

Bölüm 2

Anakol Sonrası Evrim

2.1 HR Diyagramı ve Anakol

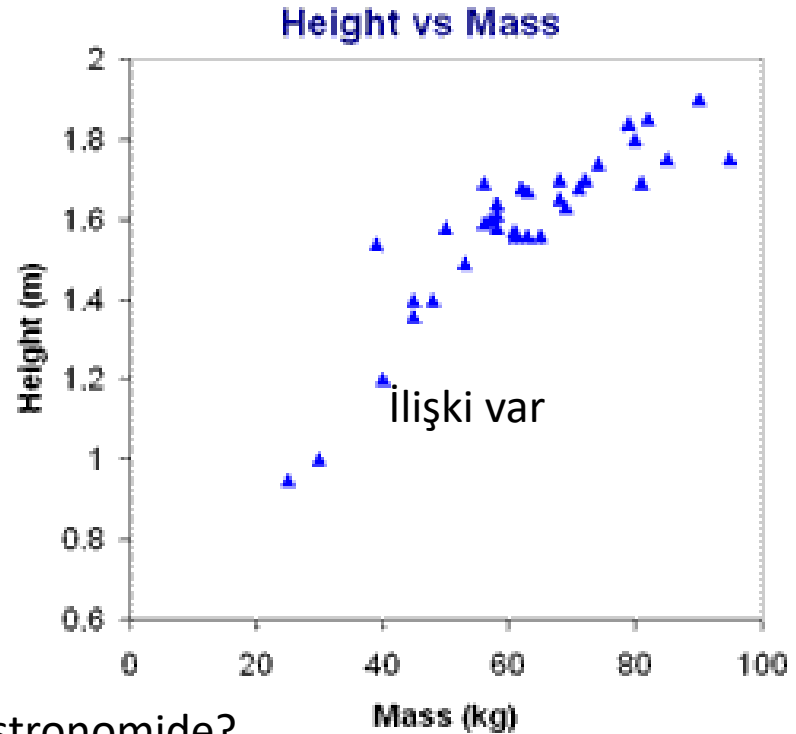
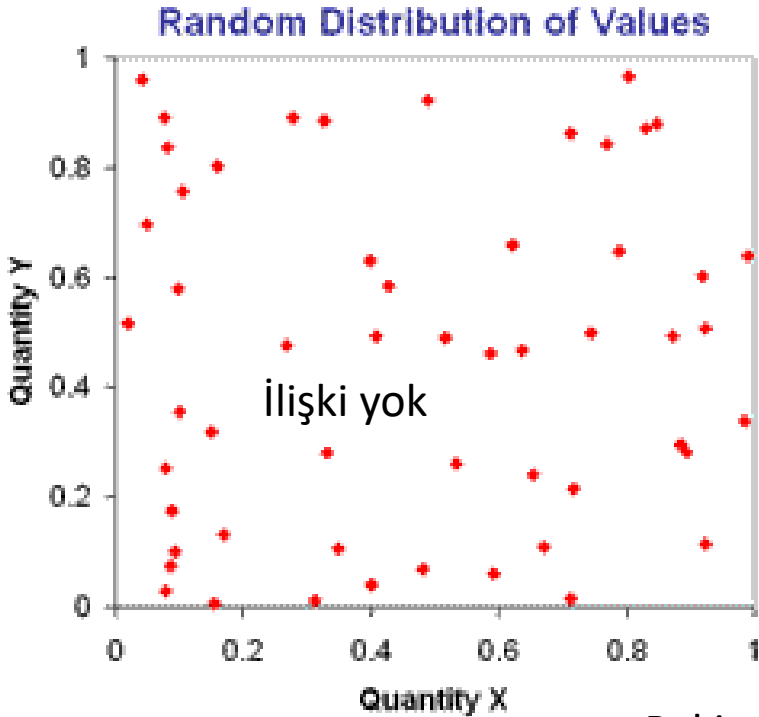
2.2 Alt devler kolu, Kırmızı devler kolu, Yatay kol

2.3 Asimptotik devler kolu

2.4 Gezegenimsi bulutsular

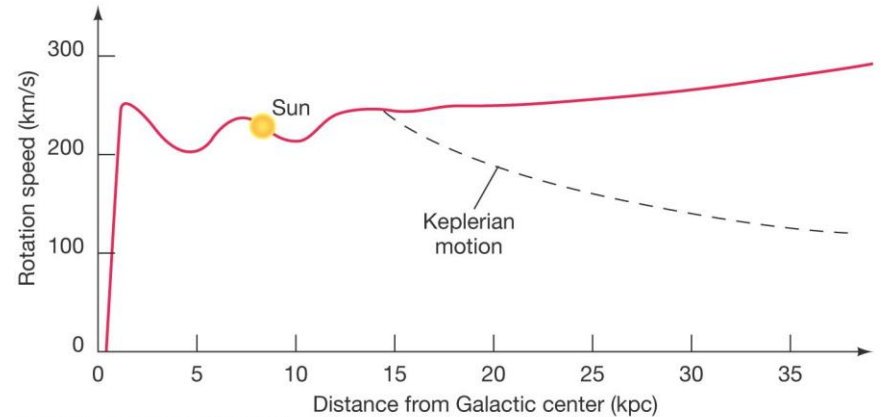
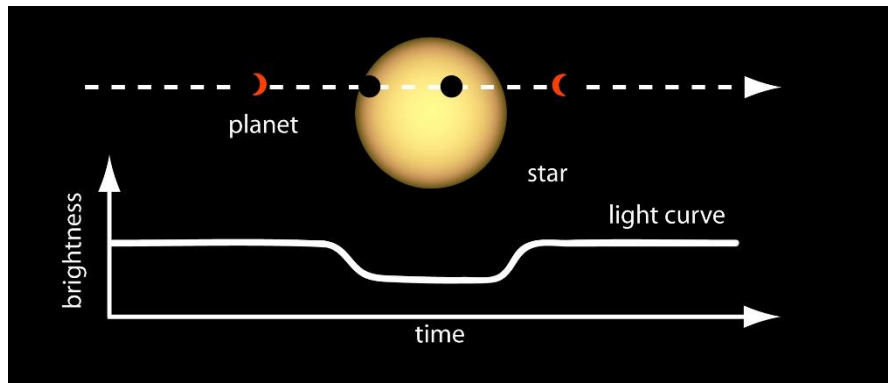
2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Giriş

Bir veri setini grafiğe dökmek ve böylece o verileri anlamlandırmak ve aralarında var olan yada olmayan ilişkiyi görmek bilim dünyasında yaygın olarak kullanılan önemli araçlardan biridir.

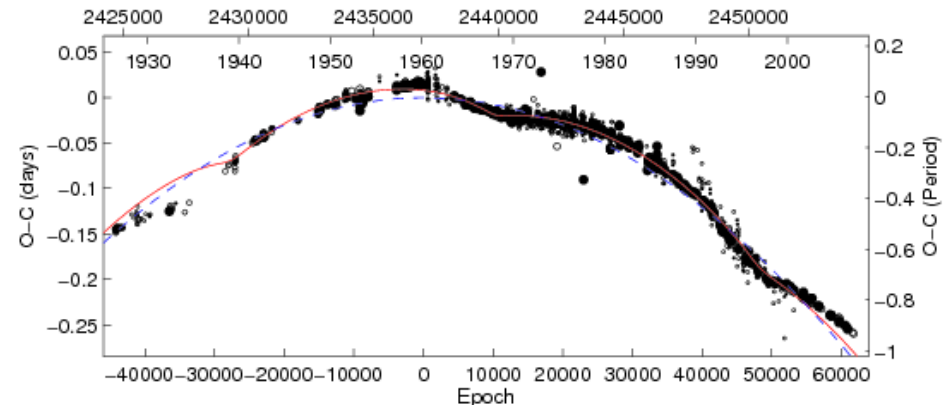
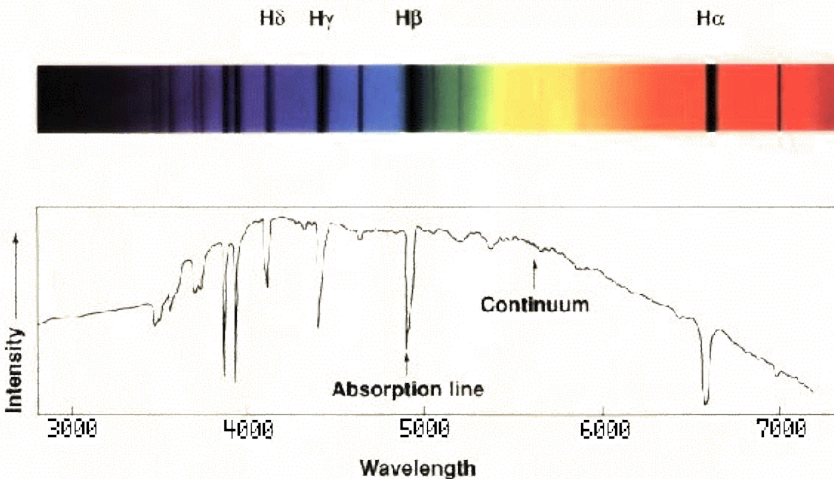


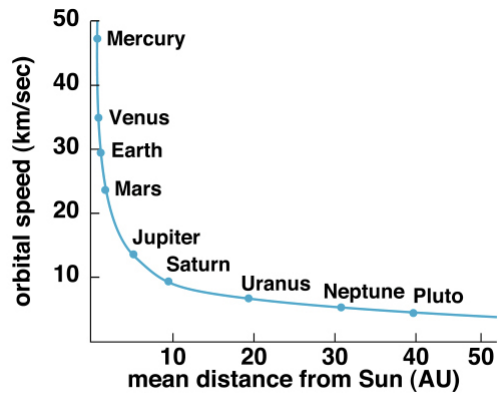
2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Giriş

Astronomide kullanılan bir çok grafik mevcut!

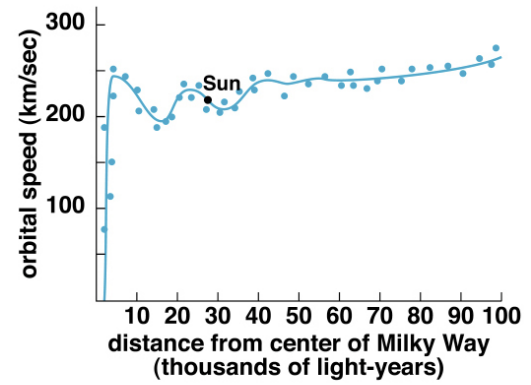


Copyright © 2008 Pearson Education, Inc., publishing as Pearson Addison-Wesley

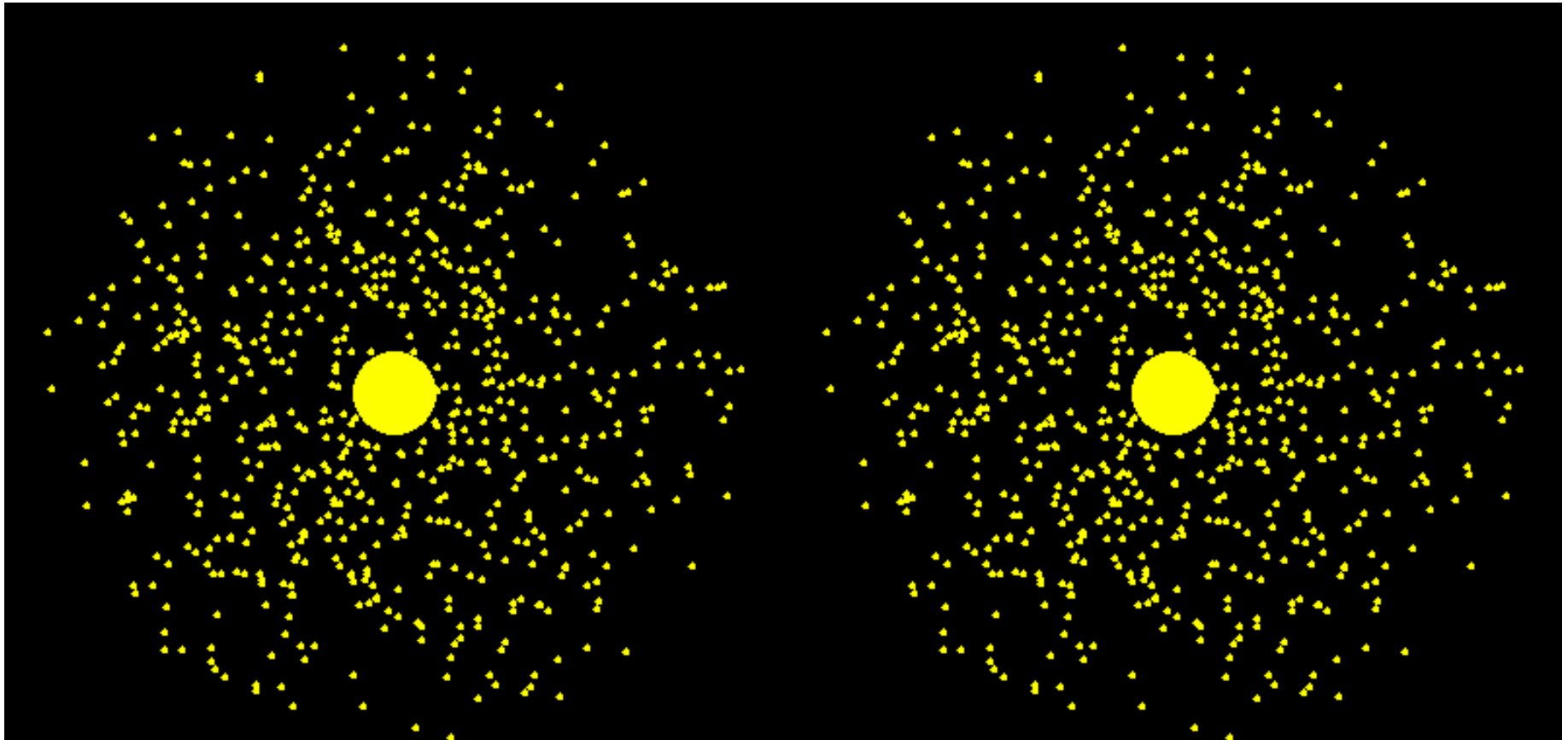




(b)
Copyright © Addison Wesley



(c)
Copyright © Addison Wesley



Ek notlar:

- Bir gökadanın dönme hızı tayf çizgilerindeki Doppler kaymasından bulunabilir. Uzaklığını hesaba katarak Newton/Kepler kanunlarından gökadanın kütlesini hesaplayabiliriz. Hatta, hidrojenin 21 cm (radyo) ışınımındaki Doppler kaymasını kullanarak gökadanın merkezinden dışına doğru kütlenin nasıl değiştiğini haritalamamız mümkündür.
- Hızı Doppler'den ölçtük, uzaklık da biliniyorsa, dönem bulunur: $v=(2\pi r/P)$. Dönem ve uzaklık biliniyorsa kütle bulunur: Kepler'in 3. kanunu.
- Bu hesaplamaları grafiğe aktardığımızda yıldızların galaktik merkez etrafındaki dolanma hızlarının soldaki şekilde olduğu gibi merkezden uzaklaştıkça azalmadığını, hangi uzaklıkta olursa olsun sabit hızla döndüklerini görüyoruz.
- Eğer kütle normal maddeden ileri geliyor olsaydı, tıpkı Güneş Sistemi'ndeki gezegenlerde olduğu gibi dolanma hızı merkezden dışarı doğru gidildikçe azalmalıydı. Burada en büyük kütlenin gökadanın merkezinde olduğunu varsayıyoruz.
- Dolanma eğrisinin yarıçap arttıkça neredeyse düz olması gökadanın dış kısımlarında devasa miktarda görülmeyen karanlık maddenin olduğunu işaret etmektedir.

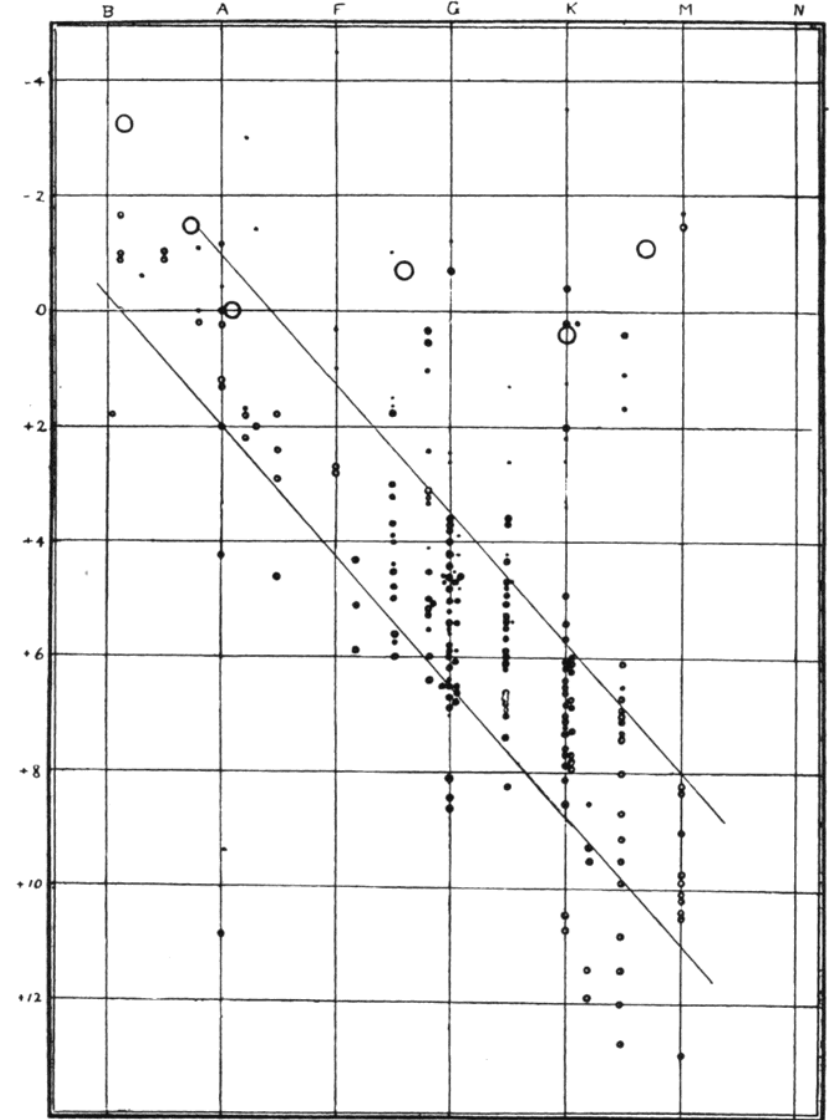
2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Giriş

ve H-R diyagramı!

1911'de Ejnar Hertzsprung (tablo olarak),
1913'de ise Henry Norris Russell (yandaki
şekil),

Sonuç gösteriyordu ki,

- Bir yıldızın sıcaklığı ile ışınım gücü arasındaki ilişki rastgele değil!
- Yıldızlar farklı bölgelerde toplanıyorlar!
- Temel bölgeler dışında bulunan birkaç yıldız var!



Russel, H., Nature, 93, 252 (1914)

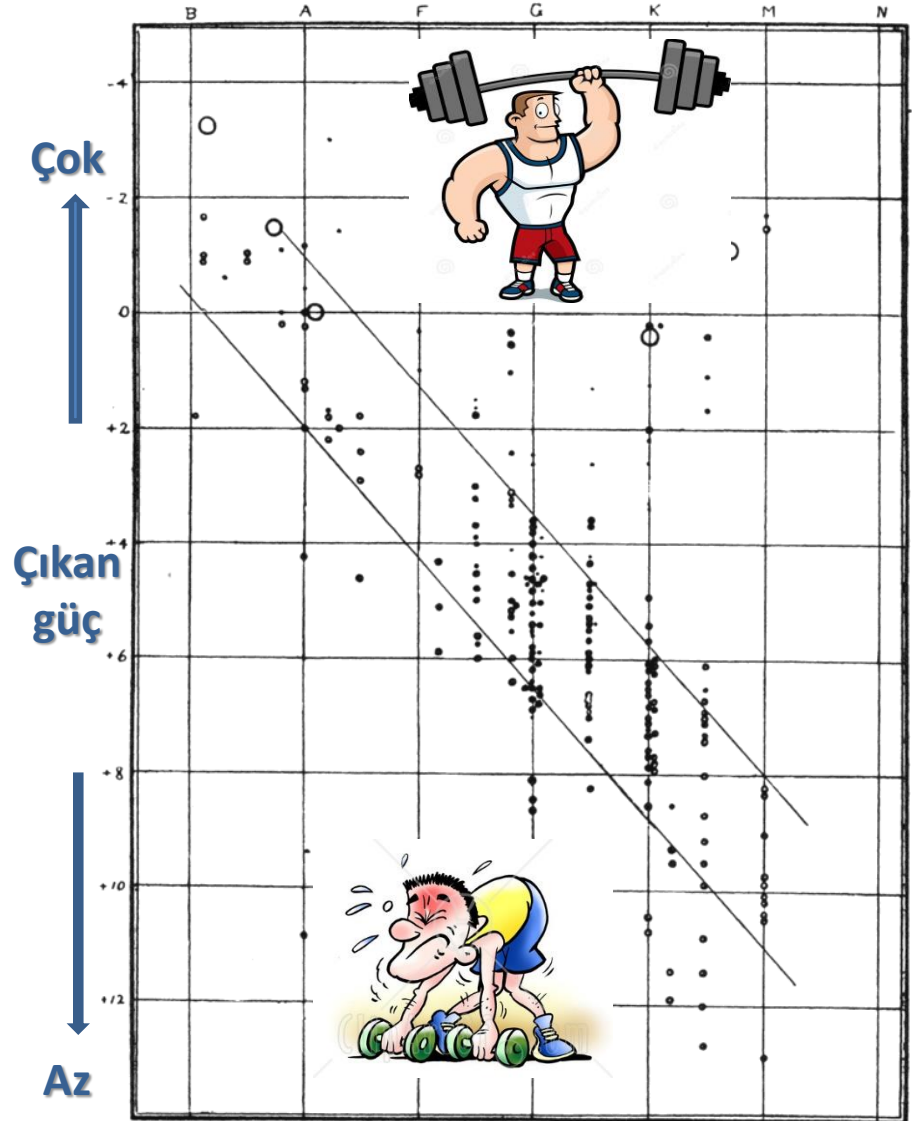
2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: HR Düşey Eksen

Orijinal diyagramda mutlak parlaklık var, fakat bunu yıldızdan çıkan herhangi bir güç ölçümüyle yer değiştirebiliriz. İki olasılık,

Mutlak parlaklık, M_v
Işınım gücü, L , (güneş biriminde)

Güçlü yıldızlar diyagramda nerede bulunur?

Zayıf yıldızlar diyagramda nerede bulunur?



2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: HRD Düşey Eksen

Güneş için $M_V=4.8$ ise,

- Güneş bu diyagramda nerede bulunur?
- Diagramın en üstünde bulunan yıldızların ürettiği ışınım $L_{\text{Güneş}}$ cinsinden nedir?
- Diagramın en altında bulunan yıldızların ürettiği ışınım $L_{\text{Güneş}}$ cinsinden nedir?

Ek Bilgi: Mutlak Parlaklık

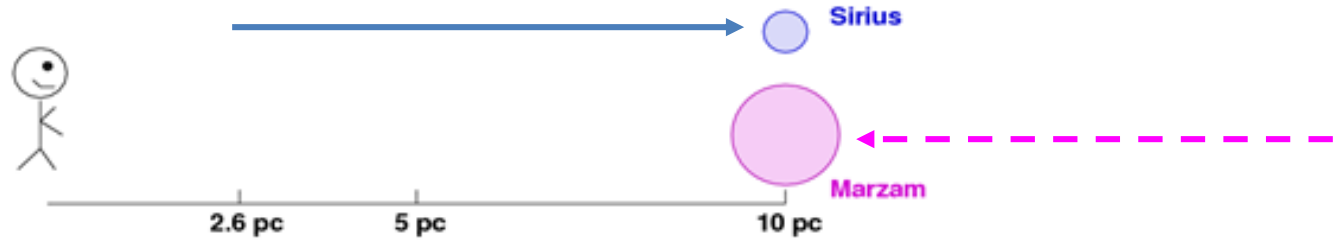
Yıldızların görünen parlaklığı Dünyadan gözlediğimiz parlaklık temelindedir, (yıldız bize ne kadar parlak görünüyor)

Yıldızların mutlak parlaklığı yıldızları aynı uzaklığa koyduğumuzda (10 pc) gözlediğimiz değerlerdir, (yıldız gerçekten ne kadar parlak, yani gerçek değeri ne)

- Sirius: görünen parlaklığı $m = -1.5$
- Mirzam: görünen parlaklığı $m = +2.0$

Ancak bu adil bir kıyaslama değil, neden? Çünkü Sirius (2.6 pc-8.6 IY) Güneşe en yakın yıldızlardan biri iken Mirzam (151 pc-492.7 IY) oldukça uzaktır.

Bu yıldızların ışınım güçleri adil olarak kıyaslamak için, onları bizden aynı uzaklıkta oldukları halde gözlemeliyiz. Bu iki yıldızı güneşten 10 pc uzaklığa getirelim. Buna göre Sirius güneşten uzaklaşacak, yani sönükleşecek, Mirzam ise yaklaşacak yani parlaklaşacak.



- Sirius: mutlak parlaklığı $m = +1.4$ (14 times fainter)
- Mirzam: mutlak parlaklığı $m = -3.9$ (230 times brighter)

Mutlak büyüklük kavramı, oyun alanını eşit hale getirmektir: yani tüm yıldızları aynı mesafeye koyarak, görelî görünen parlaklığın yıldızların görelî ışınım güçlerini tam olarak yansıtmalarını sağlarız. Olması gerektiği gibi, güçlü yıldızlar artık zayıf olanlardan daha parlak görünecektir.

2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: HRD Yatay Eksen

Orijinal diyagramda yatay eksen tayf türü olarak verilmiştir. Bunu diğer iki parametre ile yer değiştirebiliriz,

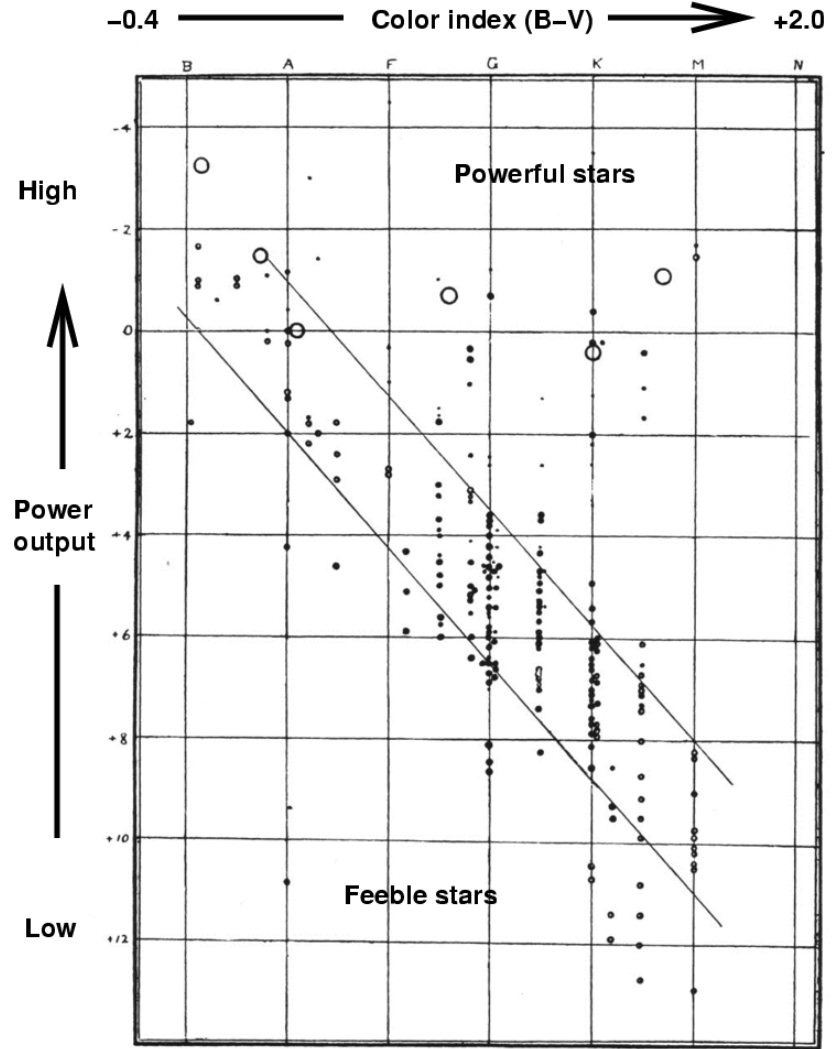
Sıcaklık,
Renk (renk ölçeği),

Sıcak yıldızlar nerede?

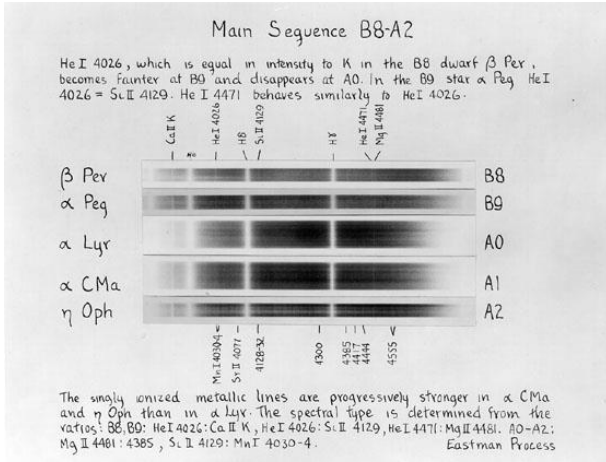
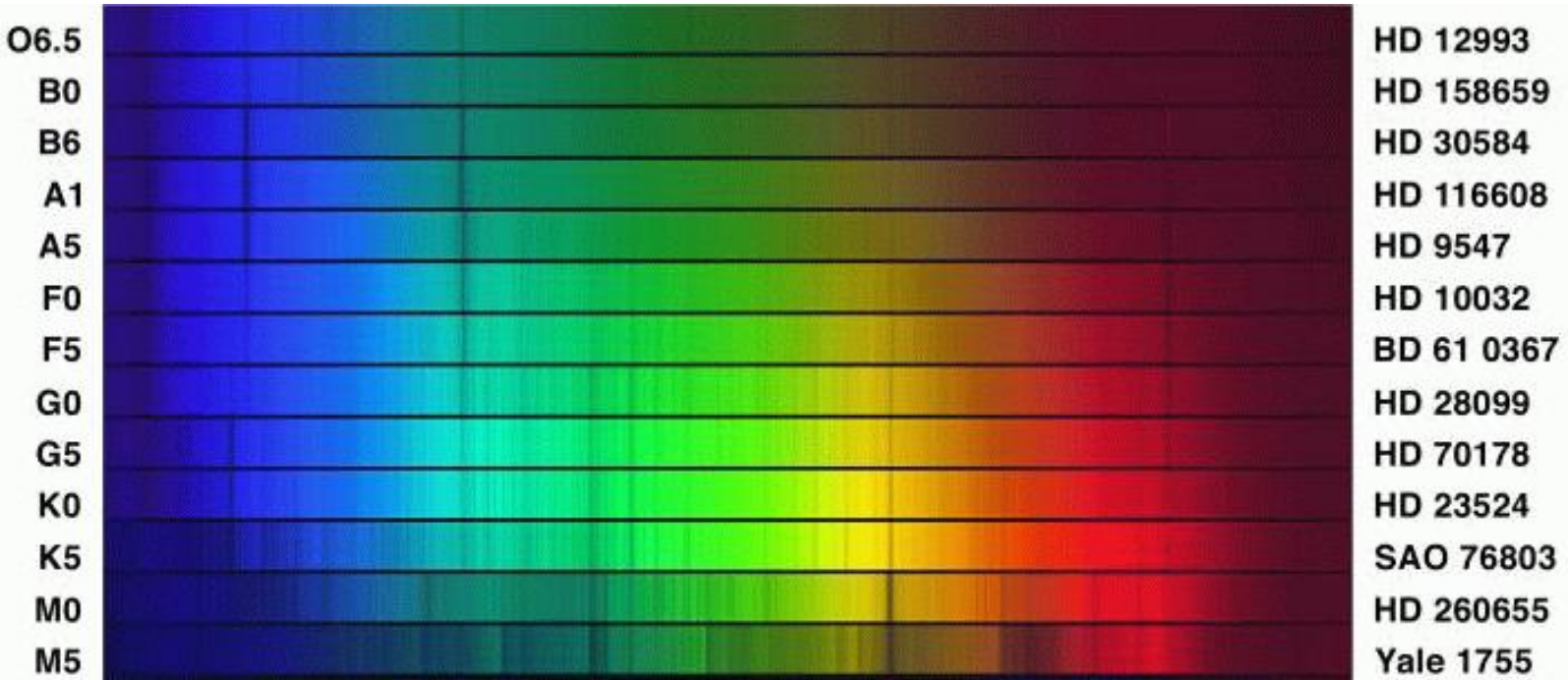
Soğuk yıldızlar nerede?

Mavi yıldızlar nerede?

Kırmızı yıldızlar nerede?



Ek Bilgi: Tayfsal Sınıflama



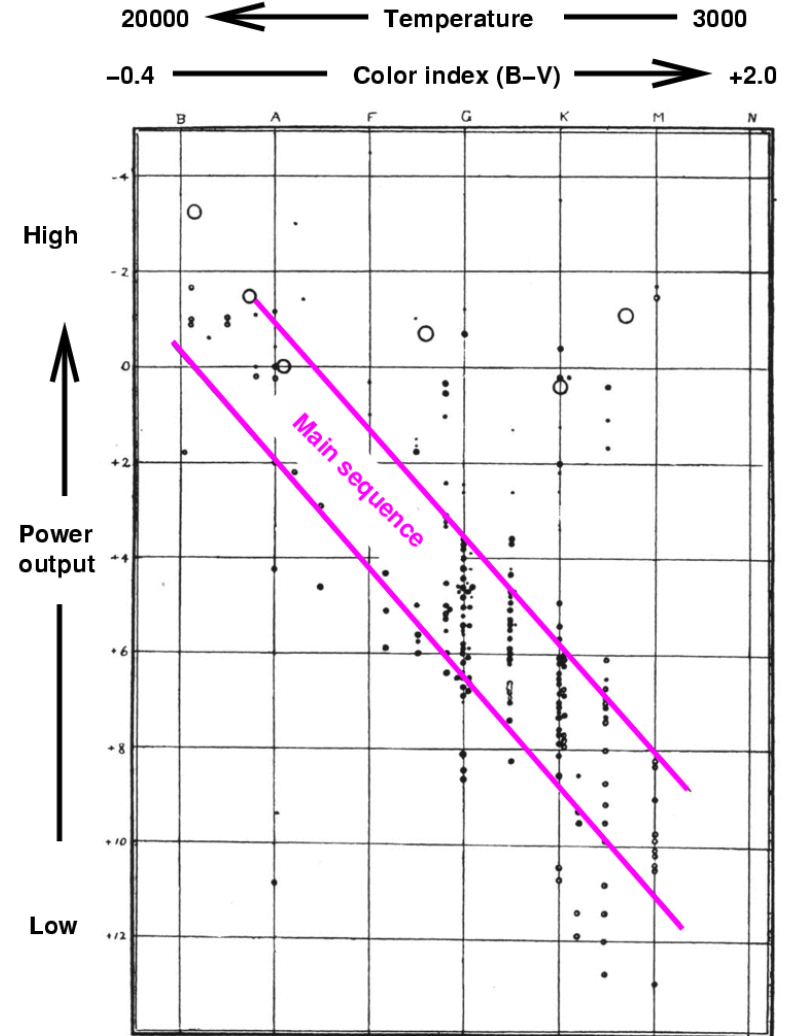
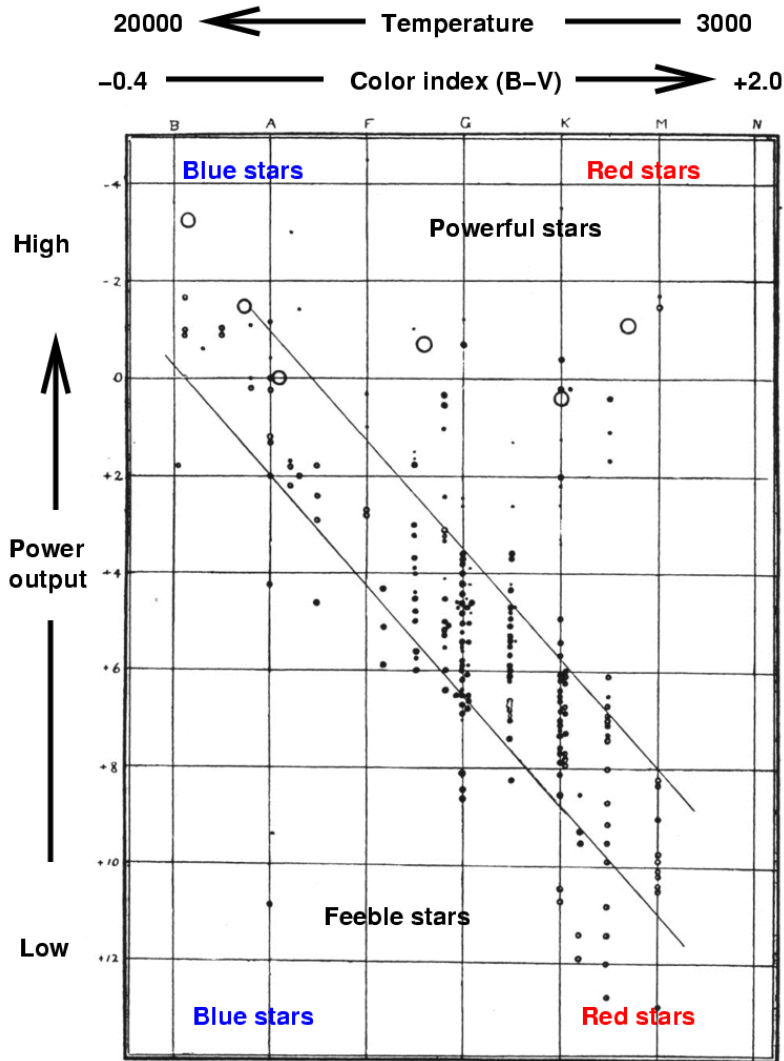
B8 ve B9 için,
He I 4026 - Si II 4129
He I 4026 - Ca II K
He I 4471 - Mg II 4481

A0, A1 ve A2 için,
Mg II 4481 - Mg II 4385
Si II 4129 - Mn I 4030-4

Ek notlar:

- Neden farklı yıldızlar farklı tayf çizgilerine sahiptir? Bu sorunun cevabı yıldızları sınıflamamızda anahtar rol oynamaktadır. O tayf türünden bir yıldız M tayf türünden bir yıldızla karşılaştırsak çok farklı tayf çizgilerine sahip olduğunu görürüz. O tayf türünden yıldız iyonize helyum (He II) dışında zayıf çizgilere sahip olmasına karşın moröte bölgede güçlü sürekliliğe sahiptir.
- Burada anahtar faktör sıcaklıktır. Sıcaklık darken etkin sıcaklığı kastediyoruz (buna bazen yüzey sıcaklığı da denir). Bu sıcaklık ve yıldızla aynı boyuta ve toplam ışınım gücüne sahip olan kara cismin Stefan'ın kanunu ile belirlenen sıcaklığıdır. Tayf çizgilerindeki değişimin birincil sebebi yıldızların dış katmanlarının sıcaklığının değişmesidir. Dolayısıyla, tayf türü sınıflaması büyük oranda bir sıcaklık sıralamasıdır.
- Aslında tayfsal seri tam lineer değildir, yani yalnızca sıcaklığa bağlı değildir: Sıcaklığa nazaran daha az etkili olmakla beraber elektron basıncına da bir bağlılık vardır. O halde diyebiliriz ki tayfsal seri hem T nin hem de P_e nin bir fonksiyonudur. Öyle yıldızlar vardır ki, sürekli tayfları aynıdır, yani aynı sıcaklığa sahiptirler, fakat çizgi tayfları bazı çizgilerin şiddetleri bakımından farklılık gösterirler. Elementlerin elektron basıncına karşı duyarlılıkları az veya çoktur. Örneğin Balmer çizgileri elektron basıncına hassastırlar, P_e sebebiyle meydana gelen bu farklar, ilk Harvard sınıflayıcıları tarafından da fark edilmişti. Bu farkların F tipinden daha soğuk tiplere doğru daha belirgin hale geldiğini görerek F tipinden itibaren tayfsal seriyi ikiye ayırdılar. Alçak ve yüksek basınçtaki yıldızları sıra ile g ve d ile gösterdiler.

2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Anakol



Ek not

- Russell yıldızların büyük bir çoğunluğunun sol yukarıdan sağ aşağıya doğru giden bir kol içerisinde kaldığını gördü. Kendi çizdiği şekilde bunu iki çizgi ile gösterdi. Günümüzde ise bu bölgeye “**anakol**” diyoruz.

2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol

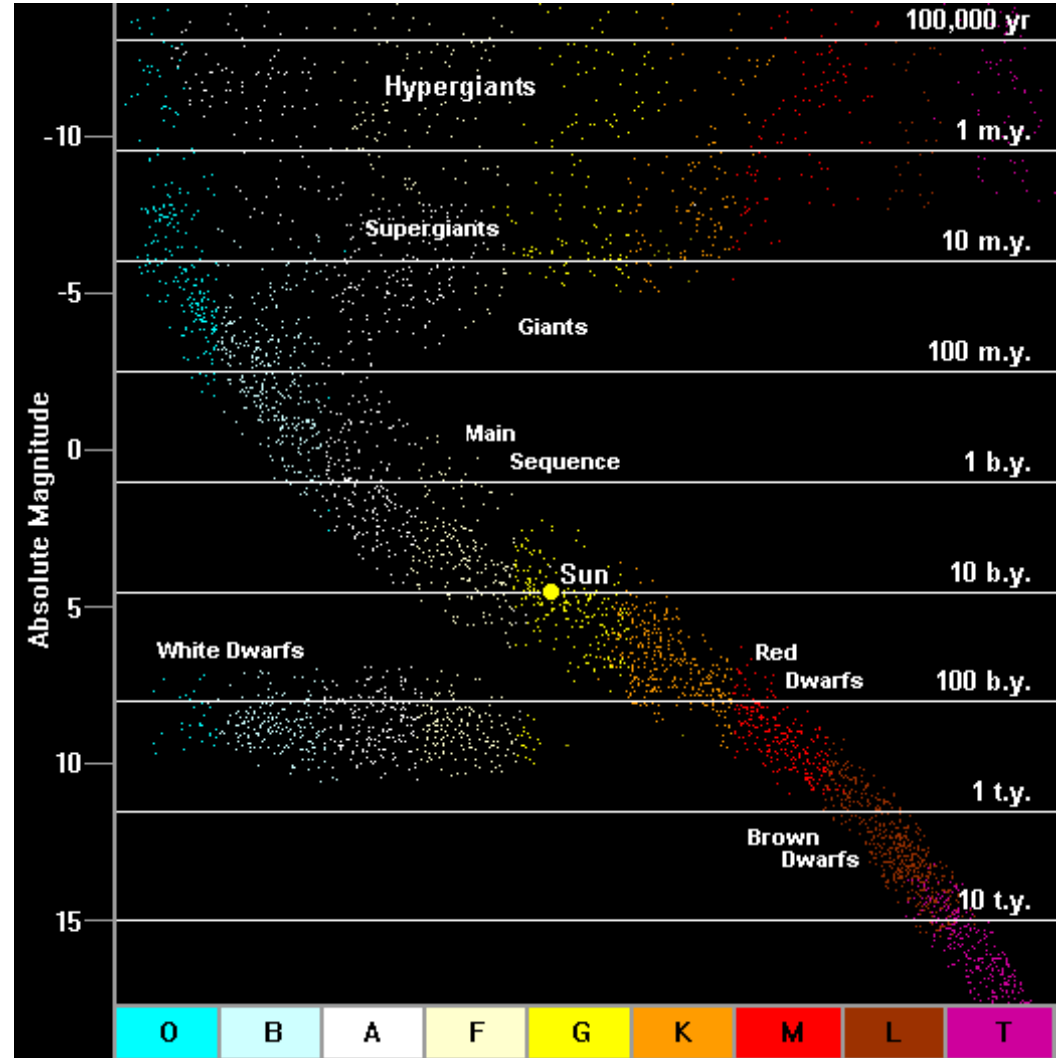
Kütle-Işınım Gücü

$$L = L_{\odot} \left(\frac{M}{M_{\odot}} \right)^{3.5}$$

L_{\odot} = luminosity of Sun
 M_{\odot} = mass of Sun

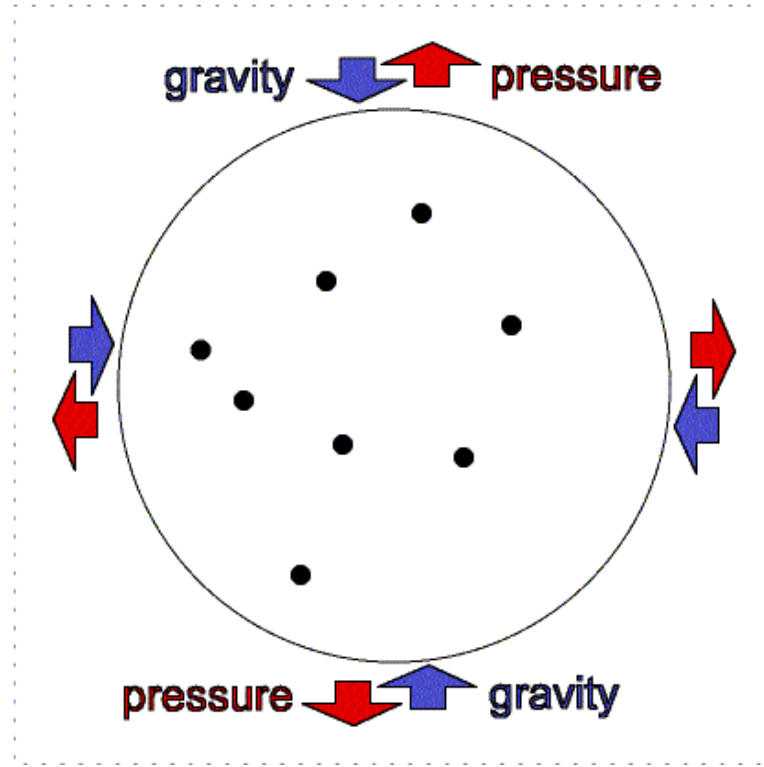
Anakol yaşı-Kütle

$$\tau \approx 10^{10} \left(\frac{M_{\odot}}{M} \right)^{2.5} \text{ yrs}$$



2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol

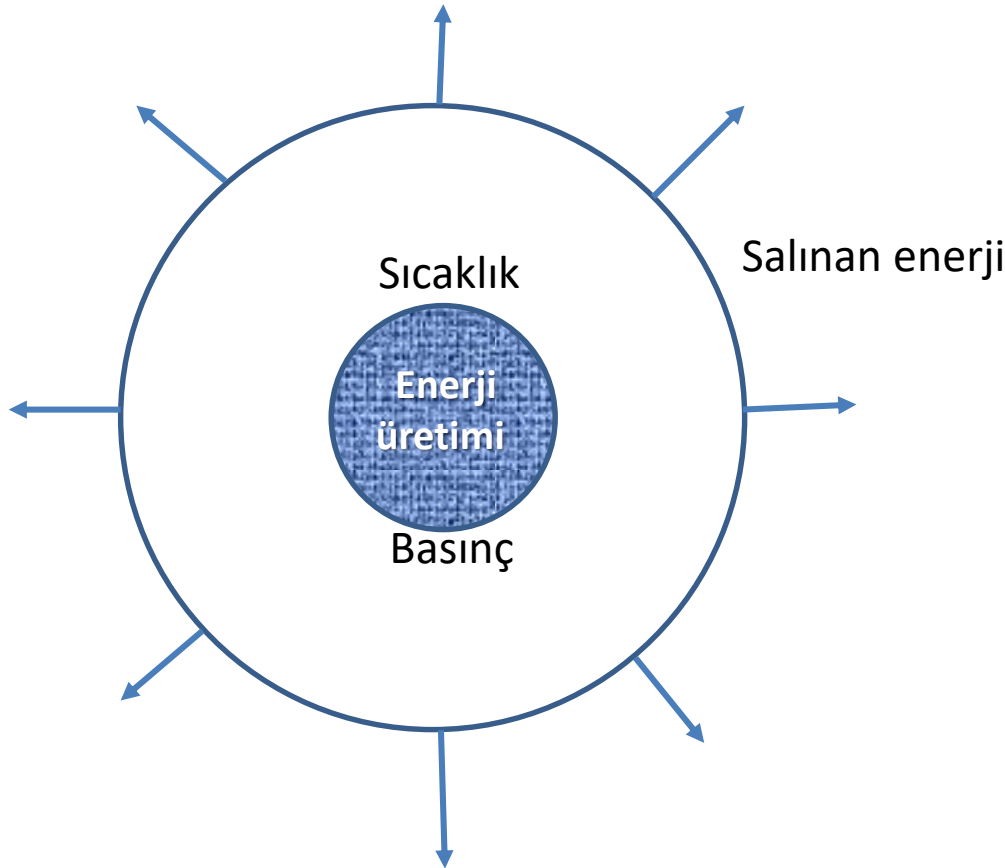
Hidrostatik Denge



Bir anakol yıldızı olan Güneş, genişlemiyor veya büzülüyor. Bu sebeple o dengededir. Basıncın (dışa doğru) ve çekimin (içe doğru) bu dengesine hidrostatik denge adı verilir.

2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol

Termal Denge



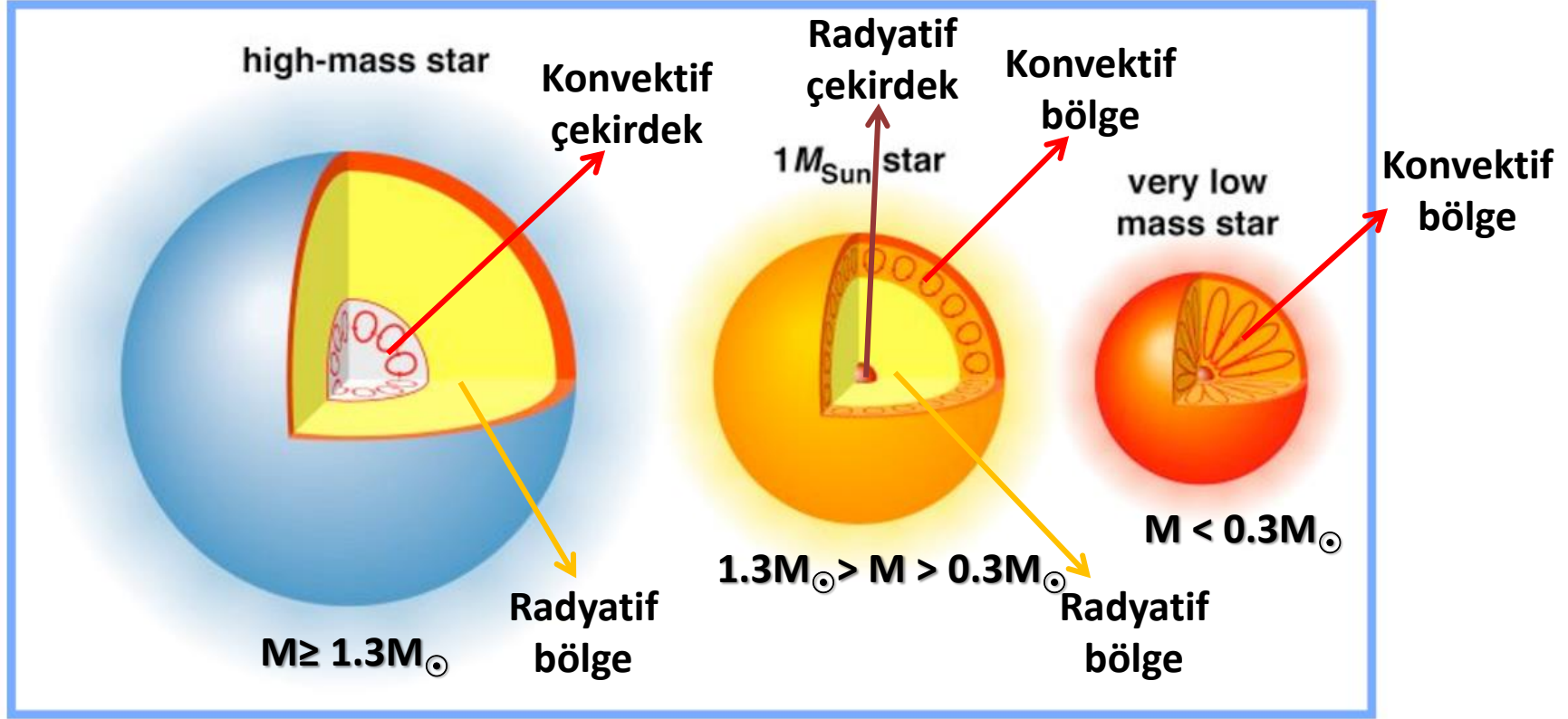
Bir anakol yıldızı olan, Güneş, termal olarak da dengededir. Yani, onun çekirdeğinde üretilen enerji ile yüzeyinden kaybettiği enerji eş düzeydedir.

Enerji üretimi artarsa, üretilen enerji salınmalı. Yani,

- sıcaklık artar,
- basınç artar,
- yıldız genişler,
- yüzey alanı artar,
- artan üretimi dengelemek için uzaya salınan enerji daha fazla olur.

2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol

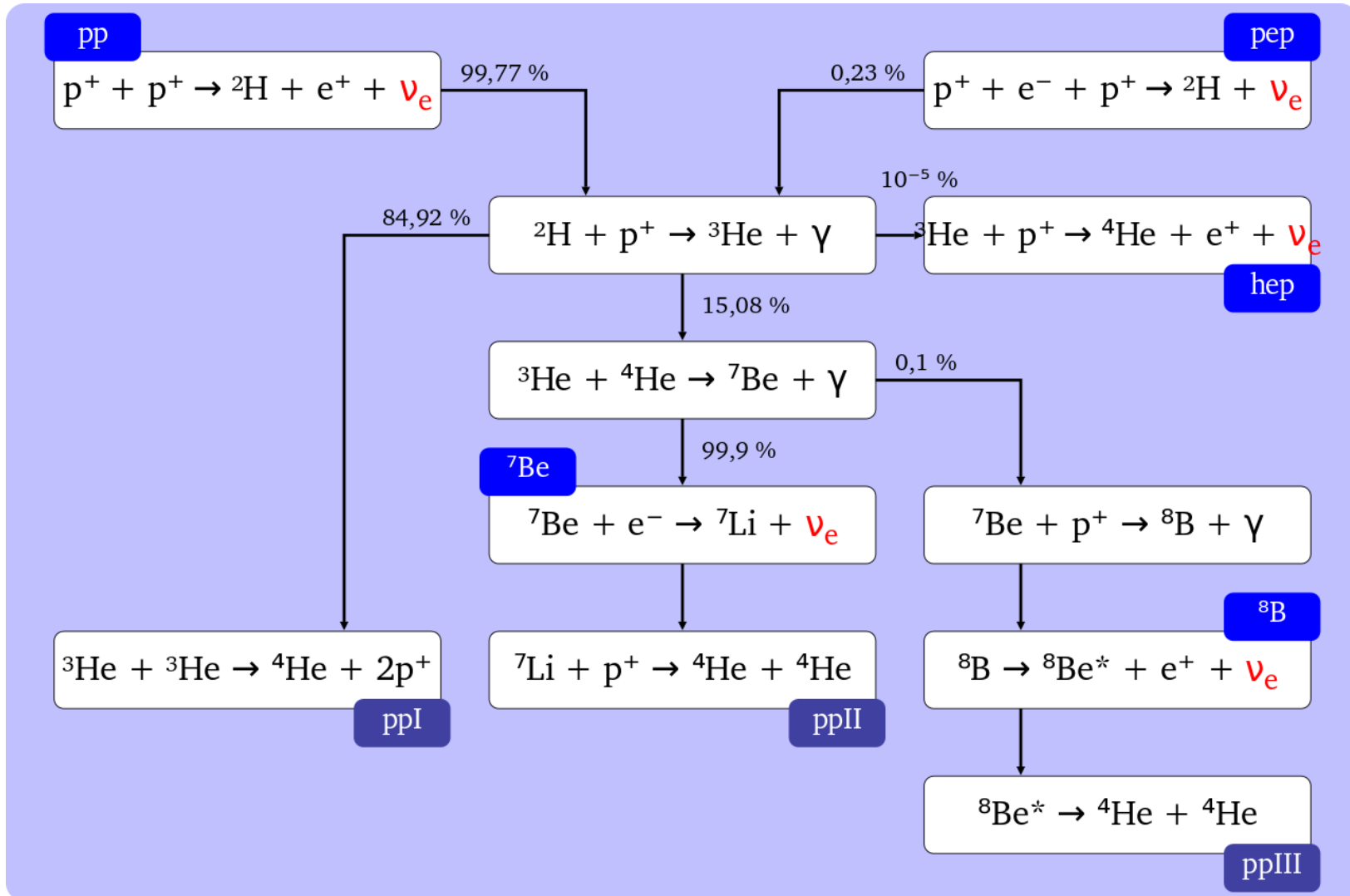
Yıldızların iç yapısı kütleyle farklılık gösterir;



Füzyon süreci kütleyle farklılık gösterir;

- Küçük kütleli yıldızlar için pp zinciri,
- Büyük kütleli yıldızlar için CNO çevrimi,

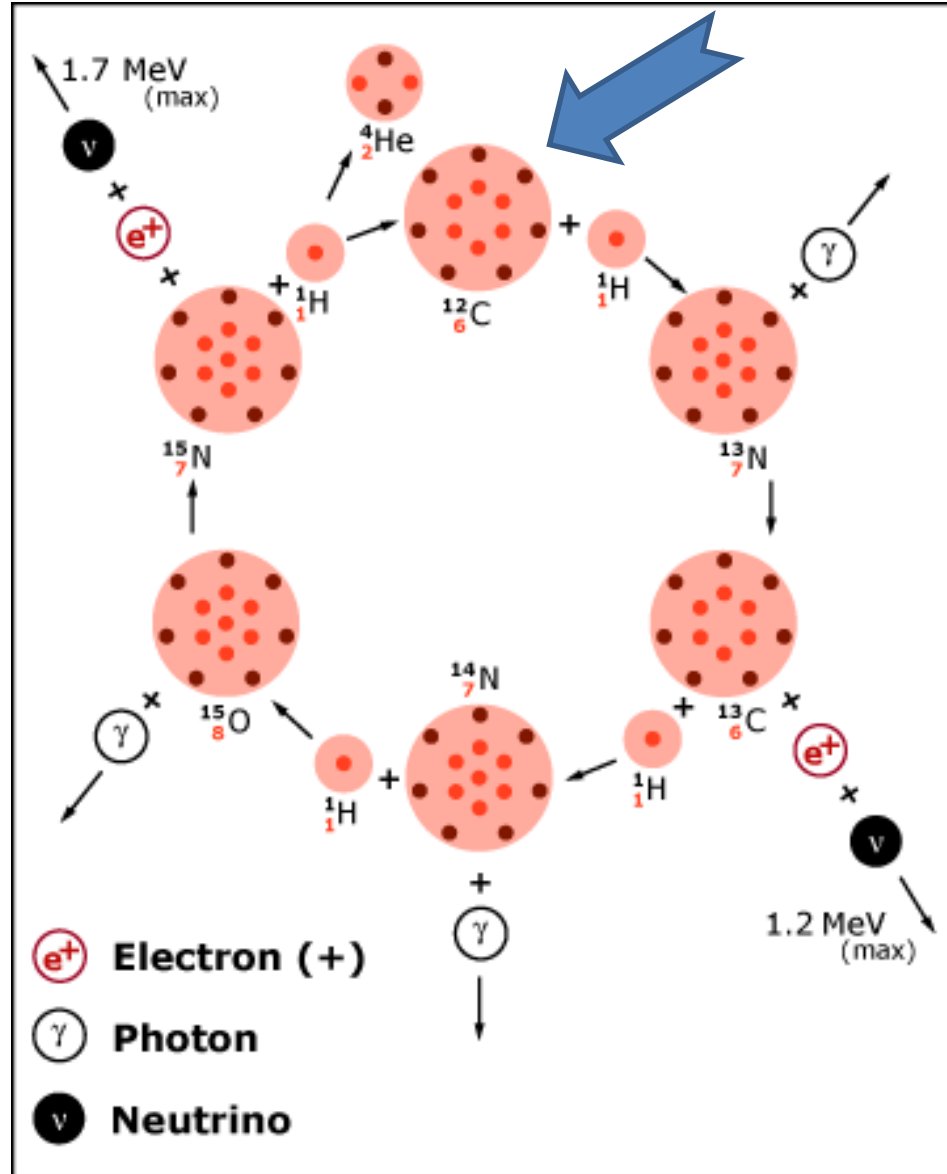
2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol Proton-Proton (pp) Zinciri



2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol

Carbon
Azot
Oksijen
(CNO)

Ç
e
v
r
i
m
i

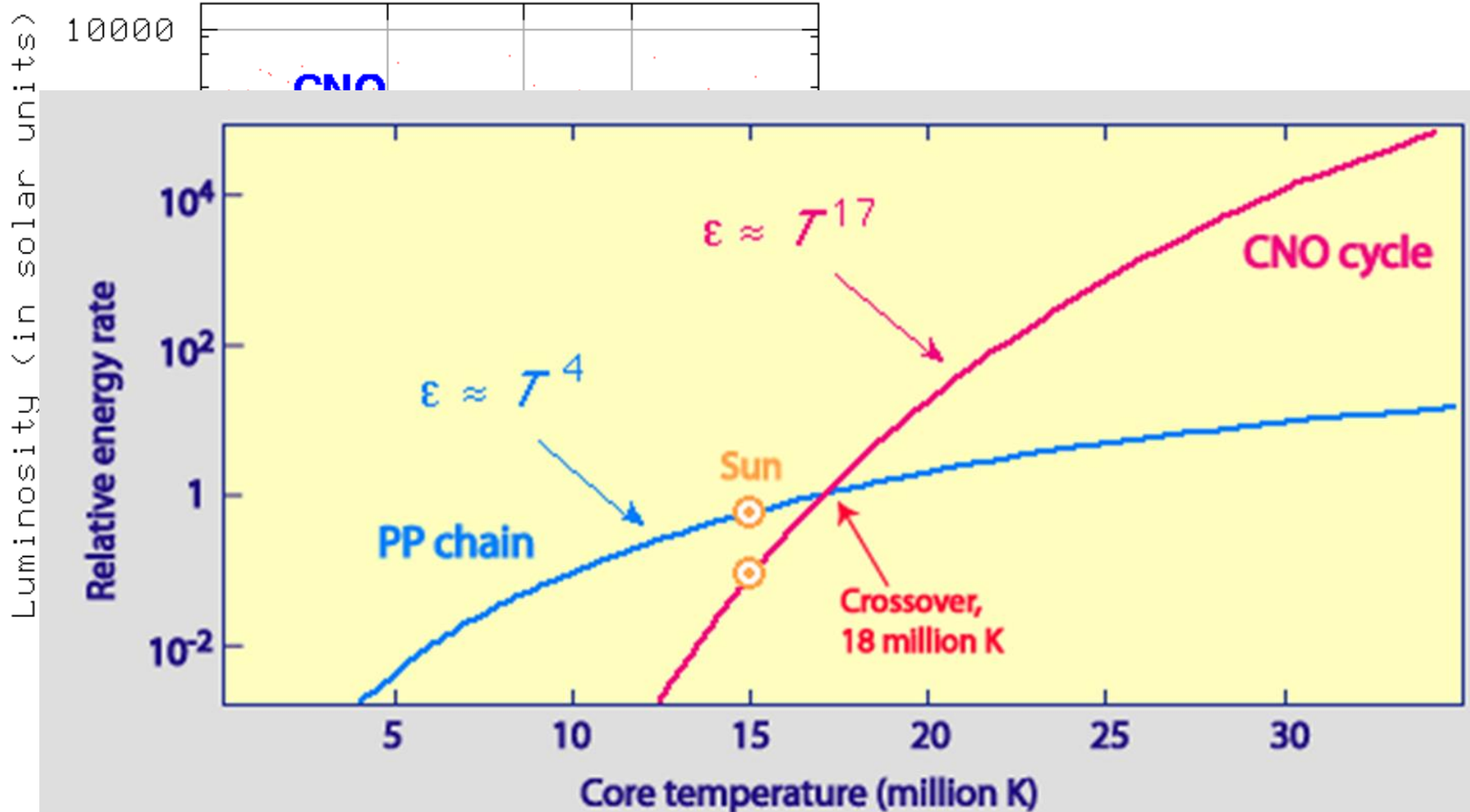


CNO çevrimi büyük kütleli yıldızlarda, onların yüksek merkezi sıcaklıklarından dolayı gerçekleşir. Neden?

pp zincirinin ilk aşamasında 2 proton birleşirken CNO çevriminin ilk aşamasında bir proton bir C ile birleşir. Karbon 6 protona sahip olduğundan, CNO çevriminin ilk aşaması için Coulomb itmesi pp zincirinde olduğundan daha büyüktür. Bu nedenle çekirdekler güçlü itmeyi karşılamak için daha yüksek kinetik enerjiye ihtiyaç duyarlar. Yani daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç vardır CNO için. Büyük kütleli yıldızların çekirdeklerindeki çekim daha güçlüdür, bu da onlara daha yüksek çekirdek sıcaklıkları sağlar.

2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Anakol

HR diagram of nearby stars



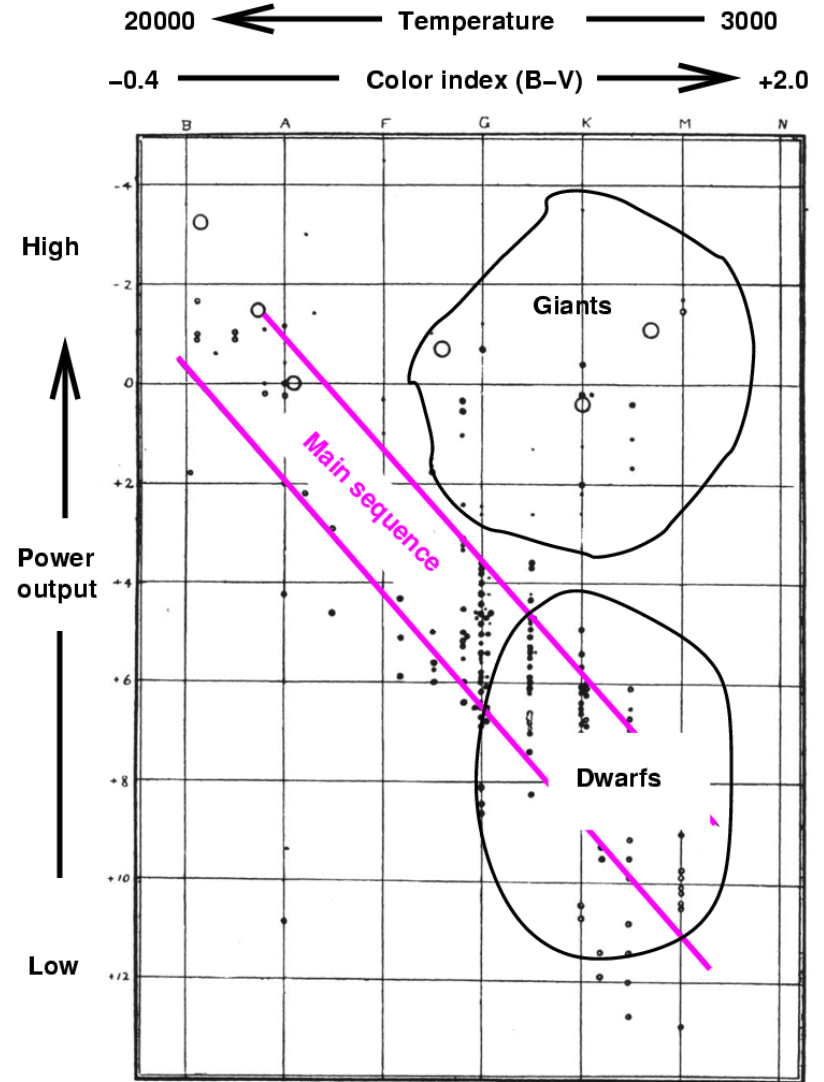
2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Devler ve Cüceler

Russel diğer iki köşesindeki bulunan yıldızları farketti: sağ üst köşede birkaç yıldız varken, sol alt köşede çok az yıldız vardı. Bunun anlamı ne olabilirdi?

Biraz düşünelim!

Diyagramın sağ üst köşesinde bulunan yıldızlar hem **güçlü** hem de **soğuk**. Peki bu durum,

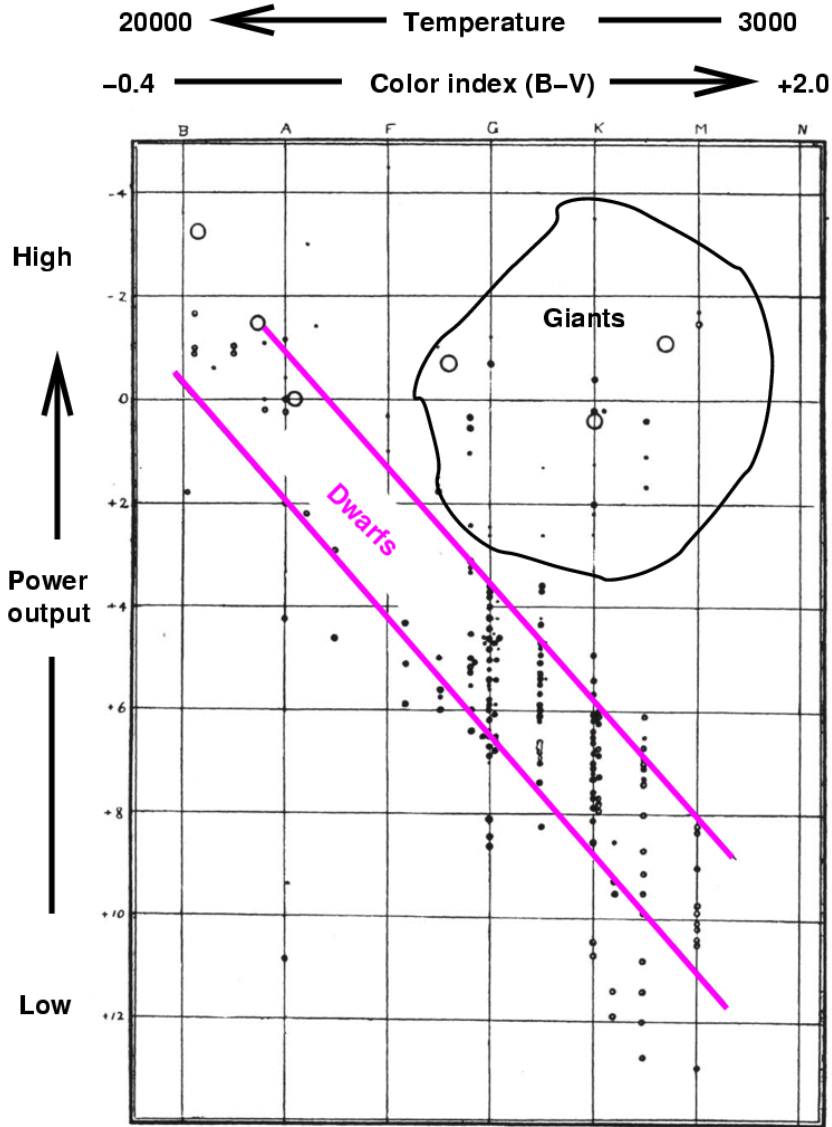
- Bir yıldızın sıcaklığı kendi fotosferinin her bir metrekaresinden çıkan gücü nasıl etkiler?
- Hem güçlü hem de soğuk yıldızlar için bu durum ne ifade ediyor?



Ek notlar:

- Diyagramın sağ üstündeki yıldızlar daha düşük sıcaklıkta daha fazla ışık yaydıklarından bu yıldızların yüzey alanları çok büyük olmalıdır. Hertzsprung bu yıldızlara “Dev” adını vermiştir. Bu terimi halen kullanmaktayız. Bu yıldızlar genellikle soğuk olduklarından “kırmızı dev” terimi de sıkça kullanılmaktadır.
- Böylece Hertzsprung ve Russell kırmızı yıldızların iki türünün olduğunu görmüştür: devler (ışınım bakımından güçlü) ve cüceler (ışınım bakımından zayıf).

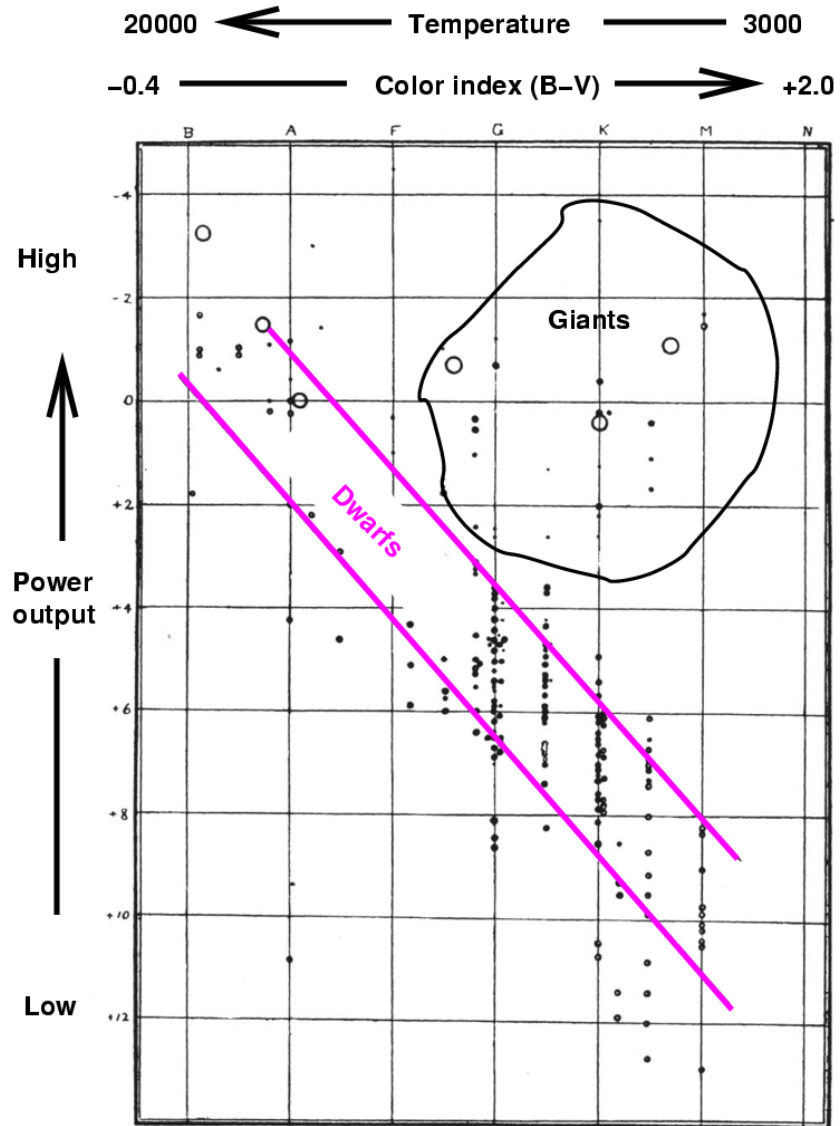
2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Devler ve Cüceler



- Ancak, Russell “kırmızı cüce teriminin anakolun sadece alt kısmında kalan yıldızları işaret ettiğini anlamıştır.
- Bu nedenle kırmızı cüce yerine anakolda yer alan tüm yıldızlara genel adlandırma olarak “cüce” demeyi tercih etmiştir.

2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Beyaz Cüceler

- Ne tür bir yıldız çok sıcak olup çok az güç üretebilir?
- Yalnızca çok küçük yıldızlar HR diyagramında bu bölgeye düşebilir. Normal yıldızlardan çooooooooookkkk küçük!
- Ne kadar küçükler tam olarak?



Beyaz cücelerin ışınım gücü nedir? Watt cinsinden ve güneşin ışınım gücü cinsinden? ($L_{\odot}=3.8 \times 10^{26}$ W)

$M_v \sim 11^m$

Tayf türü A, yaklaşık $T \sim 10000$ K

2.1 H-R Diyagramı ve Anakol: Beyaz Cüceler

Bu yıldız bir karacisim gibi ışınım yapıyorsa, ışınım gücü yarıçapına ve sıcaklığına bağlıdır. Stefan-Boltzmann sabiti $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ Watts/m}^2 \text{ K}^4$.

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \qquad R = \sqrt{\frac{L}{4\pi\sigma T^4}}$$

O halde bu cismin yarıçapını bulalım? ($R_{\text{güneş}} \sim 700\,000 \text{ km}$)

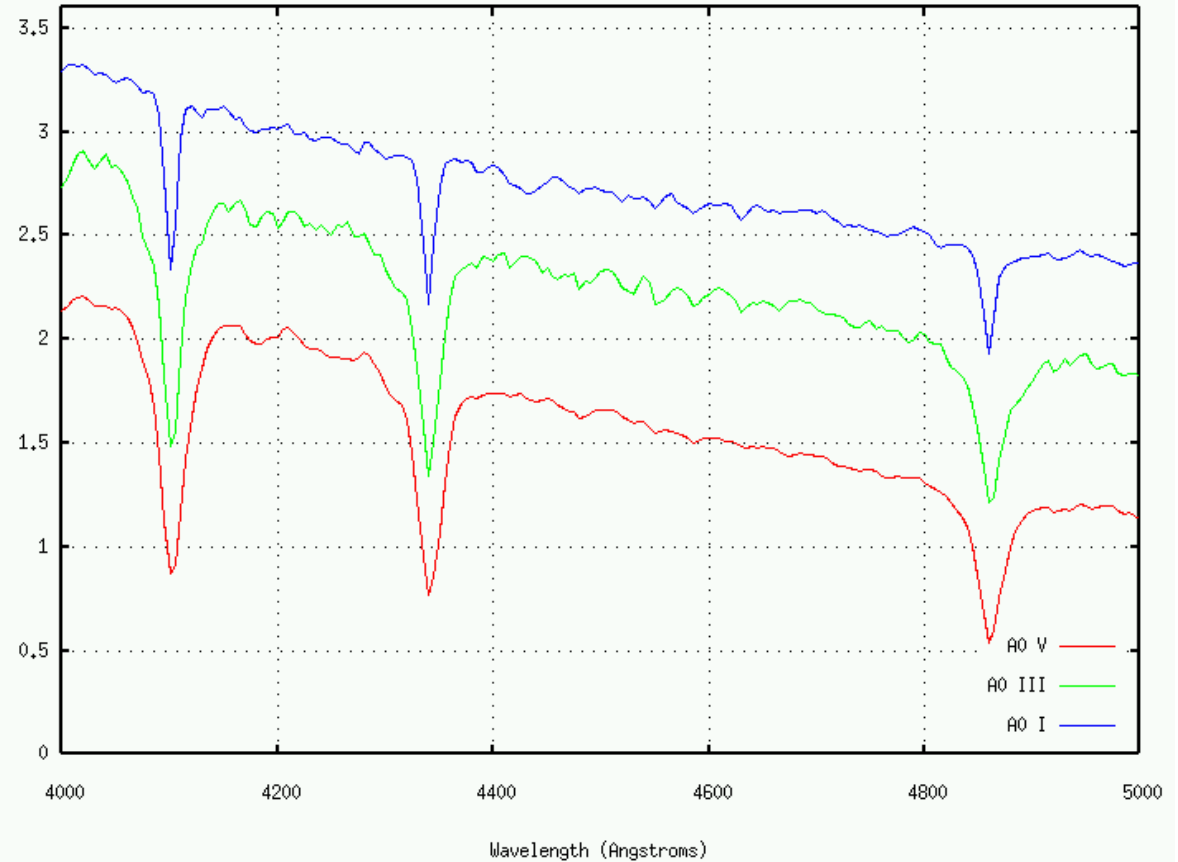
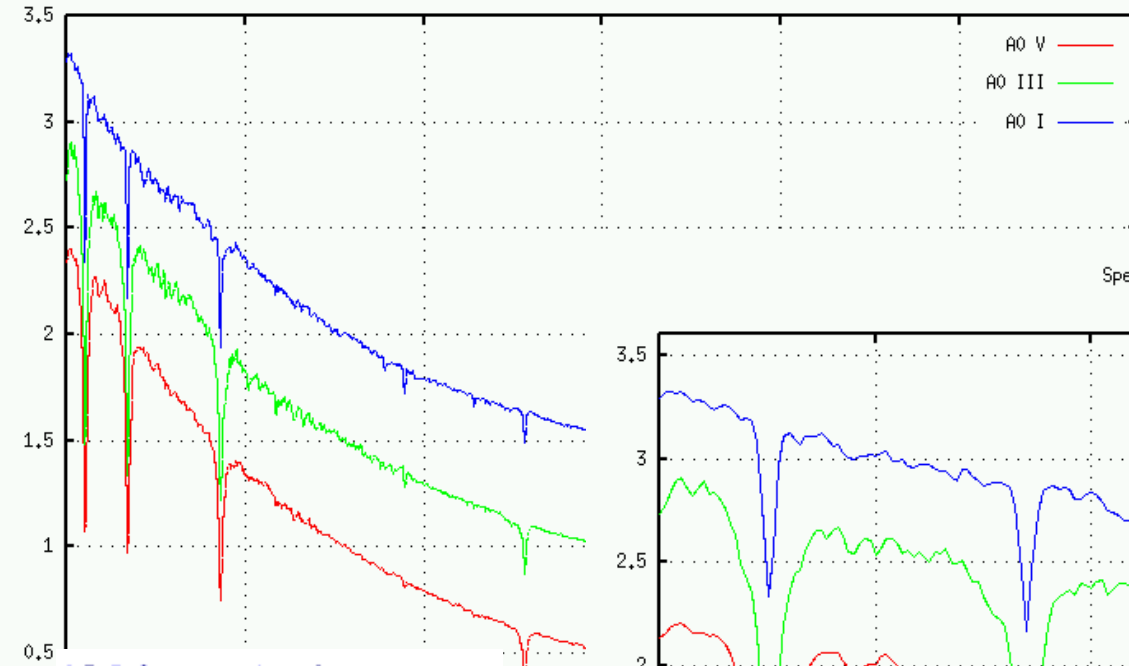
Cevap: 15000 km, dünyanın yaklaşık 2 katı
($R_{\text{Yer}} = 6371 \text{ km}$)

2.1 HR Diyagramı: Işınım Gücü Sınıfı

Spectra of A0 stars

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Spectra of A0 stars

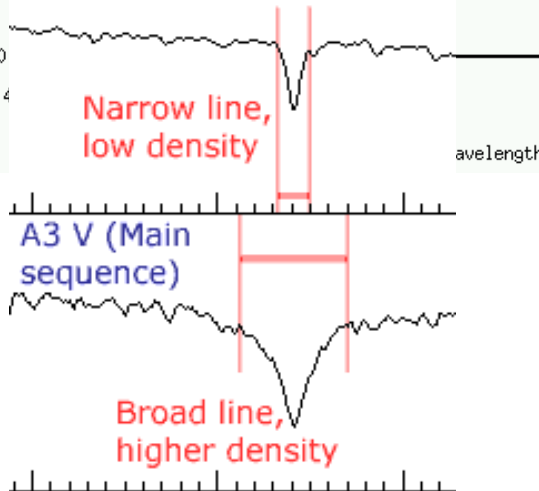


A3 I (supergiant)

Narrow line,
low density

A3 V (Main
sequence)

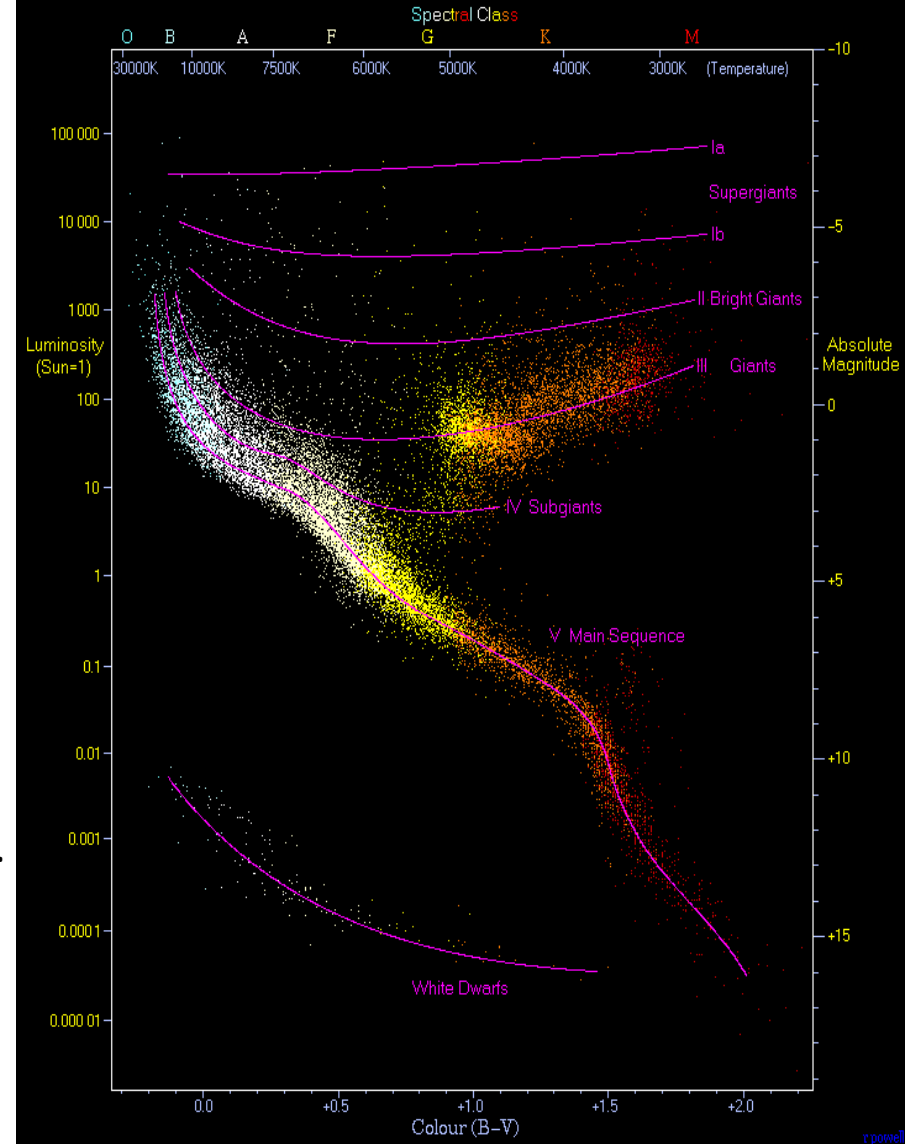
Broad line,
higher density



2.1 HR Diyagramı ve Anakol: Limitler

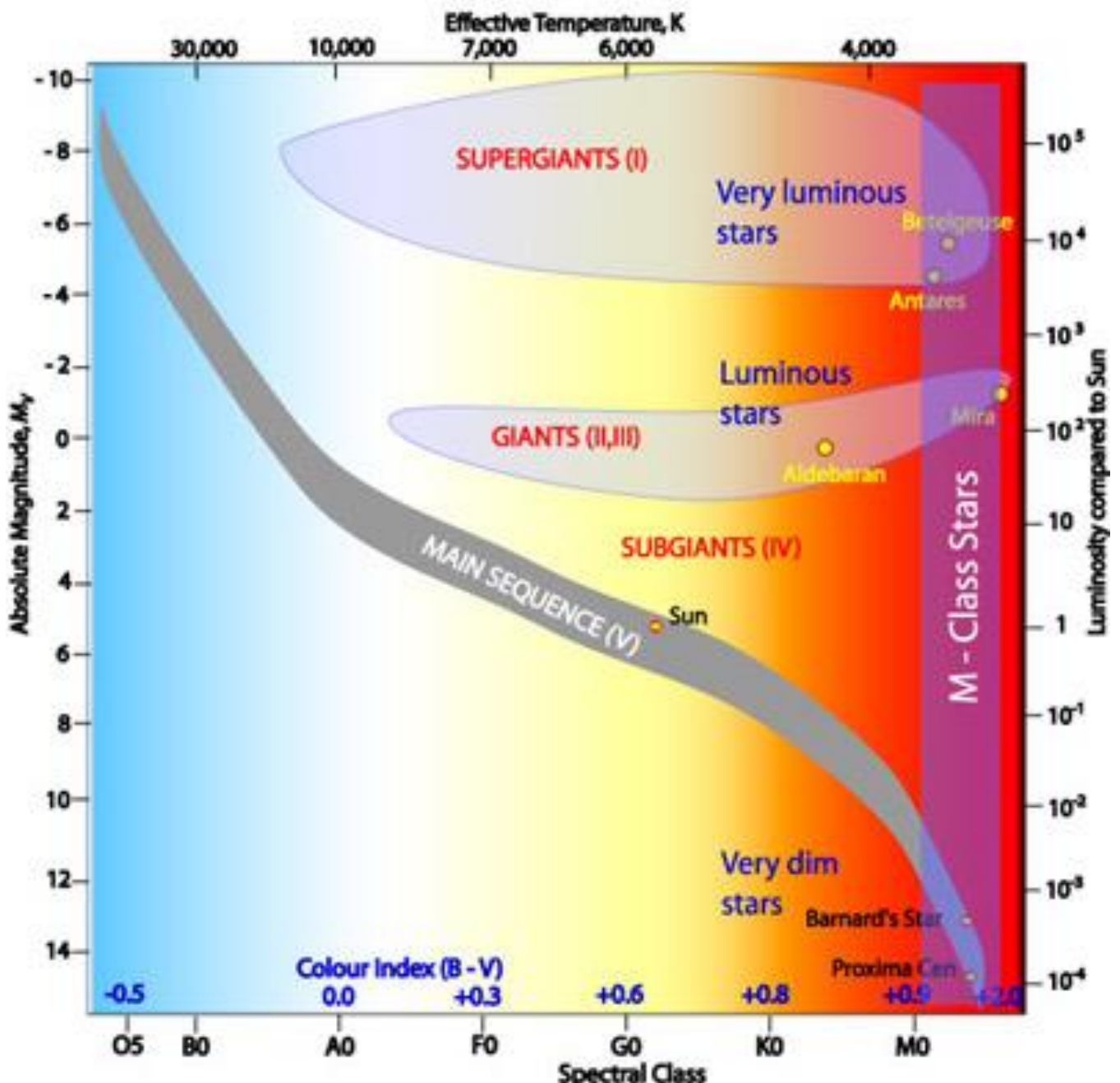
- Kütle: $0.075 - 315 M_{\odot}$
- Işınım Gücü: $10^{-4} - 10^7 L_{\odot}$
 - Devler için $10^3 - 10^5 L_{\odot}$
 - Süperdevler için $10^5 - 10^7 L_{\odot}$
- Yarıçap: $10^{-2} - 10^3 R_{\odot}$
 - Anakol için $0.1 - 10 R_{\odot}$
 - Beyaz cüceler için $\sim 0.01 R_{\odot}$
 - Devler için $10-100 R_{\odot}$
 - Süperdevler için $10^3 R_{\odot}$
- Sıcaklık: $2000 \text{ K} - 200\,000 \text{ K}$

Not: L tayf türü yıldız ama T ve Y kahverengi cüceler. Bu alt limit en soğuk L türü yıldızlar için.



T
E
K
R
A
R

Comparison of M - Class Stars



Ek Notlar:

Diagramın sağ alt kısmında **Proxima Centauri ve Barnard's yıldızını** görüyoruz. Bu yıldızların her ikisi de soğuk (yaklaşık 2500 K) ve sönük ($M_v \sim 13$, güneş ışınım gücünün yalnızca yaklaşık 1/10,000). Dikdörtgen kutuyu takip ettiğimizde yine soğuk ama bu iki yıldızla göre çok daha parlak olan **Mira** ile karşılaşıyoruz. Devam ettiğimizde, **Antares ve Betelgeuse** ile karşılaşıyoruz. Yine soğuk ama çok daha fazla parlak bu yıldızlar. Öyle ki güneşin ışınım gücünün 10000 katı kadar.

Bu 3 grup yıldızın ışınım güçleri neden bu denli farklı?

Bu sorunun cevabı Stefan-Boltzmann ($I \approx \sigma T^4$) ilişkisine bağlı, buna göre saniye başına birim yüzey alanından salınan enerji sıcaklığın dördüncü kuvvetinin bir fonksiyonudur. O halde bu ilişkiye göre iki yıldızın etkin sıcaklıkları aynıysa, yüzey alanlarının metrekaresinden çıkan güç aynı olmalıdır.

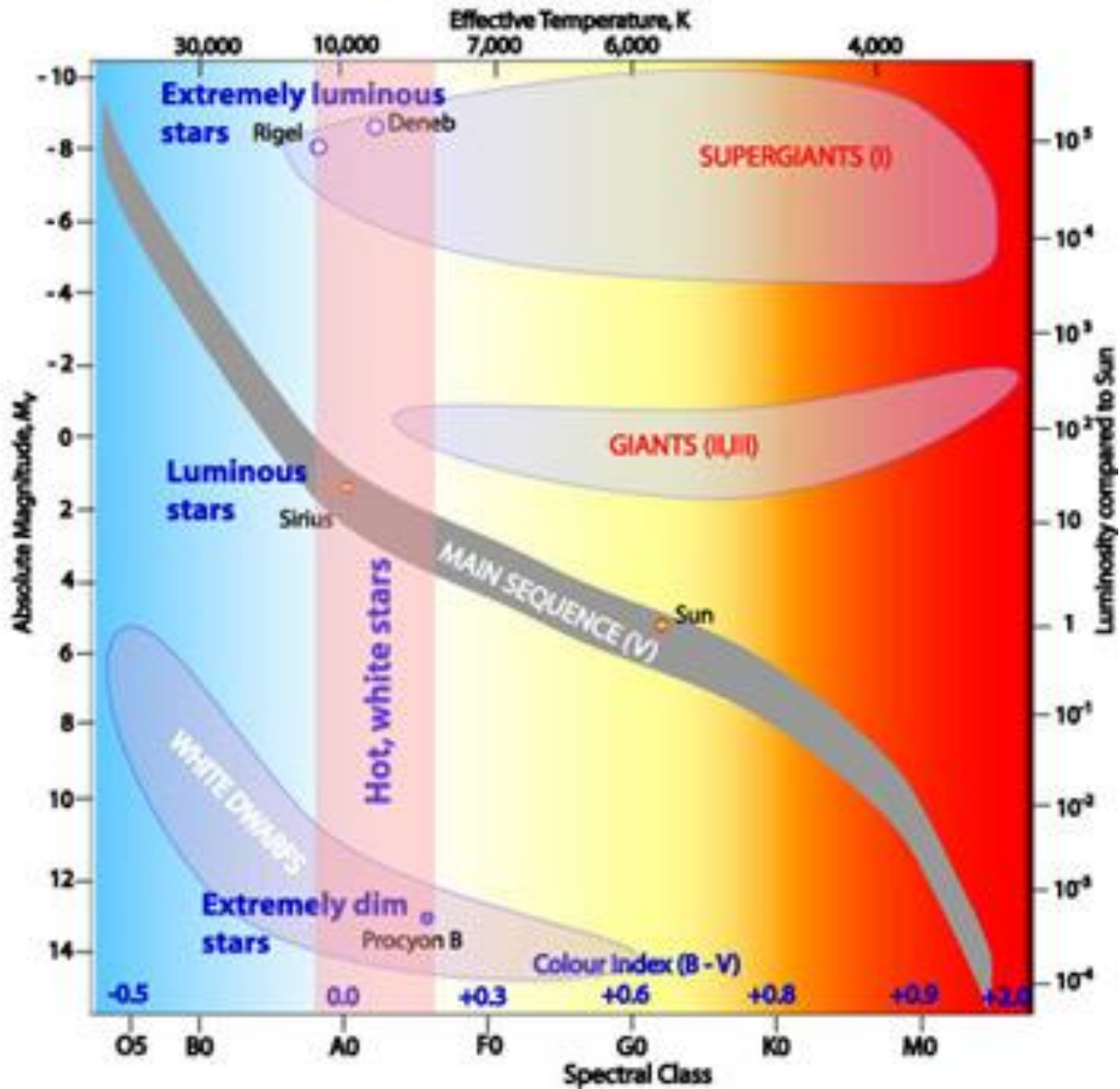
Ancak H-R diagramından görülüyor ki, biri diğerinden çok daha parlak ve onun toplam güç çıkışı daha fazla olmalı böylece çok daha büyük yüzey alanına sahip olmalı, yani daha parlak yıldız daha büyük. Bu sonucu ışınım gücü için verilen,

$L \approx 4\pi R^2 \sigma T^4$ denkleminde anlayabiliyoruz.

M türü yıldızların bu 3 grubu arasındaki fark büyüklükteki farklılıktan kaynaklanıyor. En parlak olanları süperdevler (I ve II ışınım sınıfı), parlak olanlarına devler (III ışınım sınıfı), ve sönük olanlarına cüceler adı veriliyor.

T
E
K
R
A
R

Comparison of Hot, White Stars



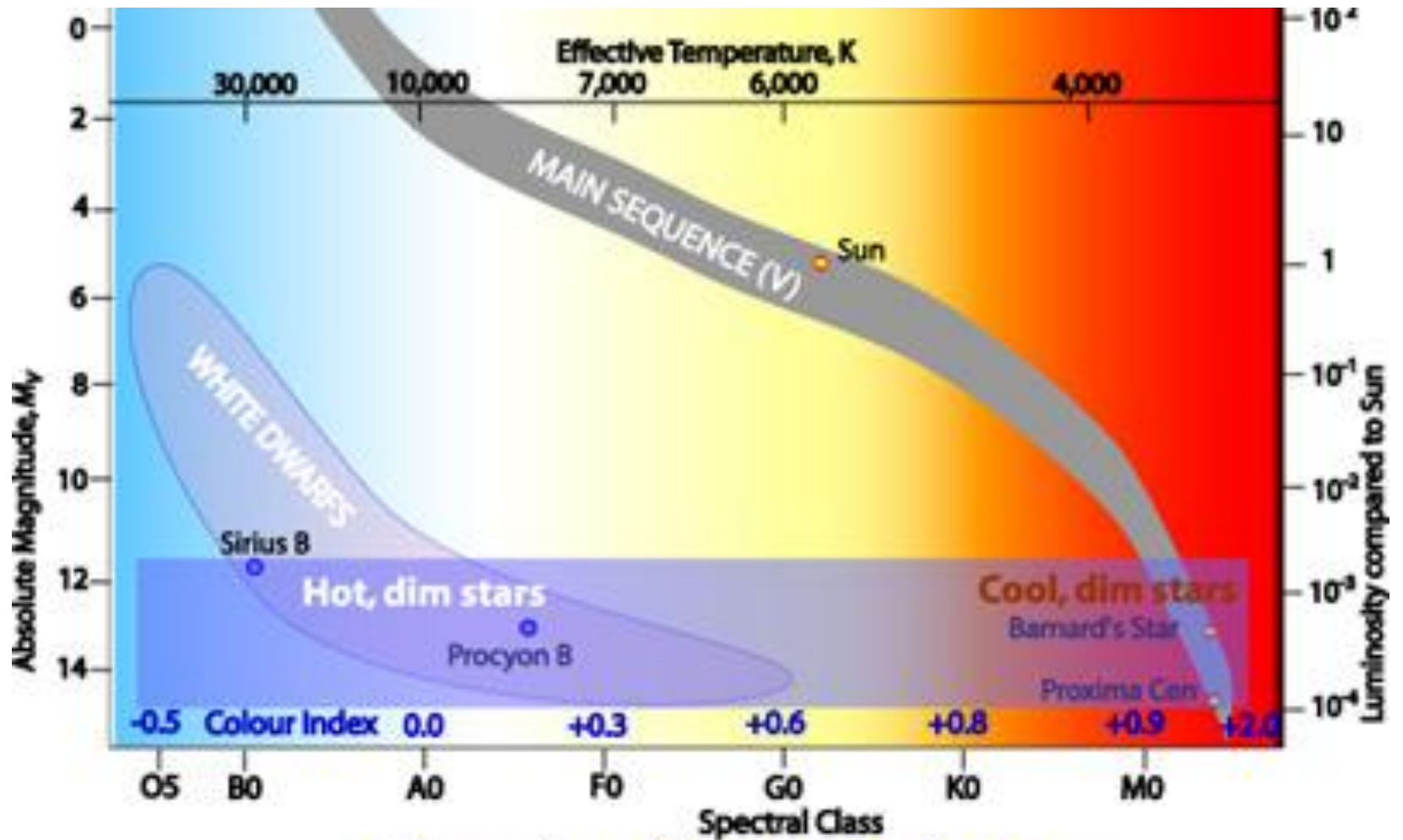
Ek Notlar:

H-R diyagramında, A tayf türü civarındaki daha sıcak yıldızlar için gösterilen dikey banda bakarsak benzer bir desen görüyoruz:

Rigel ve Deneb süperdevleri Sirius ile aynı sıcaklığa sahip ancak ışınım güçleri oldukça yüksektir. Onların yarıçapları Sirius'tan daha büyük yani onlar daha büyük yüzey alanlarına ve ışınım güçlerine sahip. Sirius bir anakol yıldızı ancak kırmızı bir anakol yıldızı olan Barnard's yıldızından sıcak olduğundan ona göre çok daha parlak.

Pembe bandın en aşağısına kadar gidersek orada bir kesişim bölgesi görüyoruz. Bu kesişim bölgesinde de Procyon B'yi de içine alan başka bir grup yıldızla karşılaşıyoruz. Bunlar beyaz cüceler. Çok sıcaktırlar (yaklaşık 10000K yada daha sıcak.), bu nedenle yüzeylerinin her metre karesi başına saniyede çok miktarda enerji salarlar. Onlar çok sönüktürler, bunun anlamı son derece küçük olmaları ve çok küçük yüzey alanına sahipler. Basit hesaplamalar gösteriyor ki, beyaz cüceler kabaca dünya büyüklüğündedir. Güneşin 1/100'ünden az.

T E K R A R

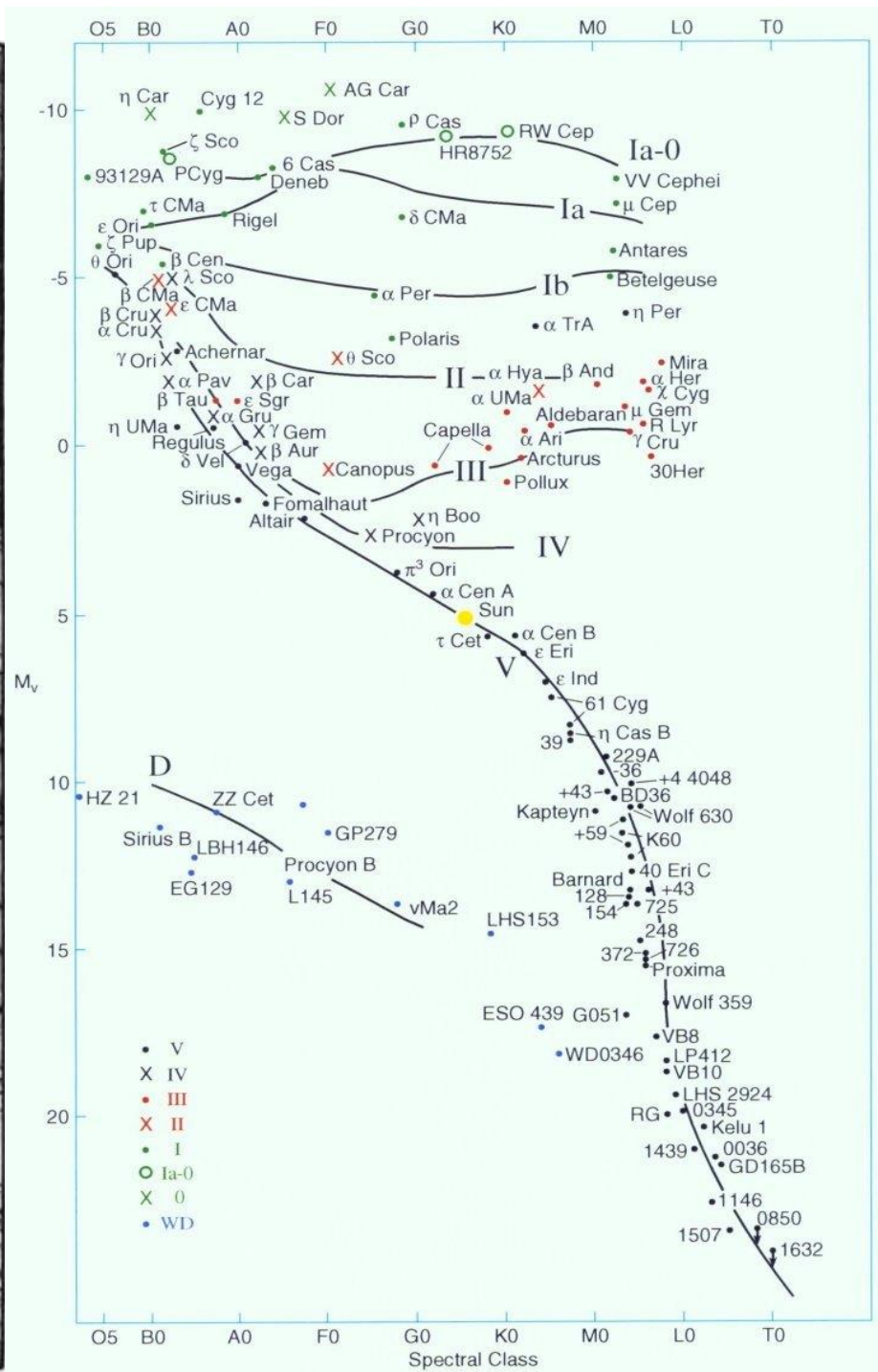
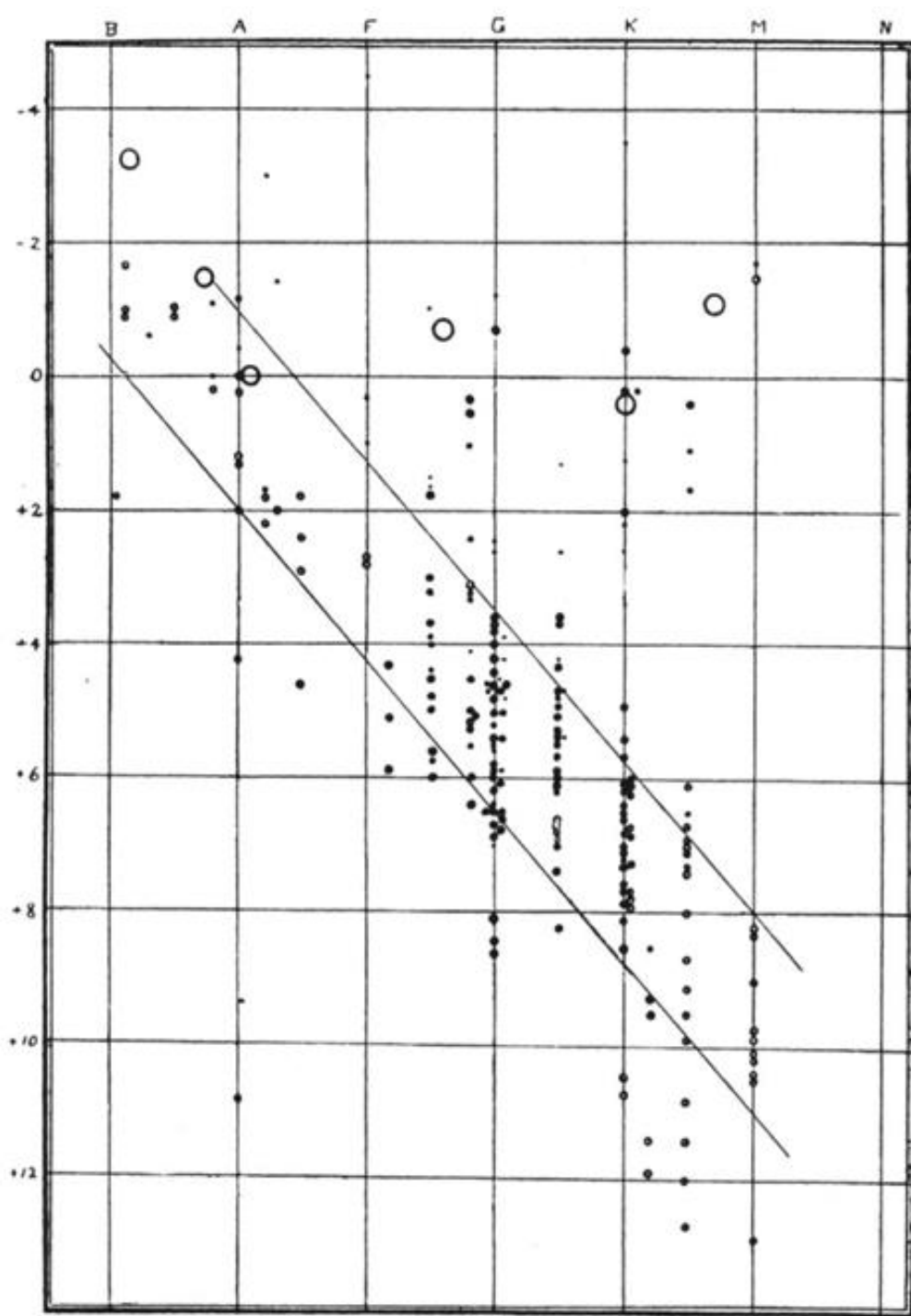


Comparison of Low Luminosity Stars

Ek notlar:

H-R diagramındaki en sönük yıldızları mukayase edersek, bazı çıkarımlarda bulunabiliriz. Yatayda verilen dikdörtgene bakalım. Procyon B ve Barnard's yıldızı +13 kadirlik mutlak parlaklığıyla aynı düşük ışınım gücüne sahip. Ancak Procyon B Barnard's yıldızından daha sıcak, böylece daha fazla enerji salıyo birim yüzey alanından saniyede.

Onların aynı toplam güç çıkışına sahip oldukları verildiğinde, Procyon B Barnard's yıldızına göre daha küçük bir yüzey alanına sahip olmalı yani yarıçapı daha küçük olmalı.



Ders sonu ...

Kaynaklar

- <http://spiff.rit.edu/classes/phys301/lectures/hr/hr.html>
- <http://spiff.rit.edu/classes/phys440/lectures/lumclass/lumclass.html>
- <http://stars.astro.illinois.edu/sow/hrd.html>
- <http://spiff.rit.edu/classes/phys301/lectures/absolute/absolute.html>
- http://spiff.rit.edu/richmond/asras/comet_phot/comet_phot.html