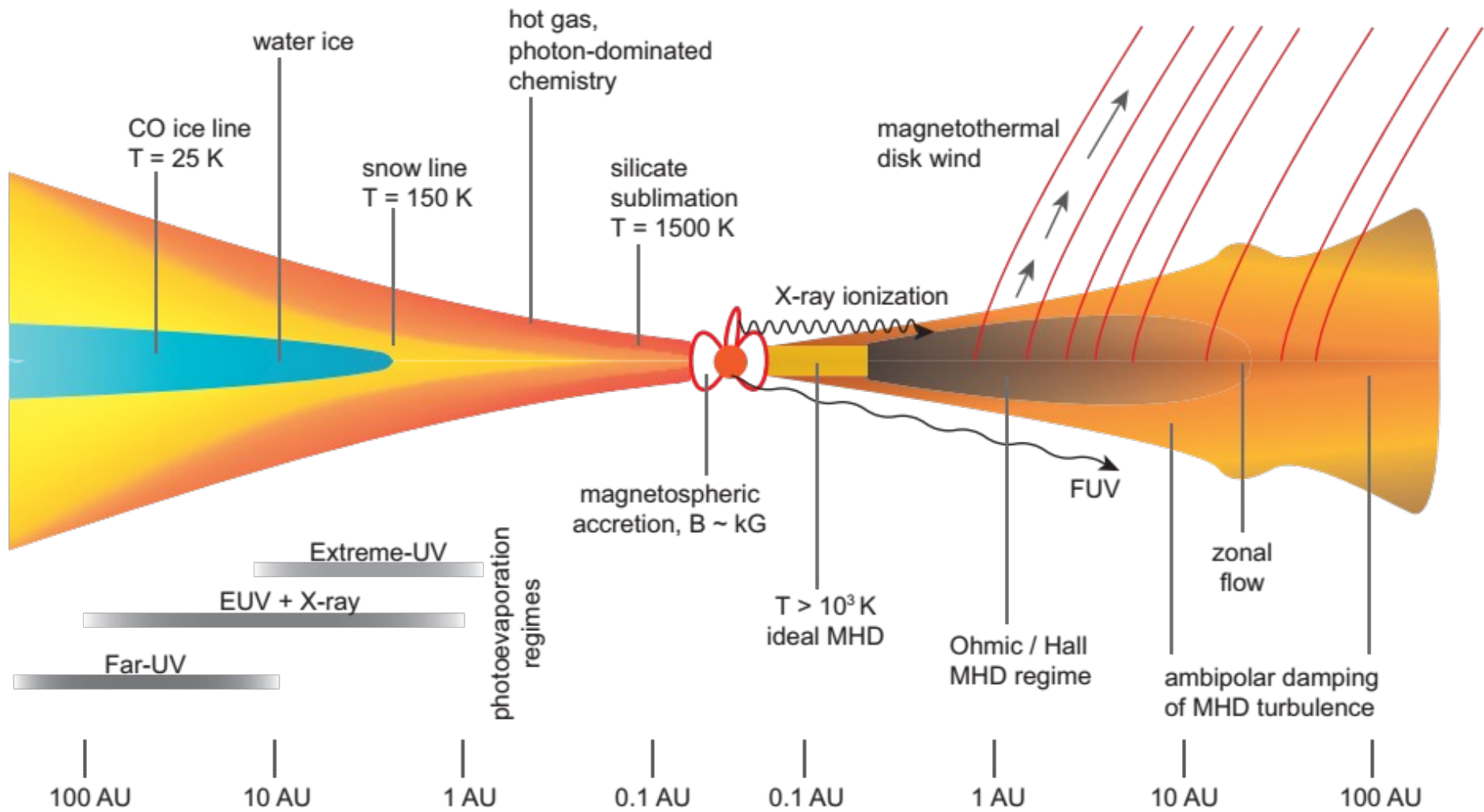
Carrasco-Gonzalez et al. (2016)



HL Tau'nun ESO ALMA dizgesiyle elde edilen görüntüleri gezegenlerin disklerde ne şekilde oluştuğuna ilişkin önemli ipuçları vermektedir.

Tabeshian & Wiegert (2018)





Armitage (2018)