

# AST316 Astrofizik II

Prof. Dr. Fehmi EKMEKÇİ

Ankara Üni. Fen Fak. Astronomi ve  
Uzay Bilimleri Bölümü

# ÖNSÖZ

Bu ders notları özellikle Gökbilimin Astrofizik alanındaki temel bilgilerini aktarmak üzere III. sınıfın birinci dönemi Astrofizik I ve ikinci dönemi Astrofizik II başlıkları altında Gökbilim Öğrencilerine son beş yıldır verdiğim derslerin düzenli bir sunumunu bir Türkçe kaynak olarak sağlamak üzere hazırlanmıştır.

AST308 veya A308 koduyla okutulan Astrofizik II adlı dersin içeriğine, hazırlamış olduğum bu ders notlarını , liste halinde verdiğim ve yararlandığım kaynaklardaki ilgili bölümlerinden ve lisans eğitimi gördüğüm Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Astronomi ve Uzay Bilimleri'ndeki hocalarımdan Prof. Dr. Ömür Gülmen ' in Astrofizik dersinde bize aktardığı bilgilerden derleyerek ve yıldızların tayfsal

# ÖNSÖZ(devamı)

çalışmaları için gerekli temel bilgiyi dikkate alarak hazırlamış bulunuyorum . Konuların dayandığı denel fizik ve Teorik fizik konularına da değinerek temel bilgileri aktarmaya özen gösterilmiştir. Bu notların bilgisayar ortamında hazırlanmasında şekillerin çizilmesinde ve ilgili formata dönüştürmede yardımcı olan Araş.Gör. Tolgahan KILIÇOĞLU, Mustafa DÜZER, Ananur ERSOY ve Cenk YEŞİLBAĞ' a teşekkür ederim. Öğrencilerime ve Okurlarıma bu Astrofizik notlarının yararlı olmasını dilerim.

Bu ders notları izin alınmadan hiçbir ortamda kullanılamaz, paylaşılamaz. Eğitim amaçlı kullanım durumu için bu kaynak künyesine atıf yapma koşulu ile kullanım izni verilebilir.

Prof. Dr. Fehmi EKMEKÇİ

# Yararlanılacak Kaynaklar

- A. Kızılırmak, 1970, Astrofiziğe Giriş, Ege Üni. Fen Fak. Matbaası, Bornova-İzmir
- Lloyd Motz, Anneta Duven, 1974, Astronomide Temel Bilgiler, 4 Cilt, İ.Ü. Yayınları (Çeviri), Fen Fak. Basımevi-İST.
- Prof. Dr. Nüzhet Gökdoğan, 1978, Spektroskopiye Giriş, Fen Fak. Basımevi-İST.

# Yararlanılacak Kaynaklar (devam)

- Lawrence H. Aller, 1963, The Atmospheres of the Sun and Stars, The Ronald Press Comp. New York (A81250-523.7 ALL1963)
- Eva Novotny, 1973, Introduction to Stellar Atmospheres and Interiors, Oxford Univ. Press. New York, London, Toronto
- Physics 7- Lectures & Homework : Introduction to Astronomy  
<http://cassfos02.ucsd.edu/physics/ph7/lectures.htm>

# Yararlanılacak Kaynaklar (devam)

- Index to Lectures – Astronomy 101/103

<http://instruct1.cit.cornell.edu/courses/astro101/>

- Astronomy 162 – Stars, Galaxies, and Cosmology

<http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/index.html>

- Prof.Dr. Semanur Engin, Yıldız Atmosferleri Ders Notları

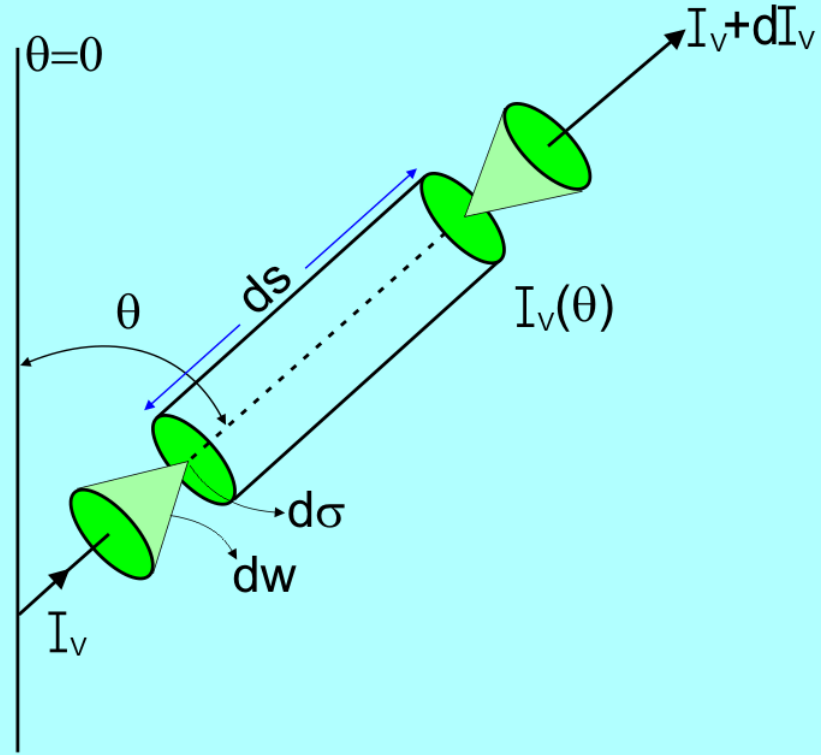
# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ

- Belli bir frekanstaki bir ışın demetinin bir yıldız atmosferi içinde nasıl ilerlediğini ışınım geçiş denklemleri ile tanımlayabiliriz. Bu denklemleri kurarken, enerjinin ışınım yolu ile taşındığı ve dengenin ışınım salınması ve soğurulması ile korunduğu varsayılır. Yani ışınımın taşındığı bölge ışınım dengesindedir. Bununla beraber enerji konveksiyon ve iletim yolu ile de taşınabilir. Güneş türü yıldızlarda iletim önemsiz düzeydedir ama konveksiyon önemli olur.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

- Yıldız içinde kesiti  $d\sigma$ , uzunluğu  $ds$  ve normalle  $\theta$  açısı yapan **silindir biçiminde bir hacim elementini** ele alalım. Şekil **11.1**.
- Bu **silindire**  $d\omega$  uzay açısı altında girip yine  $d\omega$  uzay açısı altında ve aynı doğrultuda **silindirden çıkan ışınımı** hesaplayalım. Silindir içinde **ışınım şiddetinde meydana gelen değişime**,
- $dI_v = \text{Salınan Şiddet} - \text{Soğurulan Şiddet}$  olacaktır.





Şekil 11.1. Işınımın bir atmosfer katmanı içinden geçişi.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

$\nu$  ile  $\nu+d\nu$  frekans aralığında  $d\sigma$  yüzeyine (silindirin) normal doğrultuda  $d\omega$  uzay açısı altında  $dt$  zaman aralığında giren ışınım enerjisi,

$$I_\nu d\nu d\omega d\sigma dt \quad \dots(1)$$

olacaktır. Silindirin üst yüzeyinden aynı doğrultuda çıkan ışınım enerjisi ise,

$$(I_\nu + dI_\nu) d\sigma d\omega d\nu dt \quad \dots(2)$$

olacaktır.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

(1) ve (2) arasındaki **fark** silindir tarafından salınan enerji ile giren ışımandan soğurulan enerji arasındaki farktır. Silindir tarafından  $dt$  zamanda  $d\nu$  frekans aralığında  $d\omega$  doğrultusunda salınan enerji,

$$j_{\nu} \rho d\nu dt d\omega d\sigma ds \quad \dots(3)$$

Soğurulan enerji ise,

$$I_{\nu} \rho \kappa_{\nu} d\nu dt d\omega ds d\sigma \quad \dots(4)$$

şeklinde olacaktır. Burada  $d\sigma ds$  silindirin hacmidir.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

(4) ile (3) arasındaki fark (2) ile (1) arasındaki farka eşit olmalıdır:

$$(I_v + dI_v)d\sigma d\omega dv dt - I_v dv d\omega d\sigma dt = j_v \rho dv dt d\omega d\sigma ds - \kappa_v \rho I_v dv dt d\omega ds d\sigma$$

Buradan;

$$dI_v = j_v \rho ds - \kappa_v \rho I_v ds$$

$$\frac{dI_v}{ds} = j_v \rho - \kappa_v \rho I_v \quad \dots\dots(5)$$

- elde edilir. Burada  $j_v$  kütle salma katsayısı ve  $\kappa_v$  kütle soğurma katsayısıdır.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

Silindir içinde termodinamik denge veya YTD varsa **Kirchhoff yasası** geçerlidir :

$$j_v = \kappa_v B_v(T) \quad \dots\dots(6)$$

Bu durumda,

$$-\frac{1}{\kappa_v \rho} \cdot \frac{dI_v}{ds} = I_v - B_v(T) \quad \dots\dots(7)$$

olur. Ancak genel olarak (6) sağlanmaz ve (7) denklemi geçerli olmaz. YTD'den herhangi bir sapmayı hesaba katmak için bir kaynak fonksiyonu tanımlanır.

## 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

Kirchhoff yasasına benzetilerek  $S_v$  ile gösterilen kaynak fonksiyonu ;

$$S_v = \frac{j_v}{K_v} \quad \dots\dots(8)$$

şeklinde tanımlanır. (7) denklemini böylece ;

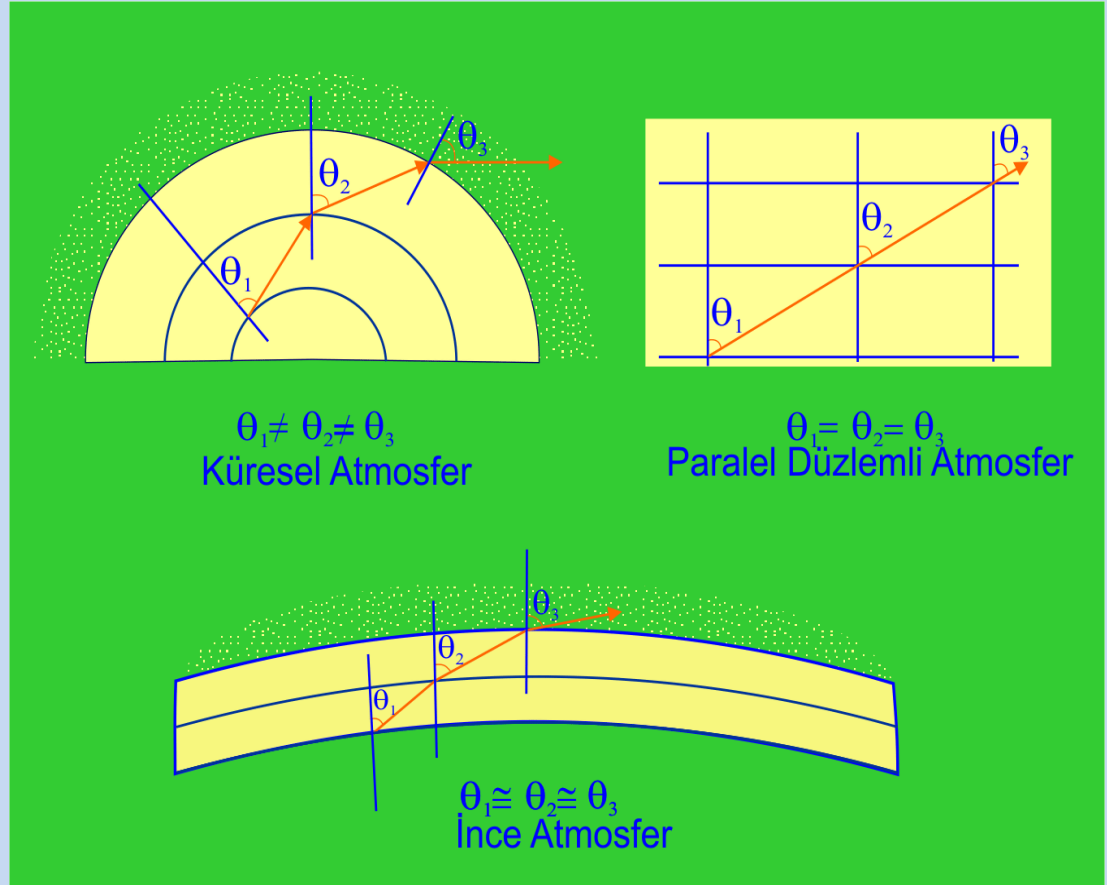
$$-\frac{1}{K_v \rho} \cdot \frac{dI_v}{ds} = I_v - S_v \quad \dots\dots(9)$$

şeklini alır ki buna ışınım geçiş denklemi denir.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

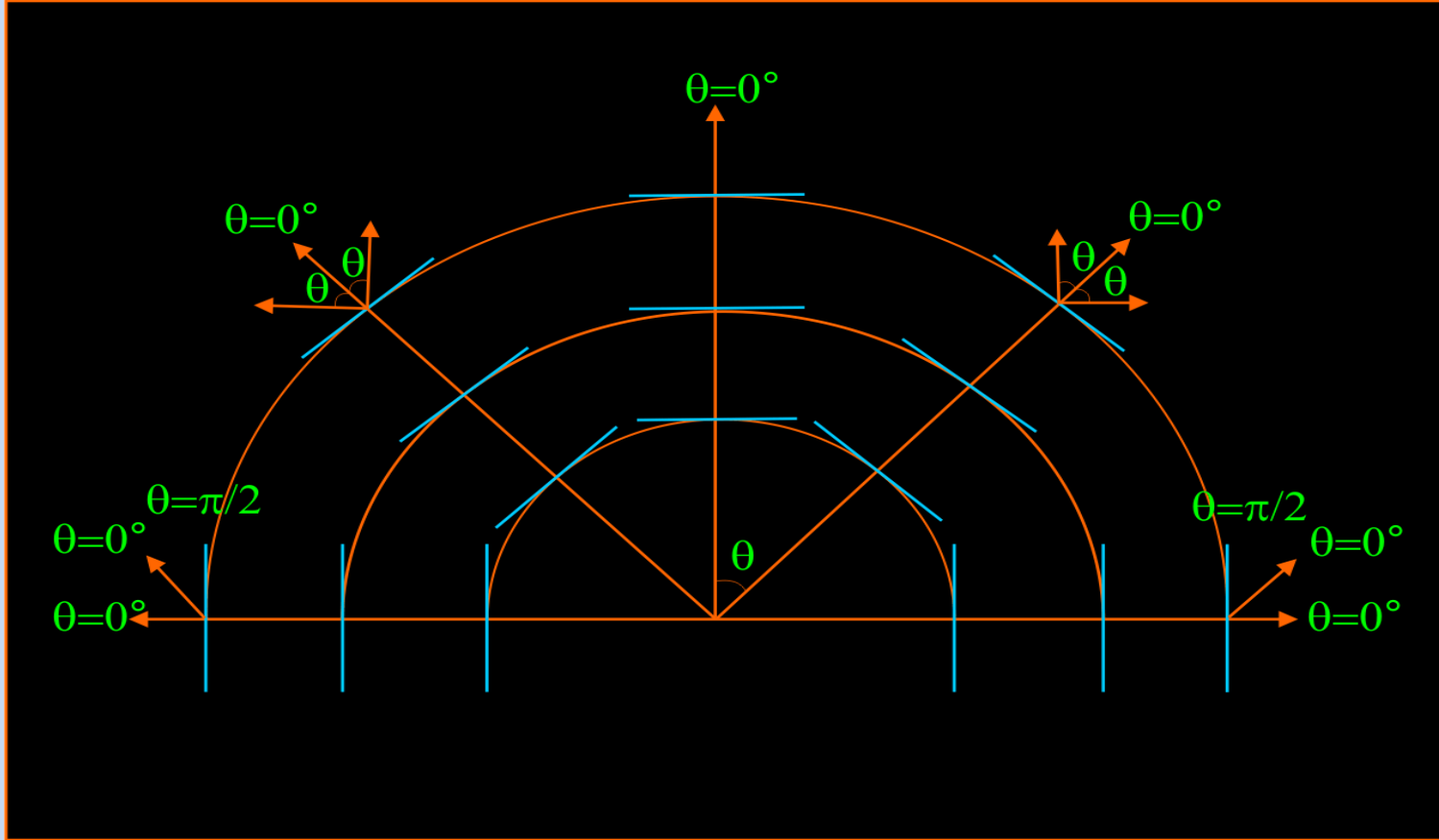
## 11.1. Paralel Düzlemlerle Yaklaştırma :

Yıldız atmosferini tam olarak incelemek için geçiş denkleminde küresel koordinatlar kullanılmalıdır. Çeşitli atmosfer katmanlarından geçen bir ışın, ardışık katmanların normalleri ile eşit açı yapmaz. Ancak çoğu zaman atmosferi yarıçapa dik düzlemlerden oluşmuş varsayarak çözüm yapmak yeterli olur ( Bkz. Şekil 11.2).



Şekil 11.2. Atmosfer özellikleri ve ilgili yaklaşımları.

Bu bir ilk yaklaşımdır. Çünkü atmosfer kalınlığı çoğu yıldızda yıldız yarıçapı yanında küçüktür. Örneğin Güneş'te atmosfer kalınlığı 500-600 km, yarıçapı ise  $7 \times 10^5$  km'dir. Yani atmosfer, yarıçapın ancak %0,1'i kadardır ve atmosferin tabanı ile üstü arasında  $\theta$  daki değişme çok küçüktür (bkz. Şekil 11.3.)



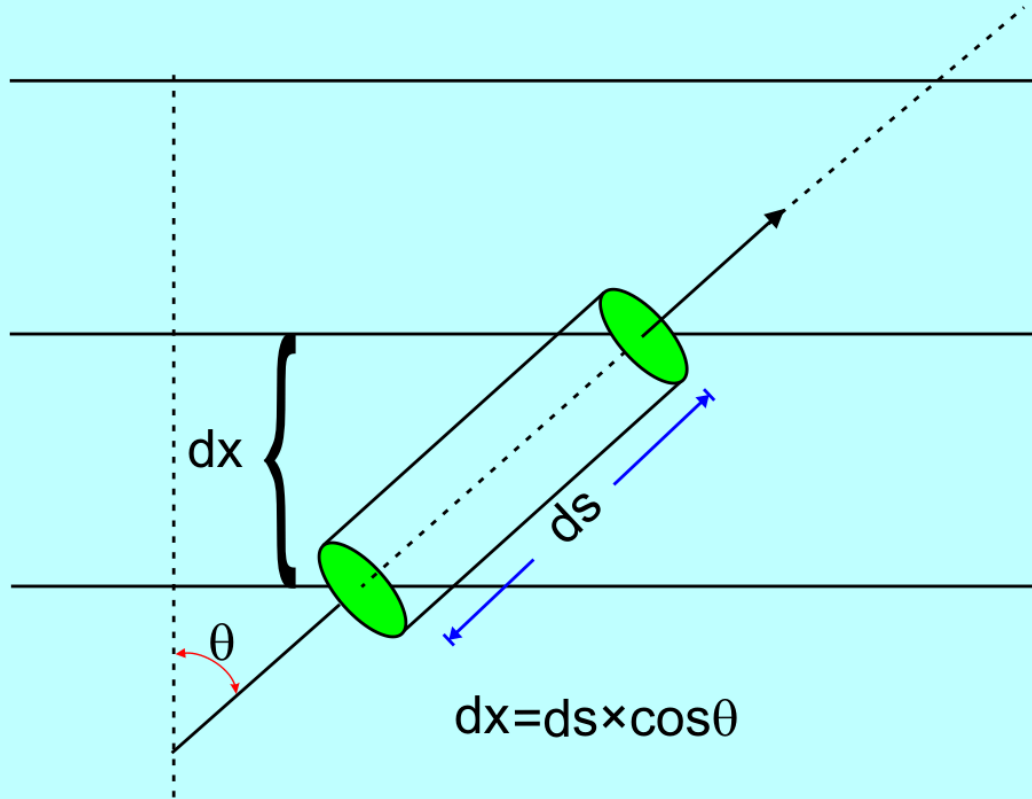
Şekil 11.3. Atmosferden çıkan ışınımın  $\theta$  açısına bağlı gözlenen bileşeni.



# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

**Bu yaklaşımda** atmosferin düz olması gerekmez, yalnız her yarıçapa dik paralel düzlemler almak yeterlidir (Bkz. Şekil **11.4**). Şekil **11.4**’ten görüldüğü gibi, verilen bir doğrultuda giden ışınım, örneğin bize gelen ışınım, yıldızı merkezde  $\theta = 0$  altında terkeder ve kenara doğru bu açı artar ve tam kenarda  $\theta = \pi/2$  dir. Işınım şiddetinin merkezden kenara kadar değişimini bulmak için yıldızın herhangi bir noktasından çıkan ışınımın şiddetinin açısal dağılımını incelemek yeterlidir.

**Geçiş denklemini** paralel düzlemler için yazalım.  $I_\nu$  ışınım demetinin içinden geçtiği silindirin eksenini paralel düzlemlerin normali ile  $\theta$  açısı yapsın.  $I_\nu$  bu durumda yalnız  $\theta$ ’nın ve  $\mathbf{x}$ ’in fonksiyonudur.



Şekil 11.4.  $\theta$  doğrultusunda ilerleyen ışınım.

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

Bu durumda

$$dx = ds \cdot \cos \theta \quad \text{.....(10)}$$

dır. (9)'da yerine koyarsak,

$$- \cos \theta \frac{dI_v}{\kappa_v \rho dx} = I_v(\theta, x) - S_v(\theta, x) \quad \text{.....(11)}$$

$d\tau_v = -\kappa_v \rho dx$  tanımını kullanırsak,

$$\cos \theta \frac{dI_v(\theta, x)}{d\tau_v} = I_v(\theta, x) - S_v(\theta, x) \quad \text{.....(12)}$$

- elde edilir. Burada **optik derinlik**  $\tau_v$ , **x geometrik derinliğin tersine, yüzeyden içe doğru ölçülmektedir.**

# 11. IŞINIM GEÇİŞ DENKLEMİ (DEVAM)

Bu denklem her frekans için ayrı ayrı geçerlidir. Bir yıldızın saldığı ışınımı çözümlenmek istersek her dalgaboyuna ayrı ayrı uygulamalıyız. Bunun için  $\tau_\nu$ 'nün yani soğurma katsayısının  $\nu$ 'ye bağlılığı bilinmelidir. Eđer  $\kappa_\nu$  için  $\nu$ 'nün fonksiyonu olarak genel bir ifade olsaydı (12) genel olarak çözülebilirdi. Bu da bize bütün frekanslar için  $I_\nu(\theta, \tau_\nu)$  yü verirdi.  $\tau_\nu=0$  için yüzey enerji dağılımını bulur ve gözlemlerde karşılaştırırdık. Bu genellikle zordur. Çünkü  $\kappa_\nu$  karmaşık bir şekilde frekansa, sıcaklığa ve kimyasal bileşime bağlıdır.

Özel ve basit bir durum  $\kappa_\nu$  frekanstan bağımsız olduğu zaman ortaya çıkar. O zaman  $\kappa_\nu = \kappa = \text{sabit}$  alabilir ve (12) denklemini frekans üzerinden integre ederek toplam ışınım geçiş denklemini yazabiliriz.