

# 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- **Rosseland Ortalama Donukluğu**
- Rosseland ortalamasını elde etmek için önce ayrı ayrı tek renk soğurma katsayılarını toplamalıyız:

$$\kappa(\nu) = \kappa_{bs}(\nu) + \kappa_{ss}(\nu) + \kappa_e$$

- Bu, toplam tek renk soğurma katsayısıdır. Bunu zorlama ile ışınım çarpanı

$$1 - e^{-h\nu/kT}$$

- ile çarpıp Rosseland ortalamasını bulmak gerekir.  
**Ancak,**

## 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{\int_0^{\infty} \frac{u^3}{D(u)} \cdot \frac{e^u \cdot u^4}{(1-e^{-u})(e^u-1)^2} du}{\int_0^{\infty} \frac{e^u \cdot u^4}{(e^u-1)^2} du} = \frac{\int_0^{\infty} \frac{1}{D(u)} \cdot \frac{u^7 e^u du}{e^{-u}(e^u-1)(e^u-1)^2}}{4 \underbrace{\int_0^{\infty} \frac{u^3 du}{e^u-1}}_{\frac{\pi^4}{15}}}$$

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{15}{4\pi^4} \int_0^{\infty} \frac{1}{D(u)} \cdot \frac{u^7 e^{2u}}{(e^u-1)^3} du$$

**D(u)** ardışık soğurma kenarları arasında sabit kaldığına göre  $u_i > u > u_{i+1}$  aralığındaki değerini

$$\mathbf{D}(u_i, u_{i+1})$$

ile gösterelim. Bu frekans aralığında integral dışına çıkarabiliriz.

# 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{15}{4\pi^4} \left[ \frac{1}{D(u_0, u_1)} \int_{u_1}^{u_0=\infty} \frac{u^7 e^{2u}}{(e^u - 1)^3} du + \frac{1}{D(u_1, u_2)} \int_{u_2}^{u_1} \frac{e^{2u} u^7 du}{(e^u - 1)^3} + \frac{1}{D(u_2, u_3)} \int_{u_3}^{u_2} \dots + \dots \right]$$

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{15}{4\pi^4} \left[ \frac{1}{D(u_0, u_1)} \int_0^{u_0=\infty} \frac{e^{2u} u^7}{(e^u - 1)^3} du - \int_0^{u_1} \frac{e^{2u} u^7}{(e^u - 1)^3} du \right] + \dots + \frac{15}{4\pi^4} \frac{1}{D(u_{n-1}, u_n)} \left( \int_0^{u_{n-1}} - \int_0^{u_n} \right)$$

$$\frac{1}{\kappa} = \frac{15}{4\pi^4} \sum_{i=0} \frac{S(u_i) - S(u_{i+1})}{D(u_i, u_{i+1})}$$

Burada  $u_0 = \infty$  ve  $S(u_i) = \int_0^{u_i} \frac{e^{2u} u^7}{(e^u - 1)^3} du$

**Strömgren**,  $(15/(4\pi^4)).S(u)$  fonksiyonunu, **u**'nun çeşitli değerleri için çizelgeledi. Bu, verilen bir kimyasal bileşim için soğurma katsayısını hesaplamayı kolaylaştırdı.

# 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- **12.4. H<sup>-</sup> Soğurması:**
- Yıldız yüzeylerinde **iyonlaşma** dışlanabilecek kadar az olduğundan **soğurmada nötr atomlar ve moleküller hesaba katılmalıdır**. Nötr H'de en bol atom olduğundan önce bunu gözönüne almak gerekir.
- **Sıcak yıldızlarda (O, B, A türü)** nötr H'in soğurması sürekli soğurmayı açıklamaktadır. Başka bir deyişle kuramsal olarak hesaplanan sürekli tayf, gözlemlerle uyuşmaktadır. Fakat **daha soğuk yıldızlarda (Güneş gibi)** teori ile gözlemler birbirine **uymamaktadır**: Hesaplar oldukça belirgin bir **Balmer süreksizliği gösterirken, gözlemler  $\kappa_{\nu} \approx \text{sabit}$  alındığında daha iyi açıklanmaktadır**.

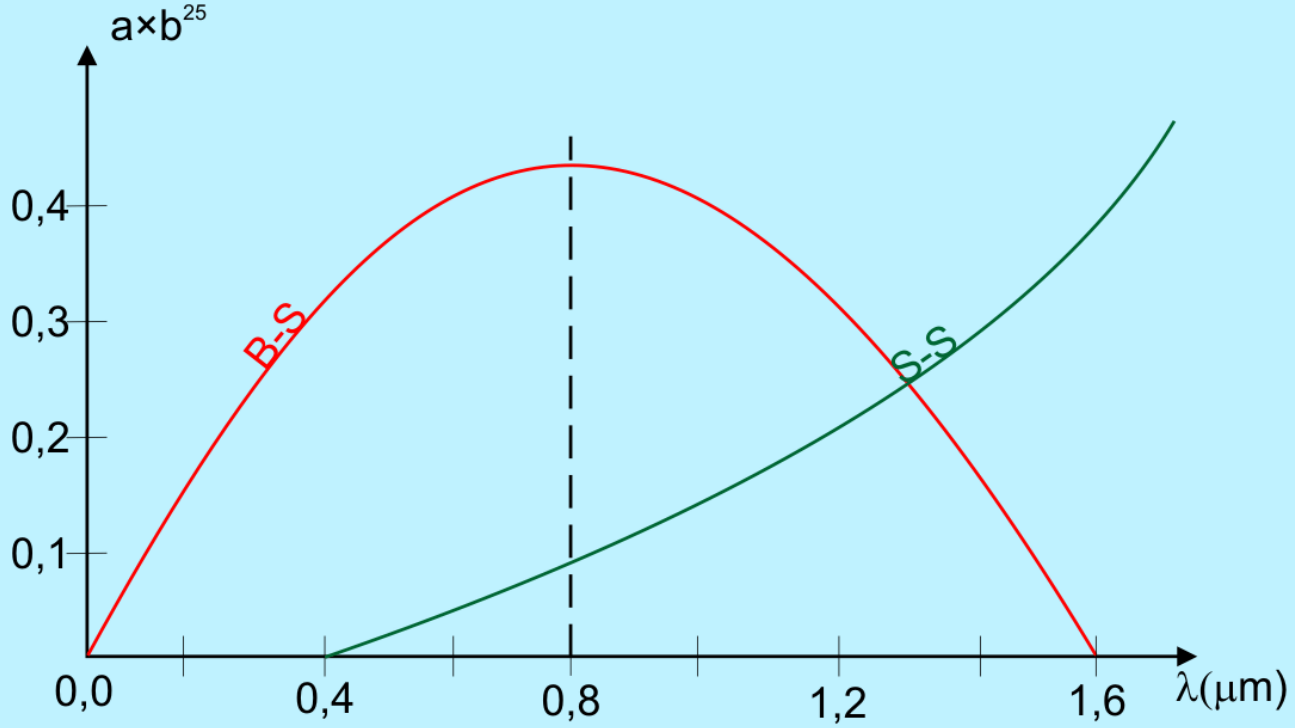
## 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- Gözlemler ve hesaplar arasındaki bu uyumsuzluk, Wildt tarafından 1938'de yıldız atmosferlerinde negatif H iyonunun var olduğunu ileri sürmesiyle açıklandı.  $H^-$  iyonunu laboratuvar da elde etmek henüz mümkün olmamıştı ama, kuantum mekaniği hesapları ile onun var olacağı fizikçiler tarafından öngörülmüştü. Daha sonra 1950-1955'te laboratuvar da  $H^-$  iyonunun sürekliliği gözlemlendi. Bu iyon H çekirdeği etrafında dolanan iki elektrondan meydana gelmiştir ve iyonlaşma potansiyeli **0.754 eV**'tur tek bir kararlı enerji düzeyi vardır.  $\lambda = hc/E = (hc/0.754 \text{ eV})$  eşitliğinden  $\lambda = 16450 \text{ \AA}$  bulunur. O halde  $H^-$  iyonu bu  $\lambda$ 'dan daha küçük dalgaboyundaki ışınımı soğurarak iyonlaşır; yani nötr H ve serbest elektrona çözülür.  $H^-$  nin soğurma tayfı sürekli bir soğurmadır; kenar **16450 \AA**'a düşer, sonra düzgün olarak artar ve **8500 \AA** civarında maksimum olur ve sonra küçük dalga boylarına doğru azalır.  $H^-$  iyonu tarafından bu bağlı-serbest soğurmaya ek olarak serbest-serbest geçişler de vardır. Bu  $H^-$  iyonunun kuantumlanmamış geçişleridir. Yani nötr H atomunun yakınından geçen bir serbest elektronun kinetik enerjisinin değişimine karşılık gelir.

## 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- $H^-$  nin **soğurma katsayısının hesabı** çok zordur, özellikle de **serbest-serbest** geçişler için. Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan hesapların sonuçları şekil **12.6**'da gösterilmektedir.
- Şekil **12.6**. da  $H^-$  **iyonunun** ( $T=6300$  °K ve  $P_e=1$  dyn/cm<sup>2</sup> olan atmosfer için) **soğurma katsayısına** ilişkin grafik gösterilmektedir.
- Görüleceği gibi **serbest-serbest geçişlerin** katkısı **kısa dalgalarda azdır**.  $\lambda$  **artıkça artar** ve **kırmızıötede boşlanamayacak hale** gelir.

H<sup>-</sup> iyonunun soğurma katsayısı  
(T=6300°K ve P<sub>e</sub>=1dyn/cm<sup>-2</sup> olan atmosfer için)



Şekil 12.6. H<sup>-</sup> iyonunun soğurma katsayısı.

## 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- $H^-$  soğurmasını hesaplamak için, nötr H atomlarına nazaran  $H^-$  iyonlarının sayısını hesaplamak gerekir. Bunun için Saha formülünü kullanabiliriz.  $H^-$  nin temel seviyesi bir tekli (**singlet**) S durumu olduğuna göre onun istatistik ağırlığı 1'dir. Nötr H atomunun temel seviyesinin istatistik ağırlığı 2 'dir.  $n>1$  düzeyleri için uyarılma enerjileri büyük olduğundan bu düzeylerdeki atomların sayısı temel düzeydekiyle karşılaştırıldığında boşlanabilir. Bu nedenle  $u(H)=2$  'dir.



# 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- Saha kanunu kullanılarak  $\frac{N(H)}{N(H^-)}$  bulunabilir.

$$\log \frac{N(H)}{N(H^-)} = 2,5 \log T + \log \frac{4}{1} - 0,754\theta - \log P_e - 0,48$$

- Eğer  $N(H^-)$  yi, **bağlı-serbest geçiş** için **bir iyonun soğurması** ile çarparsak **bağlı-serbest  $H^-$  soğurma katsayısını** elde ederiz.
- **Geç tip yıldızlarda nötr H'in soğurması azdır. Çünkü temel seviyededir.** Lyman serisi limitinden başlar, yani  $\lambda \leq 912 \text{ \AA}$  dadır. Bu **morötesi bölgede bu yıldızların ışınımı zayıftır.** Görsel bölgede **sürekli soğurma için  $n=3$  düzeyine uyarılmış H atomları gerekir.** Bunun **uyartılma potansiyeli** büyüktür ( $\sim 12.1 \text{ eV}$ ). O halde **Güneş** gibi **geç tür yıldızların atmosferlerinde böyle uyarılmış H atomlarının sayısı da azdır. Nötr H'in bol olmasına karşın soğurmadaki rolü küçüktür. Çünkü soğurma katsayısı, ışınım şiddetinin az olduğu frekanslarda büyüktür.** Bu nedenle **F'den daha geç tür yıldızlarda nötr H'in soğurması önemsizdir.**

# 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- $H^-$  in soğurma katsayısı, K, M, N yıldızlarının ışınımının yüksek olduğu dalgaboyu bölgesinde bir maksimuma sahiptir. O halde  $H^-$  iyonu bu yıldızların atmosferindeki sürekli soğurmada önemli bir rol oynayabilir. Yalnız  $H^-$  iyonunun toplam sürekli soğurmaya katkısı,  $H^-$  nin bolluğuna, yani  $cm^3$  teki sayısına bağlıdır. Bu ise nötr H'nin bolluğuna ve elektron yoğunluğuna ( $N_e$ ) bağlıdır. Bu yıldızlarda nötr H boldur. Çünkü bu sıcaklıklarda hemen hemen hiç iyonlaşmaz, ancak aynı nedenle serbest elektron sayısı da azdır. Dolayısıyla M ve N yıldızlarında  $H^-$  nin hemen hiç rolü yoktur. K yıldızlarında  $N_e$  yükseldiği için  $H^-$  kendini hissettirir. Güneş gibi yıldızlarda negatif H iyonunun soğurması baskındır, ancak burada metallerin de soğurmaya katkısı vardır. Na( $\chi=5.15$  eV), Mg( $\chi=7.61$  eV) ve Ca( $\chi=6.09$  eV) gibi nötr metallerin iyonlaşması sürekli soğurmaya katkıda bulunur. Böylece serbest elektronların sayısının artması  $H^-$  nin oluşumunu da sağlar. Yalnız, bu metallerin temel seviyelerinden iyonlaşmanın sürekli soğurmaya katkısı, tayfın mavi bölgesine düşer, o halde  $\lambda > 3000$  Å dalgaboyundaki ışınım bu iyonlaşmada etkisizdir. O halde optik bölgede metallerin sürekli soğurmaya katkıları uyarılmış seviyelerdeki metallere Boltzmann formülü uygulanırsa görülür ki bu atomların önemli bir kısmı uyarılmış seviyededir ; ancak görsel bölgede soğurmaya katkıları  $H^-$  nin yanında önemli değildir.

# 12.YILDIZLARIN SÜREKLİ TAYFI(DEVAM)

- **G'**den daha erken yıldızlara gidildikçe  $H^-$  iyonunun önemi azalır. Çünkü uyarılmış **H** atomlarının sayısı gittikçe artar ve  $H^-$  nin bolluğu fotoiyonizasyon nedeniyle azalır. Erken **F** ve geç **A** türlerinde nötr **H** soğurması baskındır.
- Daha da sıcak yıldızlarda nötr ve iyonlaşmış **He** da katkıda bulunmaya ve serbest elektronlar tarafından saçılma da önemli bir rol oynamaya başlar.
- Geç **K**, **M** yıldızları için, molekül soğurması önemlidir. Özellikle **M** yıldızlarının sürekli tayfı moleküllerin geniş bantları ile bozulmuştur. Molekül bantları için yeterli bir opasite kuramı olmadığından, doğrudan doğruya gözlemlere bakılır. Gözlemlere göre **M** yıldızlarının fotosferlerinden geçen ışınımın azalması ve bantların oluşumu, gerçek soğurmadan çok molekül saçılmasından ileri geldiği sanılmaktadır.