

13.5. Çizgi Genişlemesine Neden Olan Diğer Etkenler

1. Stark Etkisi :

Işınım yapan bir atom, bir elektrik alanın etkisinde ise, onun enerji düzeyleri belli sayıda alt düzeylere ayrılır. Sonuç olarak da bir çizgi bir çok bileşene ayrılır. Yıldız atmosferlerinde ışınım yapan bir atomun etrafında daima yüklü parçacıklar yani bir elektrik alanı vardır. Bu alanın şiddeti ve doğrultusu devamlı olarak değişir ; sonuçta gözlenen çizgide bir genişleme görülür.

Stark etkisi, atom ağırlığı düşük elementlerde daha etkin olduğundan, yıldız atmosferlerinde sadece H ve He için gözlemlenemez. Bu etki nedeniyle H çizgileri yüksek ısıtmalı (L) yıldızlarda (dev ve süperdevlerde) daha incedir, L azaldıkça (cücelerde) daha geniş ve yaygın olurlar. Çünkü parlaklık azaldıkça P_e artar, yani elektrik alanın şiddeti artar.

Holtmark teorisine göre, mikroskopik bir elektrik alanının ortalama değeri, $E_o = 46.8 (P_i / T)^{2/3}$ dür. Burada P_i iyonların basıncı, P_e elektron basıncına eşittir.

Çizgi merkezinden bir $\Delta\lambda$ uzaklığında Doppler genişliğinden çok daha büyüktür. Hidrojen çizgileri için atom başına soğurma katsayısı

13.5. Çizgi Genişlemesine Neden Olan Diğer Etkenler (Devamı)

$$a_{\lambda} = \frac{a_n E_o^{3/2}}{\Delta\lambda^{5/2}} = a_n \cdot 321 \cdot \frac{P_e}{T} \Delta\lambda^{-5/2}$$

ile verilir. a_n çizgiden çizgiye değişir, f osilatör şiddetine bağlıdır. He için teori, **şiddetli çizgiler için bir formüle götürür** ve genellikle çok daha karışıktır.

13.5. Çizgi Genişlemesine Neden Olan Diğer Etkenler (Devamı)

2. Zeeman Etkisi :

Stark etkisine benzer olarak, eğer yıldız atmosferlerinde manyetik alan varsa çizgilerde bir genişleme meydana gelir.

Sonuç olarak α_v (H ve He çizgileri hariç) çizgilerin kanatlarında $\Delta\lambda^{-2}$ ile orantılı değişir. Çünkü sönümlenme (doğal ve çarpma ile) baskındır. H nin kanatlarında Stark etkisi (P_e / T) $\Delta\lambda^{-5/2}$ ile orantılı değişir. Bir H çizgisinin profili teorik olarak hesaplanacak olursa P_e ve T nin atmosferin optik derinliği ile değişimini hesaba katmak gerekecektir.

Çizginin merkez kısmında ısısal Doppler etkisi nedeniyle α , $\exp(-\Delta\lambda^2)$ ile değişir. Dolayısıyla $\Delta\lambda$ yeterince büyük olduğunda onun etkisi boşlanabilir, ama sönümlenme ve Stark etkisi baskın hale gelir. H manyetik alan şiddeti olmak üzere Zeeman etkisi,

$$\Delta\lambda = 4.67 \times 10^{-5} \lambda^2 \cdot H$$

ile hesaplanabilir. Burada H (Gauss), λ (cm) ve $\Delta\lambda$ (cm) birimindedir.

13.5. Çizgi Genişlemesine Neden Olan Diğer Etkenler (Devamı)

3. Yıldızların Dönmesi :

Şekil 13.6_ dan görüleceği gibi, yıldızın bir eksen etrafında dönmesi nedeniyle yıldızın bir yarısı bize yaklaşırken diğer yarısı bizden uzaklaşır. θ enlemindeki dönme hızı $V_r(\theta)$ ise hareketin bakış doğrultusundaki bileşeni $V_y = V_r(\theta) \sin \theta$ dır.

Ekvator dönme hızı V_e olmak üzere katı cisim dönmesi için

$$V_r(\theta) = V_e \sin \theta \quad ,$$

bakış doğrultusundaki hız bileşeni için de

$$V_y = V_e \sin \theta \sin \Phi$$

yazılabilir. Küre üzerindeki her noktada V_y sabit olduğuna göre

$$\sin \theta \sin \Phi = \text{sabit}$$

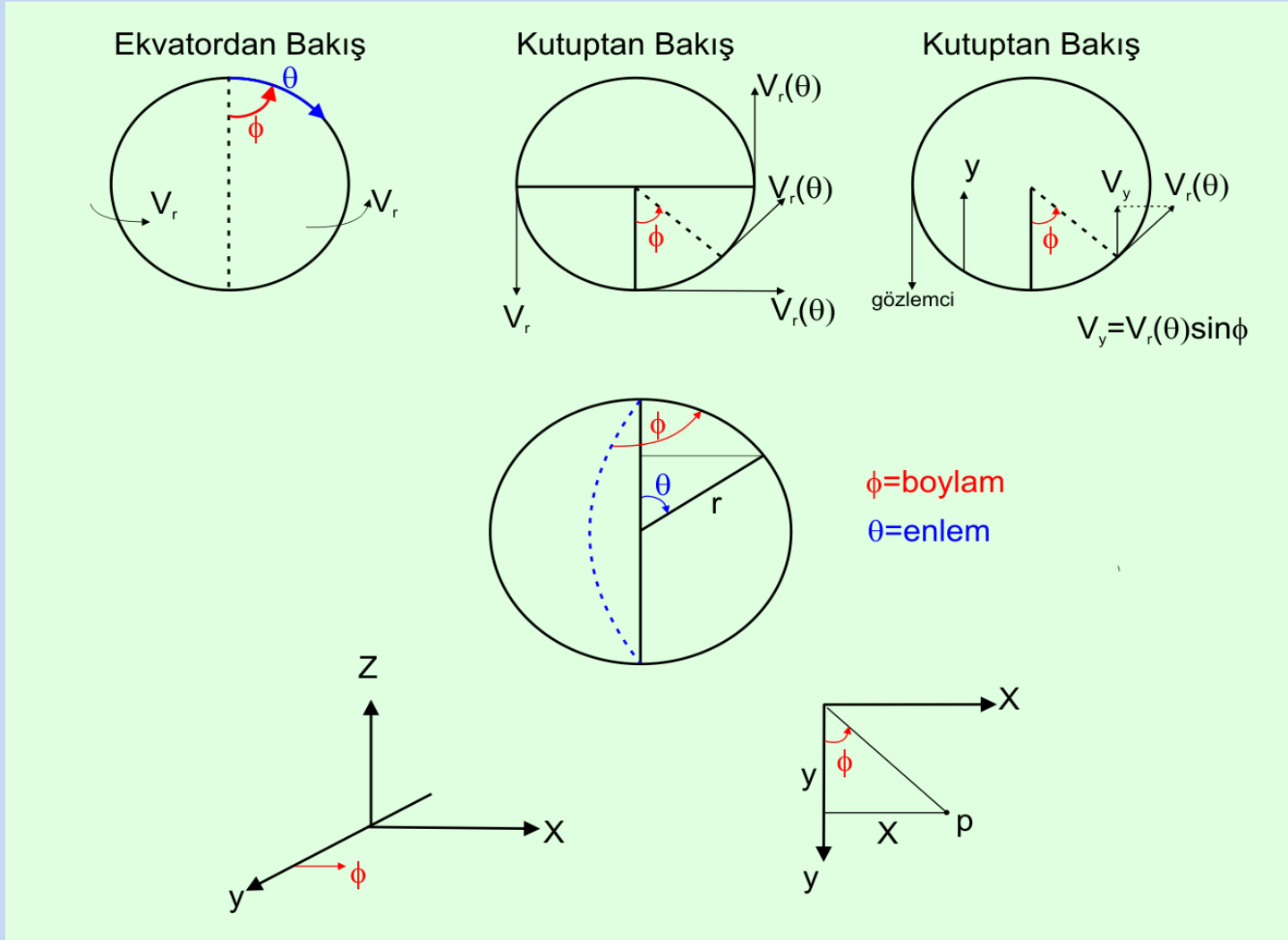
olmalıdır. Yıldız küresini küresel koordinat sisteminde tanımlarsak küre yüzeyinde bu noktaların yerleri kolayca yazılabilir :

$$x = \rho \sin \Phi = r \sin \theta \sin \Phi$$

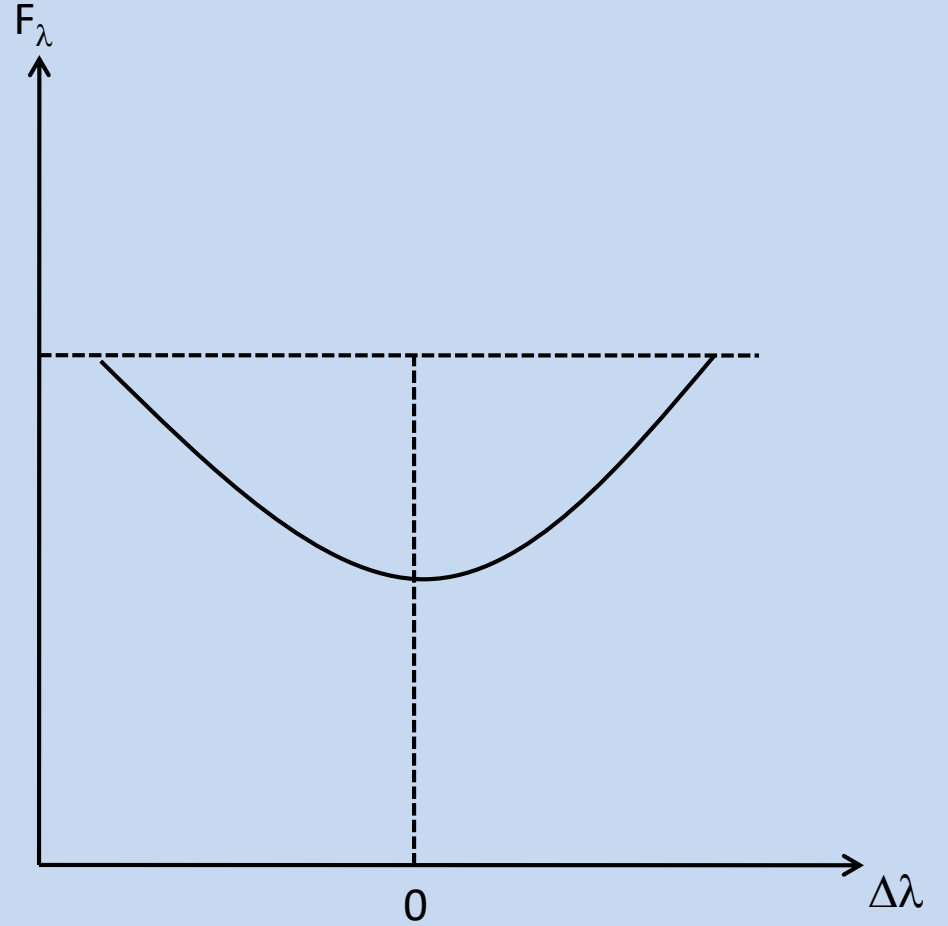
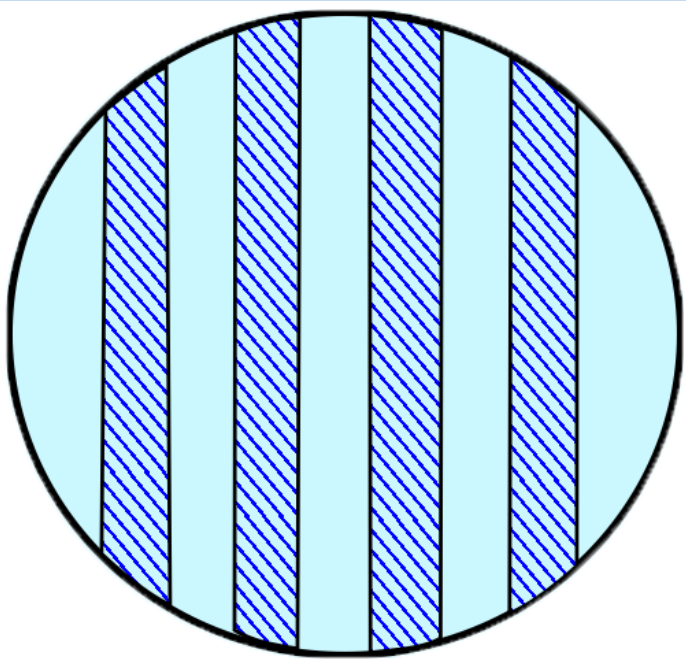
$$y = \rho \cos \Phi = r \sin \theta \cos \Phi$$

$$z = r \cos \theta$$

Bu da yıldız yüzeyinde taralı yollar (şeritler) boyunca $x = \text{sabit}$ için $\sin \theta \sin \phi$ nin sabit olacağını gösterir (Şekil 13.7 A). Yıldız yüzeyinde tüm alanlar aynı parlaklıkta olsa dönmeden dolayı genişlemiş bir çizgi elips şeklinde bir bir çizgi kesiti biçimini alır (Şekil 13.7 B).



Şekil 13.6. Yıldız dönmesinin enlemsel ve boylamsal etkileri.



Şekil 13.7. Yıldız dönmesinin çizgi profiline etkisi.

14. BÜYÜME EĞRİSİ

Yıldız atmosferlerinin temel sorunu sürekli tayftaki erke dağılımını ve soğurma çizgilerinin profillerini doğru olarak veren kuramı geliştirmek ve bu kuramdan yıldız atmosferlerindeki fiziksel koşulları belirlemektir. **Fiziksel koşulları belirlemek** ; kimyasal bileşimi, **sıcaklığı**, **yoğunluğu**, **iyonlaşma durumunu** ve yüzey çekim ivmesini hesaplamak demektir. Bunun için hem çizgi profili kuramı, hem de çizgi için geçiş denkleminin çözümü bilinmelidir.

Eğer soğurma katsayısı, frekansın veya dalgaboyunun fonksiyonu olarak bilinirse, **soğurma çizgisinin biçiminin yani içindeki erke dağılımının hesap edilebileceği daha önce gösterilmişti**. Gözlemsel olarak bir çizgi profili ve çizginin eşdeğer genişliği ölçülebilir. İşte sorun **bu profil veya eşdeğer genişlikten ne öğrenebileceğimiz sorundur**. Çizgi tayfının incelenmesi önce hemen nitel bir analiz imkanı sunar : laboratuvarında alınan tayflarla karşılaştırma yaparak soğurma çizgilerini oluşturan elementler tanınabilir. İkinci olarak bir çizginin şiddetinin doğal olarak onu meydana getiren soğurucu atomların sayısına bağlı olduğunu varsayarak, bir nicel analiz yapma imkanı doğar. Diğer taraftan Saha ve Boltzmann yasalarına göre, bir elementin belli bir iyonlaşma ve belli bir uyarılma erkesine karşılık gelen bir frekansta soğurabilen **atomların sayısı**, **elektron basıncına** ve **sıcaklığa** bağlıdır. **Sonuç olarak tayf çizgilerinin varlığı ve şiddeti, bir yıldız atmosferinin bu iki temel parametresi hakkında da bilgi verebilir.**

İki şekilde bilgi edinilebiliyor :

- 1-) $I = f(v - v_0)$ grafiğinden, yani profilden
- 2-) **Toplam şiddet (eşdeğer genişlik)'ten**

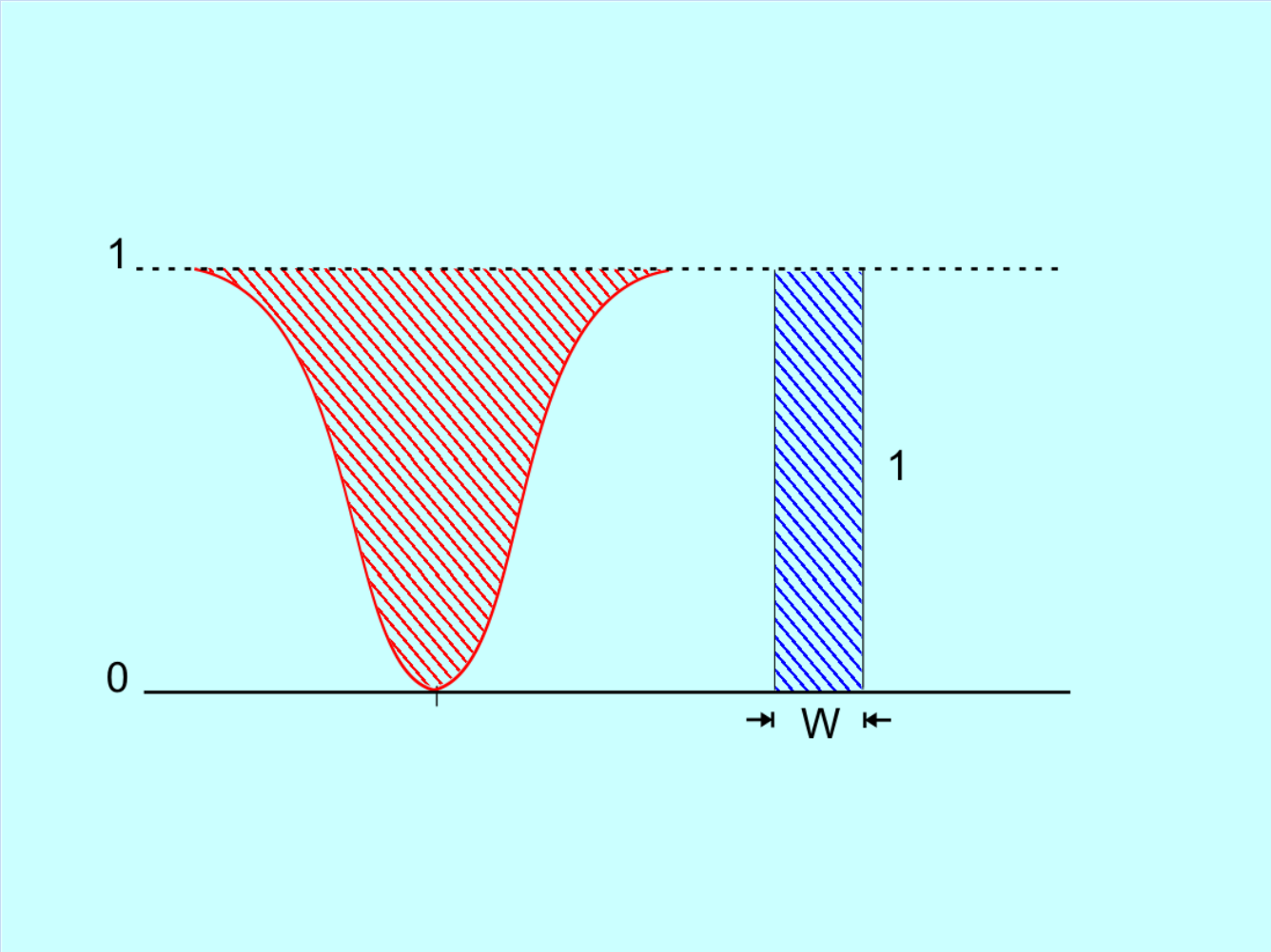
14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Birinci yöntem kuramsal olarak daha çok bilgi verir ama uygulamada, zayıf ve orta şiddetteki çizgilere uygulanması sakıncalıdır. Çünkü tayfçelerin ayırma gücü sınırlı olduğundan çizginin gerçek profilini aletsel profile çevirir.

İkinci yöntem ise aletlerin sınırlı gücünden çok daha az etkilendiğinden daha çok kullanılır.

Bir **sürekli tayf üzerinde** zayıf (yeğlinliği az olan) bir soğurma çizgisi düşünelim. Bu çizginin eşdeğer genişliğini ölçerek yeğlinliği hakkında bilgi edinilebilir. Onun yeğlinliğini **W eşdeğer genişliği** olarak belirleyebiliriz. Eşdeğer genişlik, dikdörtgen kesitli tamamen siyah bir çizginin genişliğidir (bkz. Şekil 14.1). Çizgi kesitinin her bir noktasında I_v / I_o ölçülür ve **frekans birimlerinde eşdeğer genişlik şöyle tanımlanır** :

$$W_v = \int \frac{I_o - I_v}{I_o} \cdot d\nu \quad \dots(1)$$



Şekil 14.1. Bir tayf çizgisinin şiddeti ve eşdeğer genişliği.

14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Bir ışık demetinin, uzunluğu h , yoğunluğu ρ ve soğurma katsayısı k olan bir ortamdan geçtiğinde,

$$I = I_0 e^{-hk\rho} = I_0 e^{-hN\alpha}$$

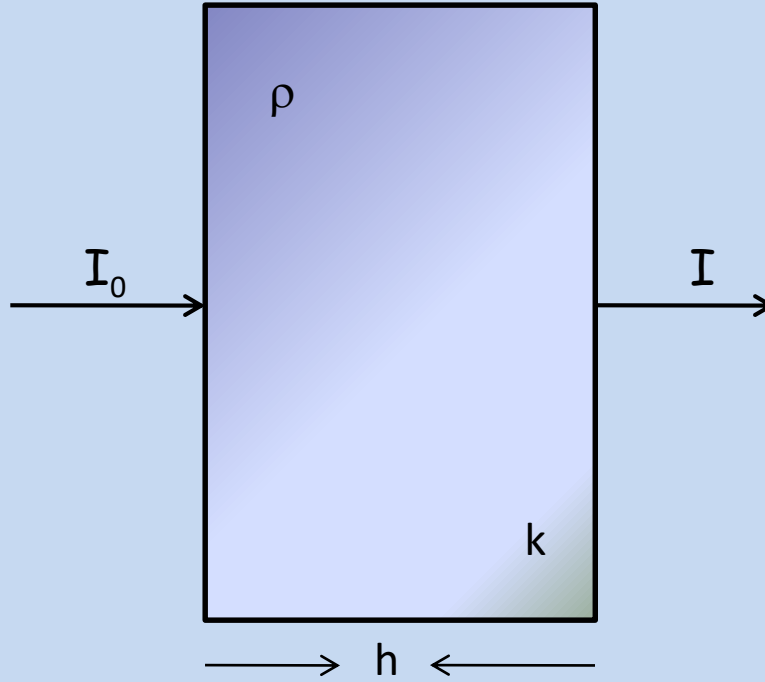
yasasına göre yeğlinliği azalacaktır (bkz. Şekil 14.2). Burada, N cm³ deki atom sayısı ve α , atom başına soğurma katsayısıdır. k ve α nın her ikisi de frekansa bağlıdır. Eğer katmanın optik kalınlığı küçük ise, I yeğlinliği,

$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + \dots$$

gibi seriye açılabilir ve

$$I = I_0 (1 - hN\alpha + \text{küçük terimler})$$

şeklinde yazılabilir. Eğer ν_0 frekansında atom başına f osilatörü varsa ve f göz önüne alınırsa,



Şekil 14.2. Soğurma nedeniyle ışınım şiddetindeki azalma.

14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

$$\int_0^{\infty} \alpha_{\nu} d\nu = \frac{\pi e^2}{mc} \cdot f \quad \text{ve} \quad \bar{k} = \frac{\pi e^2}{mc} Nf$$

idi. Buradan

$$\rho h \int k d\nu = hN \int \alpha d\nu = hN \frac{\pi e^2}{mc} f = \int \frac{I_o - I_{\nu}}{I_o} d\nu = W_{\nu}$$

Dalgaboyu birimleri cinsinden,

$$W_{\lambda} = \frac{\lambda_o^2}{c} W_{\nu} \quad \dots (2)$$

ve

$$W_{\lambda} = hN \lambda_o^2 \frac{\pi e^2}{mc^2} f \quad \dots (3)$$

elde edilir.

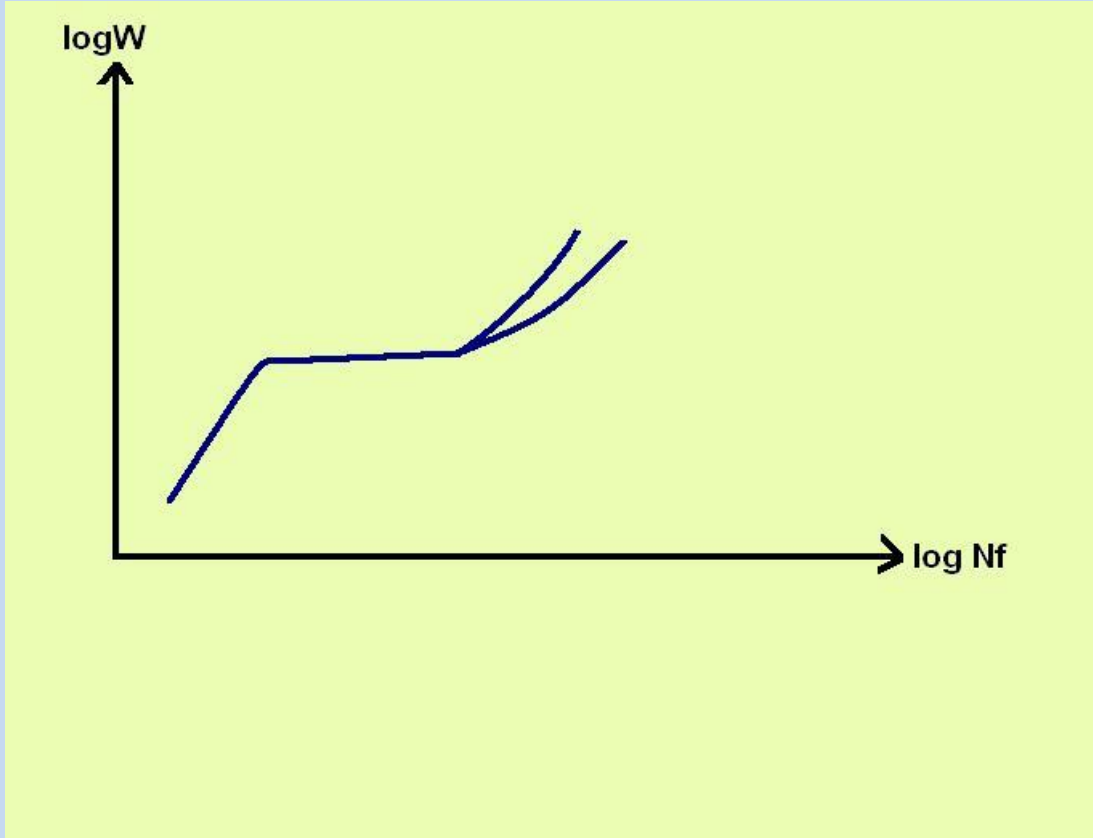
14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Buradan, eğer N gaz basıncından ($P = NkT$) bulunabilir ve W_λ ölçülebilirse, söz konusu λ için f nin salt değeri elde edilebilir. Bazı durumlarda N bilinmeyebilir. Eğer N bilinmiyorsa f nin yalnızca görelî değerleri olan Nf değerleri bulunabilir. Zayıf çizgilerin kullanılması gerektiği unutulmamalıdır.

Uygulamada ideal koşullarda soğurucu gaz katmanı (bütün dalgaboylarındaki optik derinliği 1 den çok küçük olan) bulmak zordur, ve $W - Nf$ bağıntısının (büyüme eğrisi) doğrusallığından sapmalara göz yumulur. Şekil 14.3 de büyüme eğrisinin grafiği gösterilmektedir.

Büyüme eğrisinin önemi : f lerin deneysel ölçümü için tek yoldur. f nin saptanması kuantum kuramının bir bakıma denetlenmesidir ve soğurma miktarının hesaplanmasıdır.

Bir çizginin profilinden bilgi elde etmek için önce bir model atmosfer oluştururlur. Sonra sürekli tayfta olduğu gibi ışınım geçiş denklemi çizgiyi içine alan frekans aralığında çözülerek $I_\nu(0, \theta)$ fonksiyonu bulunur. Bu şekilde diskin her noktası için kuramsal profil saptanır ve bu, gözlemsel profil ile karşılaştırılır. Tabii bu Güneş için mümkündür.



Şekil 14.3. Büyüme eğrisi.

14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Yıldızlarda ise,

$$F_{\nu}(0) = \int_{\omega} I_{\nu}(0, \theta) \cos \theta d\omega$$

bulunup, gözlenmiş profillerle karşılaştırılır.

Yıldız modeli, gözlemlerle hesap arasında en iyi uyum sağlanıncaya kadar değiştirilirse, hangi atmosfer modelinin gerçeğe yakın olduğu söylenebilir.

Şimdi şu sorulara yanıt arayalım :

- 1- Soğurma çizgileri hangi tabakalarda (ters çeviren tabakada veya bütün atmosferde) ve hangi mekanizma ile (soğurma veya saçılma) oluşmaktadır ?
- 2- Bir çizgi bize bir elementin bolluğu hakkında ne gibi bilgiler verir ve bunu elde etmek için kullanılan yöntemler ve atmosferdeki koşullar nelerdir ?

14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Önce biliyoruz ki sürekli soğurmaya neden olan katmanlar **çizgi oluşumuna da katkıda bulunurlar**. Bir başka deyişle **çizgideki bilgi bütün katmanların toplamıdır**.

Işınım geçiş denkleminin çizgi soğurma katsayısı da göz önüne alınarak çözümü matematik olarak mümkün değildir. Çünkü l_v , κ_v ve α_v nün τ ya bağlılığı bilinmiyor. Ancak bazı basitleştirmeler ve l_v , κ_v ve α_v nün τ ya bağlılığı için varsayımlar yapılarak çözüme gidilir. Bu varsayımlar değişik yıldız atmosferi modellerinin yapımına götürür. Çeşitli modellere dayanarak hesaplanmış çizgi profillerinin gözlenmiş olanlarla karşılaştırılması, bu modellerden hangisinin gerçeğe daha yakın olduğunun söylemeye imkan verir.

14.1 Bir Çizginin Şiddetini Belirleyen Parametreler :

Bir yıldızda belli bir elementin X atomu vardır. Bunlardan sadece belli bir yüzdesi çizginin oluştuğu frekansta soğurma yapabilir :

- Önce çizgiye ait iyonlaşmış durumdaki atomların yüzdesini bulmak gerekir. Bu oran (yüzde) T ve P_e ye bağlıdır (**Saha yasası**).
- İyonlaşmış durumda bulunan bu atomlardan sadece çizginin oluştuğu geçişin alt düzeyinde bulunan atomlar o çizgide soğurma yapabilirler. **Bu atomların yüzdesi de Boltzmann yasası ile bulunur**.

14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Yani bir elementin yıldızda bulunan X atomlarının o özel iyonlaşma ve uyarılma durumunda bulunanları verilen çizgide soğurma yapmaya muktedirdir. Bu yüzden de Saha ve Boltzmann yasaları ile bellidir, ancak bu yasalar termodinamik dengede geçerli olduğundan yıldız atmosferlerinin bu dengeden fazla ayrılmadığı kabul edilir.

Ayrıca bir elementin yıldızda bulunan X atomlarının sadece yıldızın atmosferindekiler yani ışınımın kaçabildiği yüzey tabakalarındaki soğurma çizgilerinin oluşumuna katılırlar. Yıldızlardaki donukluk kaynağı hemen hemen sadece Hidrojen atomunun serbest – serbest ve bağlı – serbest geçişleri olduğundan, daha sıcak yıldızlarda (B, A), H hemen hemen tamamen iyonlaştığı için, Güneş tipi yıldızlardan çok daha donuktur. Farklı türdeki yıldızların atmosferik derinlikleri arasındaki bu farklılıklar çizgilerin şiddetleri üzerinde çok etkili olacaktır.

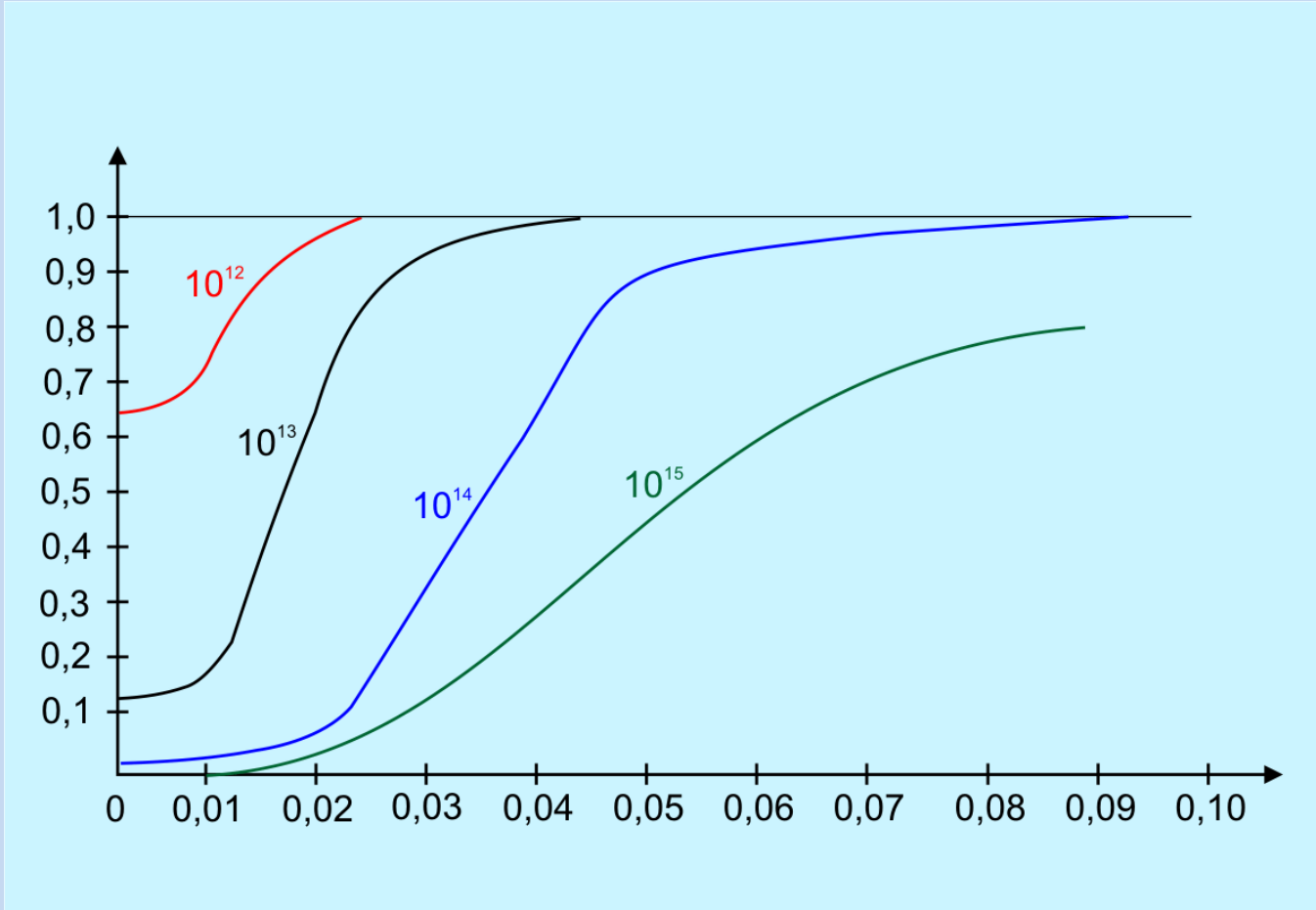
Sonuç olarak, atmosferik derinliği donukluğa bağlı olarak belirlenmiş bir yıldız için eğer biz bir çizginin şiddetini, soğurucu atomların N sayısının değişmesine bağlayan yasayı bilirsek, gözlenen şiddetten N yi ve N den de Saha ve Boltzmann yasalarıyla (T ve P_e nin bilindiği varsayımı ile) atmosferde bulunan elementlerin atomlarının toplam sayılarını bulabiliriz.

14. BÜYÜME EĞRİSİ(Devamı)

Bir çizginin toplam şiddetinin soğurucu atomların sayısına bağlı değişimini veren yasaya **BÜYÜME EĞRİSİ** denir.

Büyüme eğrisinin anlamı nedir ? Bir yıldız atmosferine bir elementin, örneğin Fe nin gittikçe daha çok sayıda atomlarını soktuğumuzu varsayalım. Fe I in **4045.80** çizgisinin durumu incelenirse şu özellikler gözlenir :

Atom sayısı az iken, $N\alpha_v \ll 1$, çizgi süreklilik üzerinde çok küçük bir çökme olarak görülür. Atom sayısı arttıkça çizgi hafifçe genişler ve derinleşir. **SS** modelinde (**SS** : Schuster – Schwarzschild) ve tamamen saçan bir atmosferde, merkezi şiddet sıfıra yaklaşır. Sonra oldukça geniş bir $N\alpha_v$ aralığı için eşdeğer genişlik, **N** nin artmasıyla yavaşça artar. **N** artmaya devam ederse, sönmüleme bölgesinde soğurma önemli hale gelir ve çizginin kanatları genişler. Eğer teorik profiller **N** nin $N = 10^{12}$, 10^{13} , 10^{14} , 10^{15} değerleri için hesaplanırsa Şekil **14.4** te gösterilen durumlar elde edilir. $N = 10^{13}$ te sönmüleme nedeniyle kanatlar hafifçe görülmeye başlar. **N** daha da artarsa eşdeğer genişlik yine artar ama bu kez \sqrt{N} ile orantılı olarak artar.



Şekil 14.4. Atom sayısına bağlı çizgi şiddetindeki değişim ve doymuş çizgi profili.